

การเกิดตะกอนซีแพ็งและการกำจัดออกในอุตสาหกรรมน้ำยางชั้น



นายอานพ มีสุปรีย์

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

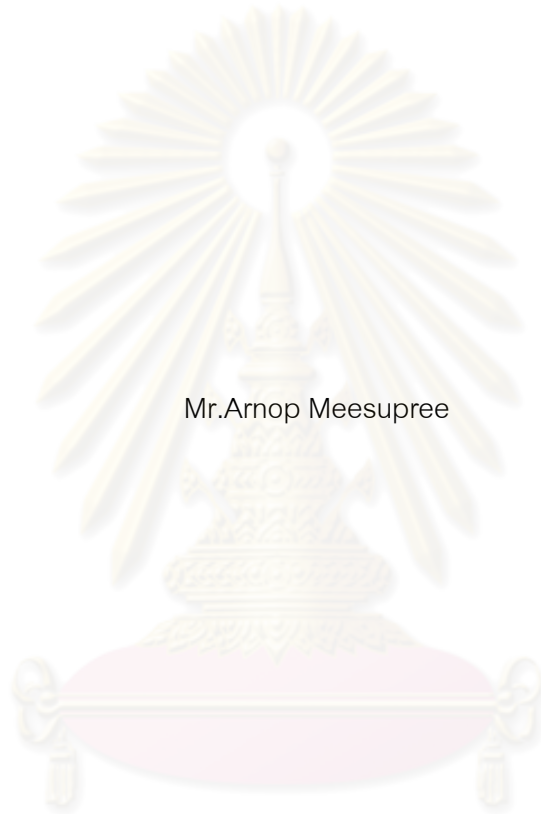
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SLUDGE FORMATION AND REMOVAL IN CONCENTRATED RUBBER  
LATEX INDUSTRY



Mr.Arnop Meesupree

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
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 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การเกิดตะกอนขี้เถ้าและการกำจัดออกในอุตสาหกรรมน้ำ  
ยางชั้น

โดย

นายอานพ มีสุปรีดี

สาขาวิชา

วิศวกรรมเคมี

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ดร. จิรกานต์ เมืองนาโพธิ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

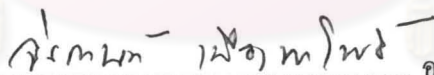
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศธีรณรงค์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ศรีวรุฒ รีมดุดิต)



..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร. จิรกานต์ เมืองนาโพธิ์)



..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. สิริ้ง ปรีชาพันธ์)



..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จุไรวัลย์ วัฒนะพิสิฐ)

อานพ มีสุปรีย์ : การเกิดตะกอนที่แป้งและการกำจัดออกในอุตสาหกรรมน้ำยางข้น.  
(SLUDGE FORMATION AND REMOVAL IN CONCENTRATED RUBBER LATEX  
INDUSTRY) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ.ดร.จิรกานต์ เมืองนาโพธิ์ 138 หน้า.

น้ำยางพาราสดเป็นวัตถุดิบหลักในกระบวนการผลิตน้ำยางข้นโดยใช้เครื่องเซนตริฟิวส์ ปริมาณ  $Mg^{2+}$  สูงในน้ำยางสดมีผลต่อคุณภาพน้ำยางข้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องลดปริมาณ  $Mg^{2+}$  ในน้ำยางสด ซึ่งสามารถทำได้ 2 วิธี คือวิธีทั่วไปทำได้โดยใช้ DAHP(ไดแอมโมเนียม ไฮโดรเจนฟอสเฟต) ทำปฏิกิริยากับ  $Mg^{2+}$  ในน้ำยางสดแล้วเกิดเป็นตะกอนที่แป้งและจำเป็นต้องกำจัดออก วิธีใหม่คือกระบวนการไดอะฟิลเตรชันร่วมกับการกรองชนิดเยื่อแผ่นหมุนได้ถูกเสนอ ขึ้นมาแทนที่กระบวนการทั่วไปเพื่อลดค่าใช้จ่ายสารเคมีรวมทั้งลดปัญหาการกำจัดตะกอนที่แป้ง

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะหาภาวะที่เหมาะสมในการลด  $Mg^{2+}$  และการเกิดตะกอนที่แป้ง ผลการศึกษานี้จะช่วยลดพลังงานที่เครื่องเซนตริฟิวส์ใช้ในการกำจัดตะกอนที่แป้ง การศึกษาแบบใช้วิธีทั่วไปได้ใช้ตัวกวนแบบประสิทธิภาพสูงที่คำนึงถึงการผสมได้ทั้งแนวรัศมีและแนวแกน ผลการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มความเร็วยก และเวลาในการกวนจะทำให้ความเข้มข้นของ  $Mg^{2+}$  ที่เหลืออยู่มีค่าน้อยลง ภาวะที่ดีที่สุดในการกวนคือ ที่ความเร็วรอบ 50 rpm เวลา 40 นาที ให้ความเข้มข้นของ  $Mg^{2+}$  ที่เหลือในน้ำยางน้อยที่สุด(35 ppm) เมื่อเทียบกับการใช้ตัวกวนแบบเก่าของโรงงาน(120 ppm)ในถังกวนแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า นอกจากนี้ยังพบว่าได้ปริมาณสลัดจ์มากที่สุดเท่ากับ 4272.16 ppm การใช้ตัวกวนแบบใหม่สามารถลดปริมาณการใช้ DAHP ลงครึ่งหนึ่งของที่โรงงานใช้เพื่อยังคงให้ความเข้มข้นของ  $Mg^{2+}$  ที่เหลือในน้ำยางอยู่ที่ 120 ppm (ตามข้อมูลจำเพาะของโรงงาน) อีกทั้งยังพบว่าเมื่อความเร็วในการกวนเพิ่มขึ้นทำให้ได้สลัดจ์ขนาดใหญ่ขึ้นจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องเซนตริฟิวส์ได้ จากการศึกษาโดยวิธีใหม่ที่มีความดันคร่อมตัวกรองและ อัตราป้อนคั่งที่ 0.3 บาร์และ 36 ลิตร/ชั่วโมง ตามลำดับ พบว่าภาวะที่เหมาะสมในการกรองคือ ที่ความเร็วรอบเยื่อแผ่น 1200 rpm ใช้ปริมาตรไดอะฟิลเตรชันเท่ากับ 1 ปริมาตรไดอะฟิลเตรชัน สามารถลดความเข้มข้นของ  $Mg^{2+}$  ที่เหลือในถังป้อนให้ได้น้อยสุดเท่ากับ121.21 ppm และมีค่าการกักเก็บ 89.04 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นกระบวนการไดอะฟิลเตรชันจึงเป็นวิธีที่มีความเป็นไปได้ที่จะลด  $Mg^{2+}$  ในน้ำยางสด โดยไม่ต้องใช้ DAHP.

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี..... ลายมือชื่อนิสิต.....๑๙๖๗  
สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....จิรกานต์  
ปีการศึกษา.....2553.....

## 5170653821 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEYWORDS : NATURAL RUBBER / MAGNESIUM REMOVAL / SLUDGE / DAHP /  
CONCENTRATED RUBBER LATEX INDUSTRY

ARNOP MEESUPREE: SLUDGE FORMATION AND REMOVAL IN

CONCENTRATED RUBBER LATEX INDUSTRY.

ADVISOR: ASSOC.PROF.CHIRAKARN MUANGNAPOH, Dr.Ing., 138 pp.

Fresh natural rubber is major raw material of concentrating process of natural rubber latex by centrifugation. High magnesium content in fresh natural rubber has an impact to the quality of concentrated latex. Therefore, it is necessary to remove some amount of magnesium from fresh natural rubber which can be done by two methods. The traditional method reveals on reacting magnesium with Diammonium hydrogen phosphate (DAHP) resulting in sludge formation and needs to discharge it. The novel method revealing on diafiltration process with rotating membrane filter is proposed to replace the traditional method in order to save chemical expenses including sludge discharging problem.

The aim of this research is to investigate the suitable condition of magnesium reduction and sludge formation. The results of this study should improve energy consumption of centrifuge in sludge removal process. In traditional method, high-efficiency impeller regarding to both axial and radial mixing has been used. The experimental results show that the residual magnesium concentration in fresh rubber at high impeller speed decreased when mixing time was proceeded. The suitable condition at 50 rpm and 40 minute gave the lowest residual magnesium concentration (35 ppm) comparing to the factory did (120 ppm) in non-well mixed rectangular tank. It was also found that the highest sludge was 4272.16 ppm. A half of DAHP consumption could be reduced in order to maintain magnesium concentration at 120 ppm (factory specification). Moreover, the higher speed promotes bigger sludge size which leads to increase centrifuge efficiency. In novel method, the transmembrane pressure ( $\Delta P_{TM}$ ) and feed flow rate were fixed at 0.3 bar and 36 L/h respectively. The suitable condition of rotating speed at 1200 rpm and one diafiltration volume can reduce the residual magnesium concentration to 121.21 ppm at rejection of 89.04%. Therefore, diafiltration is promising method to reduce magnesium concentration in fresh natural rubber without using DAHP.

Department : Chemical Engineering..... Student's Signature M. Arnop  
Field of Study : Chemical Engineering..... Advisor's Signature C. Muangnapoh  
Academic Year : 2010.....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยความช่วยเหลือที่ดีเยี่ยมจากหลายๆท่าน ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.จิรกานต์ เมืองนาโพธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำวิธีการทำงานวิจัย และความช่วยเหลือในอีกหลายๆ ด้านตลอดจนตรวจทาน แก้ไข วิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ศราวดี ริมดุสิต ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.สีรุ่ง ปรีชานนท์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จุไรวัลย์ รัตนะพิสิฐ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้เสนอข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ และแก้ไข เพิ่มเติมส่วนที่บกพร่องของงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ บริษัท ไทยรับเบอร์ลาเทคส์คอร์ปอเรชั่น (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) ที่สนับสนุนวัสดุดิบในงานวิจัย และ Mr. LIM CHIN HOCK ผู้จัดการฝ่ายวิจัยและพัฒนาที่ให้คำปรึกษา

ขอขอบคุณพี่ๆ ในฝ่ายวิจัยและพัฒนา และพนักงานทุกคนในบริษัท ไทยรับเบอร์ลาเทคส์คอร์ปอเรชั่น (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) ที่ให้คำแนะนำ และความช่วยเหลือจนงานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีภายใต้โครงการสร้างกำลังคนเพื่อพัฒนาอุตสาหกรรมระดับปริญญาโท (สกว.-สสว.) ประจำปี 2550 ที่สนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้

และขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และขอบคุณทุกๆคนในครอบครัวที่คอยเป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนทางการศึกษาตลอดมาจนงานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 น้ํายางธรรมชาติ.....	5
2.2 สมบัติทั่วไปของยางธรรมชาติ.....	6
2.3 ส่วนประกอบของน้ํายาง.....	7
2.3.1 ส่วนของเนื้อยาง .....	8
2.3.2 ส่วนที่ไม่ใช่ยาง.....	10
2.4 การเก็บรักษาน้ํายาง.....	15
2.4.1 ความจำเป็น.....	15
2.4.2 สาเหตุการสูญเสียสภาพของน้ํายาง.....	15
2.4.3 สมบัติของสารเคมีที่ใช้ในการเก็บรักษาน้ํายาง.....	17
2.4.4 ชนิดของสารเคมีเก็บรักษาน้ํายาง.....	17
2.4.5 สารเคมีเก็บรักษาน้ํายางสดเพื่อทำน้ํายางขึ้น.....	18
2.5 สารเคมีที่ใช้จับตัวกับแมกนีเซียมในน้ํายาง.....	19
2.6 สารเคมีที่ทำให้อนุภาคยางจับตัวกัน.....	19
2.7 การผลิตน้ํายางขึ้น.....	20

## สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
2.8 การกววน.....	22
2.9 การกรอง.....	26
2.10การกรองด้วยเครื่องกรองชนิดเยื่อแผ่นหมุนได้.....	29
2.11กระบวนการไดอะฟิลเตรชัน.....	30
2.12กระบวนการคอนเซนเตรชัน.....	31
2.13กระบวนการทำให้บริสุทธิ์.....	31
2.14งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอนแมกนีเซียม.....	32
2.15งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแรงเฉือนต่อขนาดอนุภาค.....	32
2.16งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้เครื่องกรองชนิดเยื่อแผ่นหมุนได้.....	33
2.17งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการกรองด้วยเทคนิคไดอะฟิลเตรชัน.....	36
3. อุปกรณ์ เคมีภัณฑ์ และวิธีการดำเนินงานวิจัย.....	38
3.1 อุปกรณ์.....	38
3.2 เคมีภัณฑ์.....	39
3.3 การทดลองหาคุณสมบัติทั่วไปของน้ำยางสด.....	39
3.4 การทดลองหาภาวะที่เหมาะสมในกวนโดยใช้สารเคมี DAHP ในการตกตะกอนแมกนีเซียม.....	40
3.5 กระบวนการกรองด้วยเครื่องกรองชนิดเยื่อแผ่นหมุนได้.....	43
4. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	47
4.1 สมบัติทั่วไปของน้ำยางพาราสด.....	47
4.2 ผลของเวลาและความเร็วรอบต่อความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่เหลือของแต่ละตำแหน่ง.....	48
4.3 ผลของเวลาและความเร็วรอบต่อปริมาณสลัดจ์ของแต่ละตำแหน่ง.....	52
4.4 ผลของการตั้งน้ำยางทิ้งไว้หลังการกววนเพื่อให้สลัดจ์ตกตะกอนลงมาที่ด้านล่างของบ่อ.....	57
4.5 ผลของการกววนต่อความคงตัวเชิงกล (mechanical stability ) ของน้ำยางสด....	58
4.6 ผลของเวลาและความเร็วรอบต่อขนาดอนุภาค (particle size) ของสลัดจ์.....	59
4.7 ผลของปริมาณDAHP ต่อการลดปริมาณแมกนีเซียมออกไซด์ในน้ำยางสด.....	61



สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
4.8 ผลของการเติมปริมาตรไดอะฟิลเตรชัน และความเร็วรอบต่อเพอร์มิเอชันฟลักซ์.	65
4.9 ผลของความเร็วรอบต่อค่าความต้านทานรวม ความต้านทานในเยื่อแผ่นและ ความต้านทานที่ผิวเยื่อแผ่น.....	66
4.10ผลของการเติมปริมาตรไดอะฟิลเตรชัน และความเร็วรอบของเยื่อแผ่นต่อ เปอร์เซ็นต์การกักเก็บ (%rejection) .....	67
4.11ผลของการเติมปริมาตรไดอะฟิลเตรชันต่อความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่ เหลืออยู่ในถังป้อนที่ความเร็วรอบต่างๆ.....	68
4.12ผลของความเร็วรอบต่อค่าปริมาณเนื้อเยื่อในถังป้อนหลังทำไดอะฟิลเตรชัน และเมื่อตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง.....	69
5. สรุปผลการทดลอง และ ข้อเสนอแนะ.....	71
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	71
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	73
รายการอ้างอิง.....	74
ภาคผนวก.....	77
ภาคผนวก ก.....	78
ภาคผนวก ข.....	94
ภาคผนวก ค.....	126
ภาคผนวก ง.....	131
ภาคผนวก จ.....	136
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	142

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ.....	7
2.2	ส่วนประกอบของเนื้อยางแห้ง.....	10
2.3	คุณสมบัติทั่วไปของไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟต.....	19
2.4	คุณสมบัติทั่วไปของโซเดียมแอลจีเนต.....	20
3.1	สภาวะควบคุมของเครื่องกรองชนิดหมุนได้.....	46
4.1	สมบัติทั่วไปของน้ำยางพาราสด.....	47
4.2	ค่าความคงตัวเชิงกล (mechanical stability time) ของน้ำยางสด.....	59
4.3	ผลของเวลาต่อขนาดอนุภาค (particle size) ของสลัดจ์ที่ความเร็วรอบ 30 rpm	60
4.4	ผลของเวลาต่อขนาดอนุภาค (particle size) ของสลัดจ์ที่ความเร็วรอบ 40 rpm	60
4.5	ผลของเวลาต่อขนาดอนุภาค (particle size) ของสลัดจ์ที่ความเร็วรอบ 50 rpm	61
4.6	ผลของความเร็วรอบต่อขนาดอนุภาค (particle size) ของสลัดจ์ที่เวลา 40 นาที	61
4.7	ผลของปริมาณ DAHP ต่อความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่เหลือ.....	62
4.8	ผลเปรียบเทียบการเกิดสลัดจ์ต่อประสิทธิภาพเครื่องเหวี่ยง.....	63
4.9	เวลาและปริมาณไดอะฟิลเตรชันที่ใช้ในการทดลองที่ความเร็วรอบ 600 รอบต่อ นาที.....	64
4.10	เวลาและปริมาณไดอะฟิลเตรชันที่ใช้ในการทดลองที่ความเร็วรอบ 900 รอบต่อ นาที.....	64
4.11	เวลาและปริมาณไดอะฟิลเตรชันที่ใช้ในการทดลองที่ความเร็วรอบ 1200 รอบ ต่อนาที.....	65

## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ต้นยางพาราพันธุ์ฮีเวียบราซิลเลียนซิส (Hevea brasiliensis).....	6
2.2	ส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ.....	8
2.3	สูตรโครงสร้างของ $\alpha$ -Lecithin.....	9
2.4	สูตรโครงสร้างของน้ำตาลควิบราซิทอล.....	11
2.5	การแยกส่วนประกอบของน้ำยางซึ่งปั่นด้วยความเร็วสูง.....	13
2.6	แสดงส่วนประกอบต่างๆของน้ำยางสดหลังการปั่นแยก.....	14
2.7	การไฮโดรไลซิสของฟอสโฟไลปิดชนิด $\alpha$ -Lecithin.....	16
2.8	แสดงขั้นตอนการผลิตน้ำยางข้นในโรงงาน.....	21
2.9	แสดงโครงสร้างทางโมเลกุลของซีแบ็ง.....	22
2.10	แสดงตัวกวนชนิด High-efficiency impellers ที่เลือกใช้ในการทดลอง.....	25
2.11	ประเภทการกรองตามทิศทางการไหลของสารแขวนลอย.....	27
2.12	ทิศทางการไหลของของไหลในกระบวนการกรองด้วยเครื่องกรองชนิดเยื่อแผ่น หมุนได้.....	29
2.13	การหมุนวนแบบเทย์เลอร์ (Taylor vortice).....	30
2.14	การดำเนินการแบบไดอะฟิลเตรชัน.....	30
2.15	การดำเนินการแบบคอนเซนเตรชัน.....	31
2.16	การดำเนินการแบบเพียวริฟิเคชัน.....	32
3.1	แผนผังวิธีการทดลองในส่วนที่ 1.....	40
3.2	ตำแหน่งการเก็บตัวอย่างในบ่อจำลอง.....	42
3.3	บ่อจำลอง.....	43
3.4	กระบวนการแยกอนุภาคยางออกจากน้ำยางสดด้วยเครื่องกรองชนิดเยื่อแผ่น หมุนได้.....	44
3.5	เครื่องกรองแยกอนุภาคยางออกจากน้ำยางสด.....	45
3.6	ลักษณะการวางเยื่อแผ่น.....	45
4.1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่ความเร็วรอบ 30 rpmของแต่ละตำแหน่งโดยเปรียบเทียบระหว่างตัวกวนแบบเก่ากับแบบใหม่	49
4.2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่ความเร็วรอบ 40 rpmของแต่ละตำแหน่งโดยเปรียบเทียบระหว่างตัวกวนแบบเก่ากับแบบใหม่	49

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่ความเร็วรอบ 50 rpm ของแต่ละตำแหน่งโดยเปรียบเทียบระหว่างตัวกวนแบบเก่ากับแบบใหม่	50
4.4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่ความเร็วรอบ 60 rpm ของแต่ละตำแหน่งโดยเปรียบเทียบระหว่างตัวกวนแบบเก่ากับแบบใหม่	50
4.5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่ความเร็วรอบต่างๆโดยเปรียบเทียบระหว่างตัวกวนแบบเก่ากับแบบใหม่.....	51
4.6	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับปริมาณสลัดจ์ ที่ความเร็วรอบ 30 rpm ของแต่ละตำแหน่งโดยเปรียบเทียบระหว่างตัวกวนแบบเก่ากับแบบใหม่.....	53
4.7	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับปริมาณสลัดจ์ ที่ความเร็วรอบ 40 rpm ของแต่ละตำแหน่งโดยเปรียบเทียบระหว่างตัวกวนแบบเก่ากับแบบใหม่.....	54
4.8	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับปริมาณสลัดจ์ ที่ความเร็วรอบ 50 rpm ของแต่ละตำแหน่งโดยเปรียบเทียบระหว่างตัวกวนแบบเก่ากับแบบใหม่.....	54
4.9	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับปริมาณสลัดจ์ ที่ความเร็วรอบ 60 rpm ของแต่ละตำแหน่งโดยเปรียบเทียบระหว่างตัวกวนแบบเก่ากับแบบใหม่.....	55
4.10	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับปริมาณสลัดจ์ ที่ความเร็วรอบต่างๆโดยเปรียบเทียบระหว่างตัวกวนแบบเก่ากับตัวกวนแบบใหม่.....	56
4.11	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่เวลา 40 นาที และ 8 ชั่วโมง.....	57
4.12	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับปริมาณสลัดจ์ที่เวลา 40 นาที และ 8 ชั่วโมง.....	58
4.13	ลักษณะสลัดจ์โดยการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์.....	60
4.14	เพอร์มิเอชันฟลักซ์ของการกรองน้ำยางสดด้วยเทคนิคไดอะฟิลเตรชันที่ความเร็วรอบ ต่างๆ.....	66
4.15	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบต่อค่าความต้านทาน.....	67
4.16	ผลของการเติมปริมาตรไดอะฟิลเตรชัน และความเร็วรอบของเยื่อแผ่นต่อเปอร์เซ็นต์การกักเก็บ.....	68

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.17	ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในถังป้อนหลังจากการกรองน้ำยางด้วยเทคนิค ไดอะฟิลเตรชันที่ความเร็วรอบต่างๆ.....	69
4.18	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบต่อค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในถังป้อน หลังทำไดอะฟิลเตรชัน และเมื่อตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง.....	70



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญที่ประเทศไทยผลิตส่งออกตลาดโลกเป็นอันดับ 1 รองลงมา คือ อินโดนีเซียและมาเลเซีย (LMC Commodity Bulletin, 2009: online) โดยมีเกษตรกรปลูกเพิ่มมากขึ้นทุกปีและกระจายทั่วไปในประเทศไทย แต่พบมากในภาคใต้ ยางพาราเป็นพืชที่มีราคาผลผลิตสูง จากการที่ไทยสามารถผลิตน้ำยางดิบได้เป็นจำนวนมากนี้เอง จึงทำให้มีอุตสาหกรรมต่อเนื่องเกี่ยวกับยางพาราเกิดขึ้นมากมาย เช่น โรงงานผลิตยางแผ่น ยางแท่ง ถุงมือ ยางและยางรถยนต์ เป็นต้น โครงการงานวิจัยนี้ มุ่งเน้นพัฒนาประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต เพื่อให้โรงงานสามารถลดต้นทุนในการผลิตได้มากขึ้น

วัตถุดิบหลักที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำยางชั้นคือ น้ำยางสดซึ่งมีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวหรือครีมโดยมีอนุภาคยางแขวนลอยอยู่ในตัวกลางที่เป็นน้ำ อนุภาคยางมีรูปร่างกลม ขนาด 0.4-4 ไมโครเมตร ความหนาแน่น 0.975-0.980 กรัมต่อมิลลิเมตร ความหนืด 12-15 เซนติพอยด์ (น้ำบริสุทธิ์มีความหนืด 1 เซนติพอยด์) ความเป็นกรด-ด่างประมาณ 6.5-7 องค์ประกอบของน้ำยางสดมีดังต่อไปนี้ อนุภาคยาง (cis-1,4-polyisoprene) 30-40%, โปรตีน 2-3%, น้ำตาล 1-2%, เรซิน 1.5-3.0%, เถ้า 0.5-1.0% และน้ำ 55-65% โดยปริมาตร ผิวของอนุภาคยางมีเยื่อหุ้มที่ประกอบด้วยไขมันและโปรตีน โดยแต่ละอนุภาคยางมีอนุโมลลอบของโปรตีนอยู่รอบนอก ทำให้เกิดแรงผลักดันระหว่างอนุภาคยาง ซึ่งมีผลทำให้น้ำยางสามารถคงสภาพเป็นของเหลวได้ ดังนั้นเมื่อมีการทำลายเยื่อหุ้มอนุภาคหรือมีการสะเทินอนุโมลลอบ โดยระดับความเป็นกรด-ด่างจะลดลงต่ำกว่า 7.0 ทำให้อนุภาคยางที่แขวนลอยอยู่ในตัวกลางเกิดการรวมตัวจับกันเป็นก้อน

การผลิตน้ำยางชั้น เป็นกระบวนการที่เริ่มต้นจากการรับน้ำยางสดจากเกษตรกรสวนยางมาเติมสารเคมี (ไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟต : DAHP) ในบ่อปรับคุณภาพ DAHP จะทำปฏิกิริยากับ  $Mg^{2+}$  ในน้ำยางสดแล้วเกิดเป็นตะกอนขี้แป้ง ขั้นตอนนี้ต้องการลดปริมาณ  $Mg^{2+}$  ในน้ำยางสด เนื่องจากถ้ามี  $Mg^{2+}$  ในน้ำยางสดมากเกินไป (40 ppm) จะทำให้คุณภาพของน้ำยางชั้นลดลง หลังจากเกิดตะกอนขี้แป้ง และทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 8 ชั่วโมง จึงสามารถดำเนินการแยกเป็นน้ำยางชั้นและยางสกิมด้วยเครื่องเหวี่ยงต่อไปได้ โครงการงานวิจัยได้รับการสนับสนุนเงินทุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (TRF-MAG) และมีบริษัทไทยรับเบอร์ลาเทคส์คอร์ปอเรชั่น (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) เข้าร่วมโครงการ โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะลดพลังงานจากการใช้เครื่องเหวี่ยงในการผลิตน้ำยางชั้น จากการประเมินเบื้องต้น พบว่า เครื่องเหวี่ยงต้องหยุดทำงาน

ทุก 2 ชั่วโมง เพื่อล้างกำจัดตะกอนที่แบ่งที่ไปอุดตันส่วน distributor ของเครื่องเหวี่ยง ทำให้ต้องเสียพลังงานมาก จากงานวิจัยที่ผ่านมา (พีรภัทร์ แสงทองฉาย และ สุภาพกรณ์ บุญส่งสวัสดิ์, 2547) พบว่าตะกอนที่แบ่งขนาดเล็ก (มีความหนาแน่น 1.71 กรัมต่อมิลลิเมตร) รวมตัวกับอนุภาคยาง (ความหนาแน่น 0.975 กรัมต่อมิลลิเมตร) ทำให้ความหนาแน่นโดยรวมใกล้เคียงกับน้ำยางสด ทำให้ที่แบ่งยังแขวนลอยอยู่ในน้ำยางสด และเป็นต้นเหตุให้เครื่องเหวี่ยงอุดตันเร็ว นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อทำการทดลองการเกิดตะกอนที่แบ่งสังเคราะห์โดยใช้  $Mg^{2+}$  ในน้ำทำปฏิกิริยากับ DAHP  $Mg^{2+}$  จะทำปฏิกิริยากับ DAHP อย่างรวดเร็ว เกิดตะกอนที่แบ่งและตะกอนตกลงสู่ก้นภาชนะอย่างรวดเร็ว ขนาดของตะกอนที่แบ่งสังเคราะห์ในน้ำขึ้นกับความเข้มข้นเริ่มต้นของ  $Mg^{2+}$  ในน้ำ ถ้าความเข้มข้นมาก จะได้ตะกอนที่แบ่งขนาดใหญ่

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นไปที่ตัวกวนซึ่งทำหน้าที่กวนผสมสารละลาย DAHP ในน้ำยางสด และภาวะที่เหมาะสมในการกวน ถ้าการกวนผสมสารไม่ทั่วถึงทั้งบ่อ (ซึ่งเป็นบ่อรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า) จะทำให้ต้องใช้ DAHP มากขึ้น หรืออาจเป็นต้นเหตุทำให้เกิดตะกอนที่แบ่งขนาดเล็ก ดังนั้นตัวกวนและภาวะที่เหมาะสมในการกวนจะทำให้การผสมสารได้อย่างทั่วถึง ทำให้เกิดตะกอนที่แบ่งขนาดใหญ่เพิ่มขึ้น และตกลงสู่ก้นบ่อปรับคุณภาพได้ดี ปัจจุบันทางโรงงานใช้ตัวกวนเป็นรูปตัวที (Simple straight-blade turbine) ตามทฤษฎี จะเกิดการไหลในแนวรัศมี จึงทำให้การผสมสารไม่ทั่วถึงกัน จากงานวิจัยที่ผ่านมา (ณัชวัฒน์ พลอยวัฒนาวงศ์, 2550) ได้ทำการสร้างตัวกวนรูปแบบใหม่ เพื่อทำให้เกิดการไหลในแนวรัศมีและแนวแกน ซึ่งทำให้มีตะกอนที่แบ่งตกลงสู่ก้นบ่อปรับคุณภาพมากขึ้น แต่ทั้งนี้จากการศึกษาพบว่าตัวแปรที่มีผลต่อการเกิดตะกอนคือ เวลา และความเร็รรอบในการกวน เราจึงทำการทดลองเพื่อหาภาวะที่เหมาะสมในการกวน ซึ่งคาดว่าตัวกวนชนิดนี้ และภาวะที่เหมาะสมในการกวนจะส่งผลให้เครื่องเหวี่ยงมีประสิทธิภาพมากขึ้น

ในส่วนที่ 2 ของโครงการวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่การกำจัดตะกอนที่แบ่ง กระบวนการเดิมของโรงงานใช้เครื่องเหวี่ยงเพื่อเหวี่ยงตะกอนขนาดเล็กออก และเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของน้ำยาง ซึ่งต้องใช้พลังงานมาก จึงเกิดความคิดว่าจะลดปริมาณ  $Mg^{2+}$  ในน้ำยางสด โดยใช้วิธีการชะร่วมกับการกรองเอา  $Mg^{2+}$  ออก (Diafiltration) และกักเก็บอนุภาคยางไว้ (ไม่ใช้ DAHP ทำปฏิกิริยากับ  $Mg^{2+}$  ในน้ำยางสดได้ตะกอนที่แบ่ง แล้วจึงต้องกำจัดออกอีก) แต่เนื่องจากน้ำยางสดมีความหนืดค่อนข้างมากและอนุภาคยางมีขนาดอยู่ในช่วง 0.4-4 ไมโครเมตร จึงนำกระบวนการกรองแบบเยื่อแผ่นหมุนได้มาประยุกต์ใช้ ดังนั้นในงานวิจัยส่วนที่ 2 มีวัตถุประสงค์เพื่อหาภาวะที่เหมาะสมในการลดปริมาณ  $Mg^{2+}$  ในน้ำยางสดโดยใช้กระบวนการไดอะฟิลเตรชันร่วมกับการกรองชนิดเยื่อแผ่นหมุนได้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อหาภาวะที่เหมาะสมในการกวนโดยใช้ Diammonium hydrogen phosphate (DAHP) ในการตกตะกอนแมกนีเซียม
- 1.2.2 เพื่อหาภาวะที่เหมาะสมในการลดปริมาณ  $Mg^{2+}$  ในน้ำยางสดโดยใช้กระบวนการไดอะฟิลเตรชันร่วมกับการกรองชนิดเยื่อแผ่นหมุนได้

## 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

### ส่วนที่ 1

- 1.3.1 ศึกษาคุณสมบัติ และส่วนประกอบของน้ำยางพาราสด
- 1.3.2 ตัวแปรที่ศึกษา คือ ความเร็วรอบ (30, 40, 50 และ 60 rpm) และเวลาที่ใช้ในการกวน (5, 10, 20, 30 และ 40 นาที)
- 1.3.3 ศึกษาปริมาณ DAHP ที่เติมเพื่อใช้ในการตกตะกอน
- 1.3.4 หาภาวะที่เหมาะสมในการกวน
- 1.3.5 จากภาวะที่เหมาะสมจากข้อ 1.3.4 นำน้ำยางไปผ่านเครื่องเหวี่ยงของโรงงานเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องเหวี่ยง
- 1.3.6 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องเหวี่ยง ที่ได้จากกระบวนการเดิมของโรงงานกับงานวิจัยนี้ โดยเปรียบเทียบความเข้มข้นของ  $Mg^{2+}$  ในน้ำยางสด ปริมาณและขนาดของตะกอนที่แบ่ง

### ส่วนที่ 2

- 1.3.7 ทำการทดลองลดปริมาณ  $Mg^{2+}$  ในน้ำยางสด โดยใช้กระบวนการไดอะฟิลเตรชันร่วมกับการกรองชนิดเยื่อแผ่นหมุนได้ (Rotating filtration) แทนการใช้สารเคมีเพื่อตกตะกอนแมกนีเซียม
- 1.3.8 วิเคราะห์หาความเข้มข้นของแมกนีเซียม, %DRC, เพอร์มิเอชันฟลักซ์ และ%การกักเก็บ



#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ได้ภาวะที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องเหวี่ยง
- 1.4.2 ลดต้นทุนในการผลิตน้ำยางข้น เช่น ลดปริมาณการใช้น้ำ ปริมาณ DAHP ที่ใช้ จำนวนคนงาน และค่าไฟฟ้า เป็นต้น



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 น้ำยางธรรมชาติ (natural rubber)

น้ำยางธรรมชาติเป็นน้ำยางจากต้นไม้ยืนต้น มีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งคือยางพาราหรือต้นยางพารา ยางพารามีถิ่นกำเนิดบริเวณลุ่มน้ำอเมซอน ประเทศบราซิล และเปรู ทวีปอเมริกาใต้ ซึ่งชาวอินเดียนแดงเผ่ามายัน ในอเมริกากลาง ได้รู้จักการนำยางพารามาใช้ก่อนปี พ.ศ. 2000 โดยการจุ่มเท้าลงในน้ำยางดิบเพื่อทำเป็นรองเท้า ส่วนเผ่าอื่น ๆ ก็นำยางไปใช้ประโยชน์ในการทำผ้ากันฝน ทำขวดใส่น้ำ และทำลูกบอลอย่างเล่นเกมสตัฟฟ์ต่าง ๆ เป็นต้น จนกระทั่งคริสโตเฟอร์ โคลัมบัสได้เดินทางมาสำรวจทวีปอเมริกาใต้ ในระหว่างปี พ.ศ. 2036-2039 และได้พบกับชาวพื้นเมืองเกาะไฮติที่กำลังเล่นลูกบอลยางซึ่งสามารถกระดอนได้ ทำให้คณะผู้เดินทางสำรวจประหลาดใจจึงเรียกว่า "ลูกบอลผีสิง"

ต่อมาในปี พ.ศ. 2279 นักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศสชื่อชาลส์ มารีเดอลา คองดามีน (Charles Merie de la Condamine) ได้ให้ชื่อเรียกยางตามคำพื้นเมืองของชาวไมกาวา "คาโอชู" (Caoutchouc) ซึ่งแปลว่าต้นไม้อ่อนให้ และให้ชื่อเรียกของเหลวที่มีลักษณะข้นขาวคล้ายน้ำมันซึ่งไหลออกมาจากต้นยาง เมื่อกรีดเป็นรอยแผลว่า ลาเทกซ์ (latex) และใน พ.ศ. 2369 ฟาราเดย์ (Faraday) ได้รายงานว่ายางธรรมชาติเป็นสารที่ประกอบด้วยธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจน มีสูตรเอมไพริคัล คือ  $C_5H_8$  หลังจากนั้นจึงได้มีการปรับปรุงสมบัติของยางพาราเพื่อให้ใช้งานได้กว้างขึ้นเพื่อตอบสนองความต้องการของมนุษย์

แหล่งผลิตยางธรรมชาติที่ใหญ่ที่สุดในโลกคือ แถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้คิดเป็นร้อยละ 90 ของแหล่งผลิตทั้งหมด ส่วนที่เหลือมาจากแอฟริกากลาง ซึ่งพันธุ์ยางที่ผลิตในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ คือ พันธุ์ฮีเวียบราซิลเลียนซิส (Hevea brasiliensis) ดังแสดงในรูป 2.1



## รูปที่ 2.1 ต้นยางพาราพันธุ์ฮีเวียบราซิลเลียนซิส (Hevea brasiliensis)

ยางพารามีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศ 3 ด้าน คือ

1. พื้นฟูเศรษฐกิจของประเทศ เนื่องจากยางพาราเป็นพืชที่ทำรายได้ให้ประเทศจำนวนมาก กล่าวคือ ในปี พ.ศ. 2543 มีมูลค่ารวม 134,143 ล้านบาท เฉพาะการส่งออกยางซึ่งเป็นวัตถุดิบ 60,743 ล้านบาท เป็นสินค้าที่อยู่ใน 10 อันดับแรกของการส่งออก
2. การกระจายรายได้ของเกษตรกรชาวสวนยางที่มีอาชีพทำสวนยางพารามีกว่า 6 ล้านคนทั่วประเทศ ยางพารา จึงเป็นพืชที่ทำให้มีการกระจายรายได้ให้เกษตรกร เป็นจำนวนมาก ตั้งแต่ภาคใต้ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคตะวันออก
3. เกษตรกรมีรายได้แน่นอนและเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาจากสถิติยางพาราตั้งแต่ปี พ.ศ. 2509 ซึ่งผลิตเฉลี่ย 60 กก./ไร่/ปี เมื่อมีการปลูกทดแทนด้วยยางพันธุ์ดีจนถึงปัจจุบัน ในปี พ.ศ. 2543 ผลิตเฉลี่ยเพิ่มขึ้นถึง 268 กก./ไร่/ปี เพิ่มขึ้น 4 เท่าตัว ในช่วง 35 ปี ทำให้เกษตรกรชาวสวนยางมีรายได้จากการทำสวนยางเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ ยังเป็นพืชที่ปลูกแล้ว มีรายได้สม่ำเสมอเกือบตลอดทั้งปี ราคาผันผวน ไม่มากนักจึงสร้างรายได้ที่แน่นอน ให้แก่เกษตรกร ผู้ปลูกยางมากกว่าปลูกพืชชนิดอื่นๆ

## 2.2 สมบัติทั่วไปของยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติมีชื่อทางเคมีคือ ซิส-1,4-พอลิไอโซพรีน (cis-1,4-polyisoprene) เป็นโมเลกุลที่ประกอบด้วยคาร์บอนและไฮโดรเจนล้วน ทำให้มีสมบัติไม่ทนต่อน้ำมัน แต่เป็นฉนวนไฟฟ้าได้ดี ใน 1 โมเลกุลจะประกอบด้วยหน่วยของไอโซพรีน ( $C_5H_8$ ) มาต่อกันเป็นสายโซ่ยาวแบบเส้นตรงใน 1 หน่วยไอโซพรีนจะมีพันธะคู่และหมู่แอลฟาเมทิลีนที่วงเวตต่อการเกิดปฏิกิริยา ทำให้สามารถวัลคาไนซ์ได้ด้วยกำมะถัน และทำให้ยางทำปฏิกิริยาได้ง่ายด้วยออกซิเจนและโอโซน ทำให้ยางเกิดการเสื่อมสภาพได้ง่ายเช่นเดียวกัน ดังนั้นการออกสูตรยางจำเป็นจะต้องมีแอนตี้ออกซิแดนท์และแอนตี้โอโซนแชนท์ร่วมด้วย(พรพรรณ นิธิอุทัย, 2540) ยางธรรมชาติมีสายโซ่ที่เคลื่อนไหวหักงอไปมาได้ง่าย ทำให้ยางธรรมชาติคงสภาพยืดหยุ่นได้ดี มีอุณหภูมิของการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วประมาณ  $-72^{\circ}C$  สามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิต่ำมาก สำหรับความสม่ำเสมอในโครงสร้างโมเลกุล ทำให้ยางธรรมชาติสามารถตกผลึกได้เมื่อยืด การเกิดผลึกเนื่องจากการยืดตัวยังทำให้ยางคงรูปมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น นั่นคือ ยางจะมีความทนทานต่อแรงดึง ความทนทานต่อการฉีกขาด และความต้านทานต่อการขูดถูสูงขึ้น ยางธรรมชาติมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยสูง อยู่ในช่วง 200,000 ถึง 400,000 (พงษ์ธร แซ่อู๋, 2547) และมีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลกว้างมาก ทำให้ยางแข็งเกินไปที่จะนำไปแปรรูปโดยตรง จะต้องมีการบดยาง ก่อนที่จะนำไปใช้ในกระบวนการผลิต

## 2.3 ส่วนประกอบของน้ำยาง

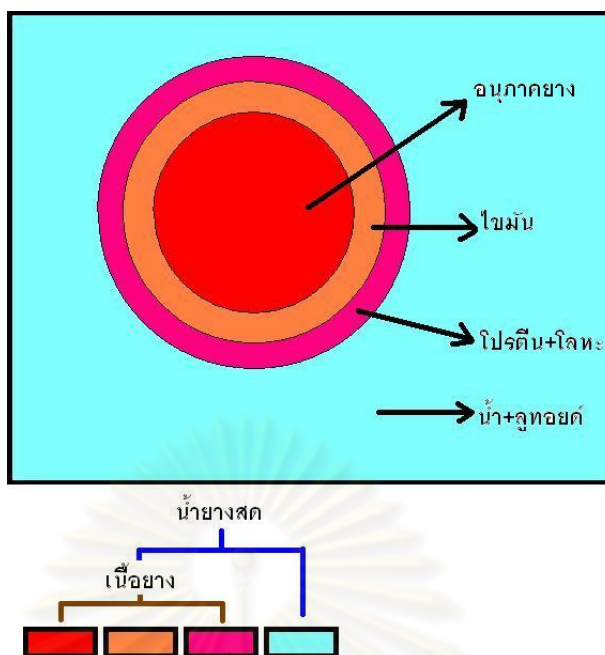
น้ำยางที่กรี๊ดได้จากต้นจะเรียกว่าน้ำยางสด (field latex) น้ำยางที่ได้จากต้นยางมีลักษณะเป็นเม็ดยางเล็ก ๆ กระจายอยู่ในน้ำ (emulsion) มีลักษณะเป็นของเหลวสีขาว มีสภาพเป็นคอลลอยด์ มีปริมาณของแข็งประมาณร้อยละ 30-40 pH 6.5-7 น้ำยางมีความหนาแน่นประมาณ 0.975-0.980 กรัมต่อมิลลิลิตร มีความหนืด 12-15 เซนติพอยส์ ส่วนประกอบในน้ำยางสดแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน(โกศล จริงสูงเนิน, 2528) คือ

1. ส่วนที่เป็นเนื้อยาง	35	เปอร์เซ็นต์
2. ส่วนที่ไม่ใช่ยาง	65	เปอร์เซ็นต์
2.1 ส่วนที่เป็นน้ำ	55	เปอร์เซ็นต์
2.2 ส่วนของลู่ทอยด์และสารอื่น	10	เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ (เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังสี, 2547)

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

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ

### 2.3.1 ส่วนของเนือยาง

#### ก. อนุภาคยาง

อนุภาคยางถูกห่อหุ้มด้วยสารจำพวกไขมันและโปรตีน โดยโปรตีนนี้จะอยู่ชั้นนอก และอาจมีไลโหะบางชนิด เช่น แมกนีเซียม โปแตสเซียม และทองแดงปะปนอยู่ปริมาณเล็กน้อย ประมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์ (บุญธรรม นิธิอุทัย และคณะ, 2539)

โดยปกติอนุภาคยางจะแขวนลอยในน้ำ ประกอบด้วยสารประกอบพวก ไฮโดรคาร์บอน มีชื่อโครงสร้างทางเคมีว่า ไอโซพรีน (cis-1, 4 polyisoprene) มีความหนาแน่น เท่ากับ 0.92 กรัมต่อมิลลิลิตร ลักษณะอนุภาคยางเป็นรูปค่อนข้างทรงกลม มีขนาดอนุภาค แตกต่างกันไปมาก คือ อยู่ระหว่าง 0.04 -4 ไมครอน (400-40000 อังสตรอม) อนุภาคยางส่วนใหญ่ จะมีขนาดเกิน 0.4 ไมครอน (4000 อังสตรอม) มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 1 ไมครอน เมื่อนำ น้ำยางสดมาปั่นด้วยความเร็วสูงพบว่า อนุภาคยางที่มีขนาดใหญ่จะแยกตัวออกจากชั้นน้ำขึ้นมา อยู่ด้านบน ซึ่งสามารถแยกออกได้เป็นน้ำยางชั้น ส่วนอนุภาคยางที่มีขนาดเล็กจะปะปนอยู่กับทางน้ำ ยาง สามารถแยกออกโดยการทำให้จับตัวเป็นก้อนด้วยกรด

## ข. โปรตีน

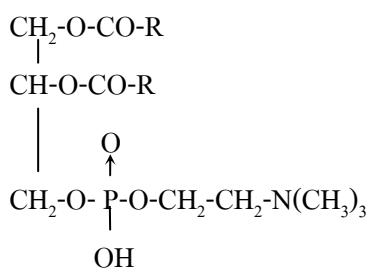
ส่วนของสารพวกโปรตีนที่ห่อหุ้มอยู่ตรงผิวรอบนอกของอนุภาคยางมีอยู่ประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนทั้งหมดที่มีอยู่ในน้ำยาง ส่วนที่เหลือประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ จะอยู่ในชั้นน้ำ และอีก 25 เปอร์เซ็นต์จะปะปนอยู่ในส่วนของสารลูทอยด์ โปรตีนส่วนที่อยู่ในน้ำยางส่วนใหญ่เป็น ชนิดแอลฟาไกลูบูลิน และฮีวิน ( $\alpha$ -Globulin และ Hevein)

ส่วนนอสุดของอนุภาคยางมีโปรตีนห่อหุ้มอยู่ประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ของอนุภาคยาง(สุรศักดิ์ สุทธิสงค์, 2532) ส่วนใหญ่เป็นโปรตีนชนิดแอลฟาไกลูบูลิน ซึ่งไม่ละลายในน้ำกลั่น แต่ละลายในกรด ต่าง และเกลือ มีค่า Isoelectric point ที่ pH เท่ากับ 4.8 ดังนั้นอนุภาคยางจะรวมตัวกันอย่างรวดเร็วที่ pH ของแอลฟาไกลูบูลิน ละลายน้อยที่สุด (บุญธรรม นิธิอุทัยและคณะ, 2539) สำหรับโปรตีนที่ห่อหุ้มผิวรอบนอกของอนุภาคยางซึ่งเป็นโปรตีนพวกฮีวิน สามารถละลายในน้ำได้ (บุญธรรม นิธิอุทัยและคณะ, 2539) มีค่า Isoelectric point ที่ pH เท่ากับ 4.5 จะป้องกันอนุภาคยางมารวมตัวกันเมื่อมีการสูญเสีย น้ำ เช่น การเติมแอลกอฮอล์ หรือกรดอะซิติก อนุภาคยางจะเกิดการรวมตัวกันเป็นก้อนเรียก Coagulum แยกออกจากส่วนของเซอรุ่ม

โปรตีนบนผิวของอนุภาคยางนี้ มีส่วนประกอบของกำมะถัน (Cystin disulphide linkage) อยู่ประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นขณะที่น้ำยางเกิดการสูญเสียสภาพ จะเกิดการบดเน่า โดยโปรตีนส่วนนี้จะสลายตัวให้สารประกอบพวกไฮโดรเจนซัลไฟด์ และสารเมอร์แคปแทน (Mercaptan) ทำให้มีกลิ่นเหม็น (บุญธรรม นิธิอุทัยและคณะ, 2539)

## ค. ไขมัน (Lipid)

ไขมันซึ่งอยู่ระหว่างผิวของอนุภาคยางและโปรตีน ส่วนใหญ่เป็นสารพวกฟอสโฟไลปิด ชนิด  $\alpha$ -Lecithin มีสูตรโครงสร้างแสดงดังรูปที่ 2.3 ทำหน้าที่ยึดโปรตีนให้เกาะอยู่บนผิวของอนุภาคยาง R ในสูตรโครงสร้าง คือ Heptadecyl ( $C_{17}H_{35}$ ) หรือ Heptadenyl ( $C_{17}H_{33}$ )



รูปที่ 2.3 สูตรโครงสร้างของ  $\alpha$ -Lecithin (บุญธรรม นิธิอุทัยและคณะ, 2539)

น้ำยางในสภาวะที่เป็นต่าง เช่น มีแอมโมเนียอยู่ (ประมาณ 0.6% ขึ้นไป) ฟอสโฟไลปิดจะถูกไฮโดรไลซ์เป็นกรดไขมันที่มีโมเลกุลยาว (Long chain fatty acid) ซึ่งจะรวมตัวกับแอมโมเนียกลายเป็นสบู่ ทำให้น้ำยางมีความเสถียรยิ่งขึ้น แต่กรณีที่มีแอมโมเนียปริมาณน้อย (ประมาณ 0.2% ในน้ำยาง) การไฮโดรไลซิสจะเกิดขึ้นน้อย การเพิ่มความเสถียรของน้ำยางจึงจำเป็นต้องเพิ่มสบู่ หรือสารอื่นที่ช่วยในการเก็บรักษาน้ำยางเพิ่มลงไป

ตารางที่ 2.2 ส่วนประกอบของเนือยางแห้ง (บุญธรรม นิธิอุทัยและคณะ, 2539)

ส่วนประกอบ	เปอร์เซ็นต์
เนือยางไฮโดรคาร์บอน	86
น้ำ กระจายอยู่ในเนือยาง	10
สารโปรตีน	1
สารพวกไขมัน	3

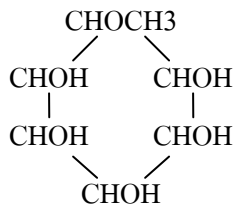
### 2.3.2 ส่วนที่ไม่ใช่ยาง

#### 1. ส่วนที่เป็นน้ำ หรือเซรัม

เซรัม (serum) ของน้ำยาง มีความหนาแน่นประมาณ 1.02 กรัมต่อมิลลิลิตร ประกอบด้วยสารชนิดต่างๆ คือ

#### ก. คาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรตเป็นสารพวกแป้งและน้ำตาล มีอยู่ในน้ำยางประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ น้ำตาลส่วนใหญ่เป็นชนิดควาซิทอล (Quebrachitol) แสดงดังรูปที่ 2.4 มีน้ำตาลชนิดกลูโคส ซูโครส ฟรุคโตส ปริมาณเล็กน้อย (บุญธรรม นิธิอุทัยและคณะ, 2539)



**รูปที่ 2.4** สูตรโครงสร้างของน้ำตาลควิบราซิทอล (บุญธรรม นิธิอุทัยและคณะ, 2539)

น้ำตาลเหล่านี้จะถูกแบคทีเรียใช้เป็นอาหาร เกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายตัวให้กรดโมเลกุลที่มีขนาดเล็กๆ (Short chain fatty acid) ทำให้น้ำยางเกิดการสูญเสียสภาพและรวมตัวเป็นก้อน กรดเหล่านี้เป็นกรดที่ระเหยได้ง่าย จึงเรียกชื่อว่า VFA (Volatile fatty acid) ประกอบด้วยกรดฟอร์มิก กรดอะซิติก และกรดโพรไพโอนิก เป็นต้น ดังนั้นค่า VFA จึงเป็นตัวเลขที่บ่งถึงความสามารถในการรักษาสภาพของน้ำยาง โดยมาตรฐานสากลของน้ำยางชั้น กำหนดให้มีค่า VFA ไม่เกิน 0.2 หน่วย

#### ข. โปรตีนและกรดอะมิโน

โปรตีนและกรดอะมิโนเป็นส่วนที่อยู่ในเซรัมของน้ำยาง มีค่า Isoelectric point หลายนค่า โปรตีนที่มีค่า Isoelectric point สูงสามารถสลายตัวให้ประจุบวกได้ เป็นสาเหตุให้น้ำยางสูญเสียสภาพ โปรตีนที่พบมากในน้ำยางสด ส่วนใหญ่เป็นโปรตีนประเภทอัลฟาไกลูโบลิน (โกศลจริงสูงเนิน, 2528) ซึ่งมีคุณสมบัติของสารตวงผิวของโมเลกุลมีความว่องไว (Surface active) ดังนั้นโดยทั่วไปจะอยู่ระหว่างรอยเชื่อมต่อของน้ำ-อากาศ และน้ำมัน-น้ำ

## 2. ส่วนของลูทอยด์และสารอื่นๆ

### ก. ลูทอยด์

ลูทอยด์ เป็นอนุภาคค่อนข้างกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.5 ถึง 3 ไมครอน ห่อหุ้มด้วยเยื่อบางๆ ภายในเยื่อบางนี้ จะมีทั้งสารละลายและสารที่แขวนลอย มีค่า pH เท่ากับ 5.5 ส่วนใหญ่ประกอบด้วยโปรตีน โดยมีโปรตีนที่ละลายน้ำอยู่ประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ และมีส่วนของโปรตีนที่ไม่ละลายน้ำอยู่ประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังมีส่วนของสารพวกฟอสโฟไลปิดแขวนลอยอยู่ประมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์ (สุรศักดิ์ สุทธิสงค์, 2532) และมีสารโพลีฟีนอลออกซิเดส ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ยางมีสีเหลืองหรือสีคล้ำเมื่อสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ



ลูทอยด์ ห่อหุ้มด้วยเนื้อเยื่อชั้นเดียวสามารถเกิดการออสโมซิส (Osmosis) ได้ง่าย (สุรศักดิ์ สุทธิสงค์, 2532) ดังนั้นการเติมน้ำลงในน้ำยางสด จะทำให้ลูทอยด์บวมและแตกง่าย ขณะที่ลูทอยด์เกิดการพองตัว มีผลที่ให้น้ำยางมีความหนืดเพิ่มขึ้น และเมื่อลูทอยด์แตกความหนืดก็จะลดลง

ในสภาพของอากาศร้อน อุณหภูมิสูงขึ้นมีผลทำให้ลูทอยด์แตกได้เช่นกัน โดยของเหลวภายในลูทอยด์จะขยายตัวและแตกออก เมื่อลูทอยด์แตก ของเหลวภายในซึ่งเป็นสารแขวนลอยที่มีประจุบวก และอิออนของโลหะ เช่น แคลเซียมอิออน และแมกนีเซียมอิออน จะปะปนรวมกันอยู่ในเซรุ่ม ทำให้อนุภาคยางเกิดการรวมตัวกัน ก่อให้เกิดการอุดตันของท่อน้ำยาง (Yip และคณะ, 1975) มีผลทำให้น้ำยางหยุดไหลหลังกรี๊ด (Southorn, 1969) ส่วนเนื้อเยื่อบางของลูทอยด์ที่แตกออก มีรูปร่างไม่แน่นอน จะเกิดจากการจับตัวกันเองเป็นก้อน ติดอยู่บนผิวนอกของอนุภาคยาง ทำให้อย่างมีขนาดโตขึ้นและเกิดการเคลื่อนที่ได้ช้าลงเป็นสาเหตุหนึ่งทำให้น้ำยางเกิดการสูญเสียสภาพได้

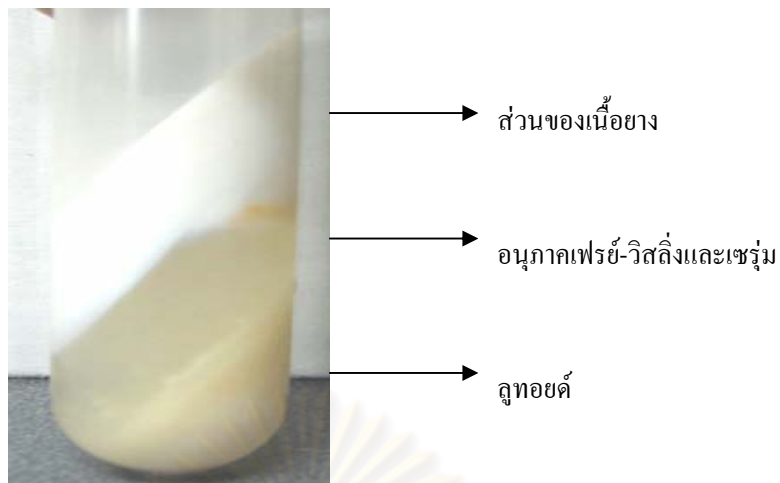
หากเติมแอมโมเนียลงไปให้น้ำยางสด จะพบว่า ส่วนของลูทอยด์และสารพวกโลหะแมกนีเซียมจะรวมตัวกับแอมโมเนีย เกิดการตกตะกอนเป็นตะกอนสีน้ำตาลและสีม่วง แยกตัวออกจากเนื้อยาง และเกาะรวมกันอยู่ด้านล่างสามารถแยกออกได้

### ข. อนุภาคเฟรย์ – วิสลิ่ง (Frey- wysling)

อนุภาคเฟรย์-วิสลิ่ง เป็นสารไม่ใช่ยางมีขนาดอนุภาคใหญ่กว่ายาง แต่ความหนาแน่นน้อยกว่า มีรูปร่างค่อนข้างกลม มีผนังล้อมรอบสองชั้น มีปริมาณไม่มากนัก ประกอบด้วยสารเม็ดสีพวกคาโรทีนอยด์ ซึ่งทำให้อย่างมีสีเหลืองเข้ม (โกศล จริงสูงเนิน, 2528) สามารถรวมตัวกับแอมโมเนียและแยกตัวออกจากยางมาอยู่ในส่วนของเซรุ่ม

หากนำน้ำยางสดมาปั่นด้วยความเร็วสูง ดังรูปที่ 2.5 จะสามารถแยกน้ำยาง ออกได้ 4 ส่วน เรียงจากด้านบน ถึงด้านล่างของภาชนะ ดังนี้ (สุรศักดิ์ สุทธิสงค์, 2532)

1. ส่วนของเนื้อยาง
2. อนุภาคเฟรย์-วิสลิ่ง
3. เซรุ่ม
4. ตะกอนสีเหลืองหรือขาว ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารพวกลูทอยด์



รูปที่ 2.5 การแยกส่วนประกอบของน้ำยางซึ่งปั่นด้วยความเร็วสูง (Kanyawararak, 2005)

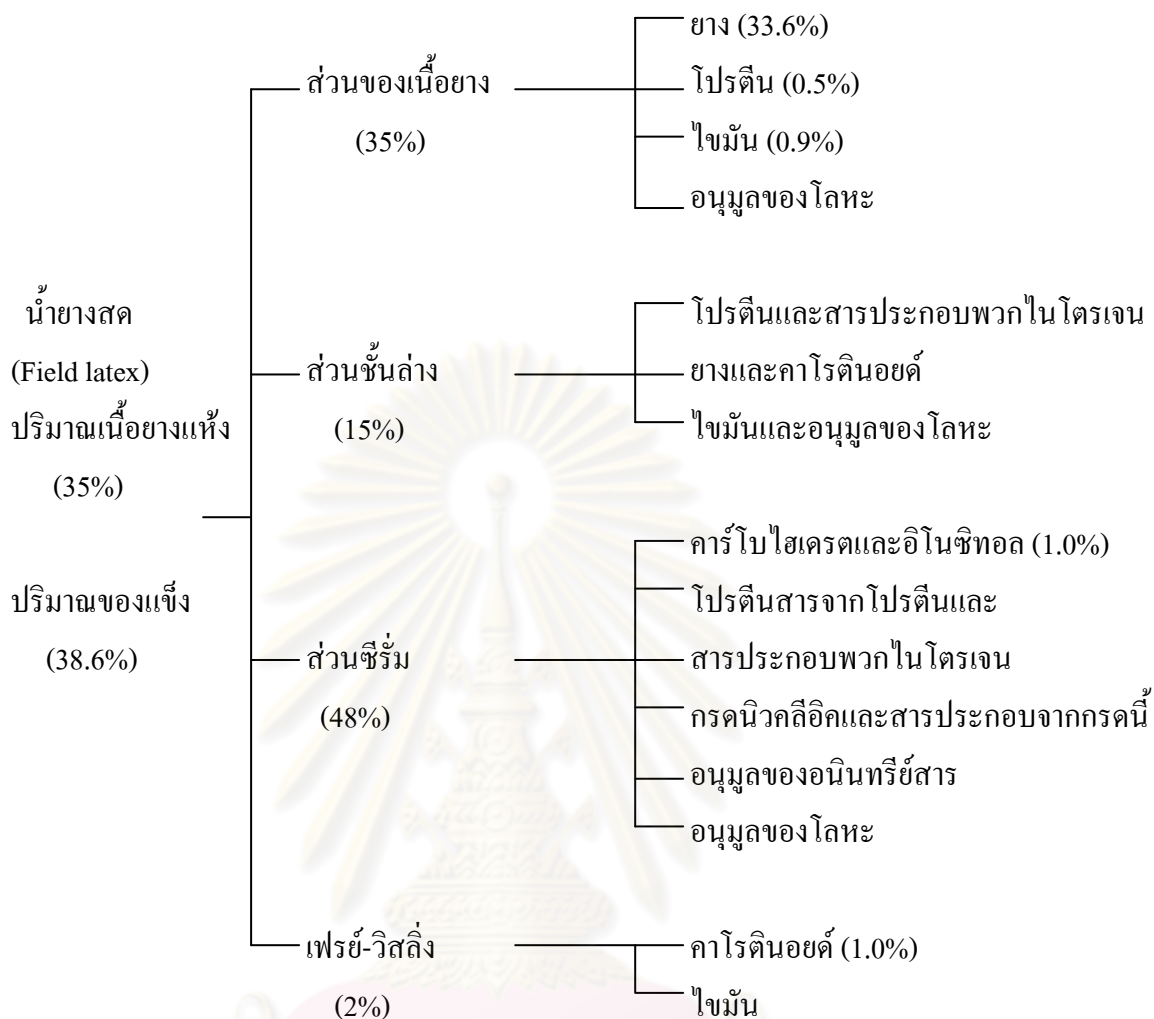
ส่วนของเนื้อยาง อยู่ด้านบนสุด มีลักษณะเป็นครีมสีขาว เป็นอนุภาคของยาง อาจมีของแข็งอื่น เช่น อนุมูลของโลหะอินเจ็ปนบ้างเล็กน้อย

ส่วนที่อยู่ติดกับเนื้อยางมีลักษณะเป็นอนุภาคเช่นเดียวกับยางแต่มีสีเหลือง เป็นอนุภาคของเฟรย์-วิสลิ่ง เวลาปั่นมักปนอยู่ในส่วนของเซรุ่ม

เซรุ่มจะมีสีใสปนเหลืองเป็นฟองง่าย ส่วนใหญ่ประกอบด้วย โปรตีน ฟอสฟอรัส โบแตสเซียม ทองแดง และแมกนีเซียม

ส่วนที่อยู่ชั้นล่าง เป็นตะกอนมีสีเหลือง น้ำตาลคล้ำ หรือสีขาว ส่วนใหญ่เป็นสารพวกโลหะหนัก เช่น แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส และซีลีเนียม

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.6 แสดงส่วนประกอบต่างๆของน้ำยางสดหลังการปั่นแยก (โกศล จริงสูงเนิน, 2528)

น้ำยางจัดเป็นสารแขวนลอย เพราะมีอนุภาคยางแขวนลอยปนอยู่ ซึ่งหากตั้งน้ำยางทิ้งไว้นานพอ น้ำยางและน้ำจะเกิดการแยกชั้นออกจากกัน องค์ประกอบส่วนใหญ่ของน้ำยางสดคือน้ำ ซึ่งมีประมาณ 50-80 เปอร์เซ็นต์ และมีเนื้อยางเพียง 20-45 เปอร์เซ็นต์ ทำให้น้ำยางสดไม่เหมาะจะนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ และไม่นิยมขนส่งน้ำยางในรูปน้ำยางสด เนื่องจากสิ้นเปลืองค่าขนส่ง โดยทั่วไปน้ำยางสดจะถูกนำไปผ่านกระบวนการปั่นเหวี่ยงให้ได้น้ำยางข้นที่มีเนื้อยางประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ก่อนจะนำไปใช้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ หรือขนส่ง

โดยทั่วไปน้ำยางสดที่ออกมาจากต้นยางจะคงสภาพความเป็นน้ำยางได้ไม่เกิน 3-6 ชั่วโมง เนื่องจากแบคทีเรียในอากาศ และจากเปลือกของต้นยางจะลงไปปนน้ำยาง และกินสารอาหารที่อยู่ในน้ำยาง เช่น โปรตีน น้ำตาล เป็นต้น ทำให้แบคทีเรียเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว แต่สิ่งที่เกิดขึ้นจากการย่อยของแบคทีเรียคือ ก๊าซชนิดต่าง ๆ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน และกรดไขมันระเหยได้ (volatile fatty acid) เมื่อปริมาณกรดที่ระเหยง่ายในน้ำยางเพิ่มมากขึ้น น้ำยางจะเกิดการสูญเสียสภาพ สังกะสีได้จากการที่น้ำยางจะค่อยๆ มีความหนืดมากขึ้น เพราะอนุภาคยางเริ่มจับตัวเป็นเม็ดเล็กๆ และค่อยขยายเป็นก้อนใหญ่ขึ้น จนน้ำยางสูญเสียสภาพ เกิดการบูดเน่า และมีกลิ่นเหม็น ซึ่งอัตราการเกิดกระบวนการทั้งหมดจะเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ไม่ว่าจะเป็นเรื่องอุณหภูมิ สภาพแวดล้อม ความคงตัวของน้ำยาง พันธุ์ยาง ฯลฯ

แบคทีเรียย่อยน้ำตาลในน้ำยาง ทำให้เกิด Volatile Fatty Acid (VFA) ดังนั้น VFA คือ เลขที่บอกถึงความสามารถในการรักษาสภาพของน้ำยาง

การใส่  $\text{NH}_3$  ในน้ำยางจะไปยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียและเพิ่มประจุลบให้อนุภาคยางจะพบว่าน้ำยางสดจะประกอบไปด้วยอนุภาคยางประมาณ 33% และมีอนุภาคของแข็งอื่นๆประมาณ 3% เป็นสารปนเปื้อนที่ปนมาจากแร่ธาตุในดิน ซึ่งสารปนเปื้อนดังกล่าวจะปนเปื้อนอยู่ในเนื้อยางและใน serum

## 2.4 การเก็บรักษาน้ำยาง (เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังสี, 2547)

### 2.4.1 ความจำเป็น

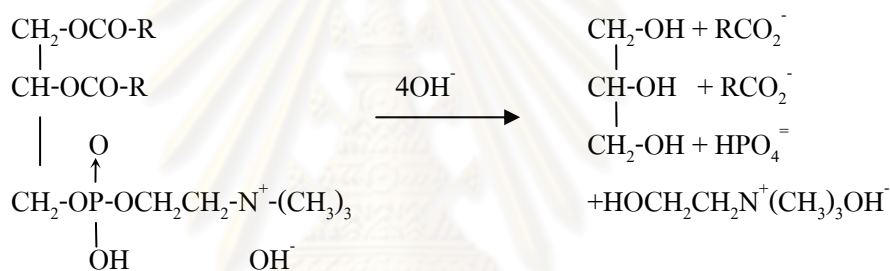
น้ำยางสดหลังจากกรีดยางจากต้นยาง จะคงสภาพเป็นน้ำยางอยู่ได้ช่วงระยะเวลาหนึ่งไม่เกิน 3 ชั่วโมง ต่อจากนั้นน้ำยางจะเริ่มจับตัวเป็นเม็ดเล็กๆคล้ายเม็ดพริก แล้วค่อยๆหนืดขึ้น อนุภาคยางจะเริ่มจับตัวกันเป็นก้อนใหญ่ขึ้น จนกระทั่งน้ำยางเกิดการสูญเสียสภาพ โดยน้ำยางจะถูกแยกออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนที่เป็นเนื้อยางและส่วนที่เป็นเซรัม ในเวลาต่อมา น้ำยางจะเริ่มเกิดการบูดเน่า และมีกลิ่นเหม็น

### 2.4.2 สาเหตุการสูญเสียสภาพของน้ำยาง

ปัจจัยสำคัญที่ทำให้น้ำยางเกิดการสูญเสียสภาพ คือ สภาพแวดล้อม อุณหภูมิ การเจริญเติบโตของแบคทีเรียในน้ำยาง ความเสถียรของน้ำยางแต่ละพันธุ์ซึ่งเกี่ยวข้องกับปริมาณธาตุโลหะไอออนที่มีอยู่ในน้ำยางและการแตกของสารลูทอยด์หลังการกรีดยาง (โกศล จริงสูงเนิน, 2528)

1. หลังจากกรีดยางและน้ำยางไหลออกจากต้นยางแล้ว แแบคทีเรียในอากาศและจากเปลือกของต้นยางจะลงไปบนน้ำยาง เพื่อกินสารอาหารซึ่งไม่ใช่ยาง เช่น น้ำตาล และโปรตีนเป็นต้น ปริมาณแบคทีเรียในน้ำยางจะเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็ว ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นจากการที่แบคทีเรียกินสารอาหารในน้ำยางและเกิดการย่อยสลายให้สารซึ่งเป็นกรดที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก มีความยาวโซ่สั้น (Short chain fatty acid) ซึ่งเป็นกรดที่ระเหยง่าย เรียก VFA (Volatile fatty acid) กรดระเหยง่ายที่เกิดขึ้นนี้มีจำนวนมาก ทำให้มีผลต่อค่า pH ของน้ำยางเปลี่ยนไปด้วย น้ำยางจึงเกิดการสูญเสียสภาพ อนุภาคยางรวมตัวกันเป็นก้อน (John, 1974)

2. สารประกอบพวกไลปิดซึ่งมีอยู่ในน้ำยาง สามารถถูกไฮโดรไลซิสกลายเป็นอนุมูลของกรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ความยาวของโซ่มาก (Long chain fatty acid) เช่น พวกฟอสโฟไลปิด ชนิด □-Lecithin ซึ่งเกาะอยู่บนผิวของอนุภาคยางเกิดการไฮโดรไลซิส (Blackley, 1966) ดังสมการ



รูปที่ 2.7 การไฮโดรไลซิสของฟอสโฟไลปิดชนิด □-Lecithin

อนุมูลกรดที่เกิดขึ้นนี้ ได้แก่ กรดสเตียริก กรดโอเลอิก และกรดอะมิโน เป็นต้น จะเข้าไปแทนที่โปรตีนซึ่งห่อหุ้มตรงผิวของอนุภาคยาง ต่อจากนั้นโลหะออลอนซึ่งมีอยู่ในน้ำยาง เช่น แคลเซียมออลอน หรือแมกนีเซียมออลอน จะเข้าไปทำปฏิกริยากับกรดไขมันตรงผิวของอนุภาคยาง ทำให้เกิดเป็นเกลือของโลหะซึ่งไม่ละลายน้ำ น้ำยางจึงเกิดการสูญเสียสภาพ อนุภาคยางรวมตัวเป็นก้อน (Woo, 1973)

3. การสูญเสียสภาพของน้ำยาง อาจเกิดจากปฏิกริยาของเอนไซม์ที่สลายโปรตีนซึ่งเรียกว่า Coagulase เมื่อสารนี้ทำปฏิกริยากับโปรตีนที่ห่อหุ้มผิวนอกของอนุภาคยางจนเกิดการสลายตัวไป ทำให้ผิวของอนุภาคยางเกิดการสูญเสียสภาพ อนุภาคยางเกิดการรวมตัวกันเป็นก้อน ดังนั้น เพื่อป้องกันการสูญเสียสภาพของน้ำยาง ไม่ให้อนุภาคของเม็ดยางในน้ำยางเกิดการรวมตัวกันเองตามธรรมชาติ จึงใส่สารเคมีลงไปบนน้ำยางเพื่อเก็บรักษาน้ำยาง

### 2.4.3 สมบัติของสารเคมีที่ใช้ในการเก็บรักษาน้ำยาง

สารเคมีที่ใช้ในการเก็บรักษาน้ำยางควรมีสมบัติดังนี้

1. มีความสามารถหรือยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ซึ่งมีอยู่ในน้ำยาง อาจเรียกรวมกันว่า bactericide
2. เป็นสารที่เพิ่มความเสถียรของอนุภาคยางให้อยู่ในสภาพของคอลลอยด์ได้ โดยการเพิ่มประจุระหว่างอนุภาคยางและน้ำที่อยู่รอบๆผิวอนุภาคยาง ผิวของอนุภาคยางมีสภาพของประจุเป็นลบ มีฤทธิ์เป็นด่าง ดังนั้นสารเคมีที่ใช้ในการเก็บรักษาน้ำยางจึงควรมีฤทธิ์เป็นด่าง หรือเป็นสารพวก Stabiliser
3. เป็นสารซึ่งสามารถทำให้อนุมูลของโลหะหนักไม่ไวต่อปฏิกิริยา หรือเกิดการตกตะกอนเป็นเกลือที่ไม่ละลายน้ำ เช่น อนุมูลของโลหะแคลเซียมหรือแมกนีเซียม เป็นต้น
4. มีความสามารถทำปฏิกิริยากับสารพวกคาร์โบไฮเดรต ซึ่งมีอยู่ในน้ำยางทำให้ไม่มีสารที่เป็นอาหารของแบคทีเรียเหลืออยู่
5. ไม่ทำให้คุณภาพของยาง เช่น สีของยางเปลี่ยนไป
6. ไม่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้ กลิ่นไม่รุนแรงจนเกินไป สะดวกและปลอดภัยในการเก็บรักษาและขนส่ง
7. ราคาถูก

### 2.4.4 ชนิดของสารเคมีเก็บรักษาน้ำยาง

สารเคมีที่ใช้ในการเก็บรักษาน้ำยางสามารถแบ่งได้ 2 ประเภท ตามระยะเวลาในการเก็บรักษา คือ

#### 1. สารเคมีเก็บรักษาน้ำยางในระยะสั้น (Short Term Preservative)

การเก็บรักษาน้ำยางโดยวิธีนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อรักษาน้ำยางให้คงสภาพในช่วงระยะเวลาสั้นๆ ซึ่งอาจเป็นเวลาเพียง 2-3 วันเท่านั้น ก่อนที่จะนำน้ำยางนั้นมาแปรรูปเป็นยางแท่งหรือน้ำยางข้นต่อไป สารเคมีที่ใช้ในการเก็บรักษาน้ำยางนี้เรียกว่า สารป้องกันการจับตัว (Anticoagulant) ได้แก่ แอมโมเนีย โซเดียมซัลไฟต์ ฟอรัมาลดีไฮด์ เป็นต้น

#### 2. สารเคมีเก็บรักษาน้ำยางในระยะเวลานาน (Long Term Preservative)

สารเคมีชนิดนี้ส่วนใหญ่จะใช้เพื่อเก็บรักษาน้ำยางข้น ให้คงสภาพเป็นของเหลวไม่ให้เกิดการบูดเน่าหรือมีกลิ่นเหม็น น้ำยางอาจต้องถูกลำเลียงไประยะทางไกลๆ เช่น ส่งออกสู่ต่างประเทศ หรือน้ำยางที่เก็บไว้ในสต็อก ก่อนนำมาใช้ทำผลิตภัณฑ์ สารเคมีที่ใช้ในการเก็บรักษา

น้ำยานี้ เรียกว่า สารรักษาสภาพน้ำยาง (Preservative) ได้แก่ แอมโมเนีย และแอมโมเนียใช้ร่วมกับสารเคมีอื่น สารเคมีที่ใช้ร่วมกันนี้เรียกว่า Secondary preservative ได้แก่ ซิงค์ออกไซด์ ที่เอมที่ดี กรดบอริก โซเดียมเพนตะคลอโรฟิเนต เป็นต้น

#### 2.4.5 สารเคมีเก็บรักษาน้ำยางสดเพื่อทำน้ำยางข้น

น้ำยางสดสำหรับทำน้ำยางข้น จำเป็นต้องมีวิธีการเก็บและรวบรวมน้ำยางให้ดี ไม่ให้แบคทีเรียที่มีอยู่ในบรรยากาศหรือตามเปลือกของต้นยางเข้าไปในน้ำยาง การป้องกันน้ำยางสูญเสียสภาพโดยการใส่แอมโมเนียลงไปน้ำยางหรือการใช้แอมโมเนียร่วมกับสารเคมีอื่น

##### 1. แอมโมเนีย

แอมโมเนียสำหรับเก็บรักษาน้ำยางสดเพื่อทำน้ำยางข้น จำเป็นต้องมีปริมาณสูงพอที่จะระงับการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้ โดยใช้ปริมาณ 0.1 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป หากใส่ต่ำกว่า 0.05 เปอร์เซ็นต์ จะมีผลทำให้อัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียสูงขึ้น และ VFA ของน้ำยางสูงขึ้นด้วย คาดว่าเนื่องจาก การเพิ่มแอมโมเนียปริมาณเพียงเล็กน้อย ทำให้น้ำยางธรรมชาติซึ่งปกติมีค่า pH เท่ากับ 6.5 เพิ่มขึ้นจนมีค่า pH สูงประมาณ 8 มีผลทำให้น้ำยางอยู่ในสภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย

##### 2. แอมโมเนียร่วมกับสารเคมีอื่น

จากจุดด้อยต่างๆ ของแอมโมเนีย ทำให้มีการพัฒนาสารเคมีชนิดต่างๆ ขึ้นมาเพื่อใช้แทนหรือใช้ร่วมกับแอมโมเนีย เพื่อลดผลกระทบจากจุดด้อยของแอมโมเนีย การใช้แอมโมเนียปริมาณต่ำร่วมกับสารเคมีอื่น ซึ่งเรียกสารเคมีนี้ว่า Secondary preservative ซึ่งสารเคมีชนิดอื่นที่นิยมใช้ร่วมกับแอมโมเนียในการรักษาสภาพน้ำยางสดคือ สารเตตระเมทิลไทอูแรมไดซัลไฟด์หรือที่เอมที่ดี (tetramethylthiuram disulphide, TMTD) กับซิงค์ออกไซด์ (zinc oxide) การนำสารเคมีทั้งสองชนิดมาใช้ ทำให้สามารถลดปริมาณการใช้แอมโมเนียลงเหลือร้อยละ 0.2-0.5 โดยน้ำหนักได้

#### 2.5 สารเคมีที่ใช้จับตัวกับแมกนีเซียมในน้ำยาง

## 2.5 สารเคมีที่ใช้จับตัวกับแมกนีเซียมในน้ำยาง

สารเคมีที่จับตัวกับแมกนีเซียมแล้วได้ตะกอนมีหลายชนิดแต่ที่โรงงานเลือกใช้คือ ไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (DAHP) เพราะสามารถจับกับแมกนีเซียมอ่อนได้ดี มีราคาถูก และหาง่าย คุณสมบัติทั่วไปของ DAHP แสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงคุณสมบัติทั่วไปของไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (wikipedia, 2009 : online)

สูตรโครงสร้าง	$\left[ \begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{O} - \text{P} - \text{O}^- \\   \\ \text{OH} \end{array} \right] \left[ \text{NH}_4^+ \right]_2$
สูตรโมเลกุล	$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$
มวลโมเลกุล	132.07 g/mol
ลักษณะทางกายภาพ	เป็นผงสีขาว
ความหนาแน่น	1.619 g/cm <sup>3</sup>
จุดหลอมเหลว	155 °C
ละลายได้ใน	แอลกอฮอล์, อะซิโตน และ แอมโมเนีย(ของเหลว)

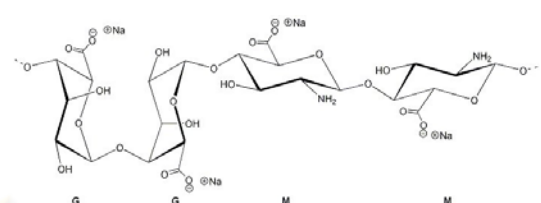
## 2.6 สารเคมีที่ทำให้อนุภาคยางจับตัวกัน

สารเคมีที่ทำให้อนุภาคยางจับตัวกันแล้วทำให้อนุภาคยางมีขนาดใหญ่ขึ้น และไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพของน้ำยาง ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ โซเดียมแอลจีเนต (Sodium Alginate) ถือเป็น creaming agent ชนิดหนึ่ง ซึ่งเป็นสารประกอบของโซเดียมของ alginic acid เป็นสารธรรมชาติที่เตรียมจากสาหร่ายทะเล มีอีกชื่อหนึ่งว่า Kelgin ส่วนใหญ่จะเป็นสารใช้เพิ่มปริมาณเพิ่มความหนืดและเพิ่มความคงตัวใน emulsion และอาหารประเภทนม โดหะแคลเซียมจะทำให้สารละลาย sodium alginate ตกตะกอนเป็น hydrated calcium alginate และกรดอิสระ alginic acid ตามปกติจะต้องเติมสารกันบูดในสารละลาย sodium alginate ด้วยทุกครั้ง คุณสมบัติทั่วไปของโซเดียมแอลจีเนตแสดงดังตารางที่ 2.4



## ตารางที่ 2.4 แสดงคุณสมบัติทั่วไปของไซเดียมแอลจีเนต

(sciencelab,2005 : online)

สูตรโครงสร้าง	
สูตรโมเลกุล	$(C_6H_7NaO_6)_n$
มวลโมเลกุล	216 g/mol
ลักษณะทางกายภาพ	เป็นผงสีขาวครีม
ความหนาแน่น	1.59 g/cm <sup>3</sup>
จุดหลอมเหลว	>300°C (572°F)
ละลายได้ใน	น้ำร้อน, น้ำเย็น

## 2.7 การผลิตน้ำยางข้น

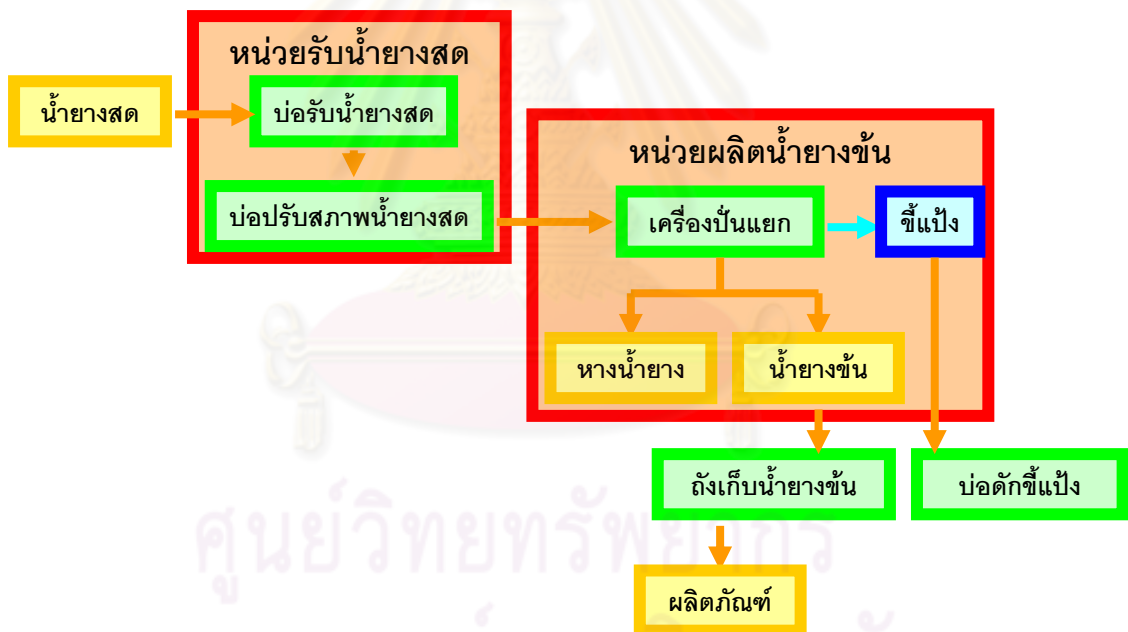
การนำยางธรรมชาติไปใช้งานมีอยู่ 2 รูปแบบคือ รูปแบบน้ำยาง และรูปแบบยางแห้ง ในรูปแบบน้ำยางนั้นน้ำยางสดจะถูกนำมาแยกน้ำออกเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของ เนื้อยางข้นตอนหนึ่ง ก่อนด้วยวิธีการต่าง ๆ แต่ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมคือวิธีปั่นโดยใช้เครื่องเซนตริฟิวส์ การผลิตน้ำยางข้นมี 4 วิธี คือ

1. วิธีระเหยน้ำ
2. วิธีทำให้เกิดครีม (creaming)
3. วิธีปั่น (centrifuging)
4. วิธีแยกด้วยไฟฟ้า (electrodecantation)

การผลิตน้ำยางข้นจากน้ำยางสดของโรงงานนี้ ใช้วิธีการปั่น มีขั้นตอนตามแผนการผลิตน้ำยางข้น (ดูรูปที่ 2.8) เริ่มจากน้ำยางสดได้จากสวนยางจำเป็นต้องมีการรักษาสภาพน้ำยางให้คงสถานะเป็นน้ำยาง โดยเติมสารเคมีป้องกันน้ำยางจับตัว (NH<sub>3</sub>/TMTD/ZnO) ลงไป เมื่อน้ำยางสดเข้าโรงงานผลิตน้ำยางข้นจะทำการกรองผ่านร่งขนาด 80 mesh ลงสู่ถังรวมและนำตัวอย่างน้ำยางมาทำการทดสอบหาปริมาณเนื้อยางแห้ง โดยน้ำยางสดควรมีเนื้อยางไม่น้อยกว่า 25% หลังจากนั้นรีบผ่านแก๊สแอมโมเนียสู่น้ำยางประมาณเกินกว่า 0.4% ของน้ำยาง เต็มได้

แอมโมเนียไฮโดรเจนฟอสเฟต(DAHP) แล้วกวนด้วยความเร็วรอบ 30 rpm เป็นเวลา 40 นาที ปล่อยให้ให้น้ำยางตกตะกอนประมาณ 8 ชั่วโมง ตะกอนเหล่านี้จะถูกแยกออกจากน้ำยาง (น้ำยางสดก่อนนำไปปั่นควรมีแมกนีเซียมน้อยกว่า 170 ppm on total solid) เมื่อบั่นแล้วควรมีแมกนีเซียมไม่เกิน 20 ppm on total solid และนำตัวอย่างน้ำยางนี้ไปทดสอบหาจำนวนกรดไขมัน เพื่อให้แน่ใจว่าน้ำยางนี้ได้รับการรักษาสภาพพอเพียงที่จะนำไปผลิตเป็นน้ำยางชั้นได้ น้ำยางที่มีการรักษาสภาพดีพอ จะต้องมีจำนวนกรดไขมันระเหยได้ไม่เกินกว่า 0.05 และน้ำยางที่มีจำนวนกรดไขมันระเหยได้สูงกว่านี้จะไม่ใช้ผลิตน้ำยางชั้น

หลังจากนั้นนำน้ำยางไปปั่นเหวี่ยงได้น้ำยางชั้น 60% (Concentrated latex) กับหางน้ำยาง (Skim latex) ส่วนของน้ำยางชั้น 60% มีการรักษาสภาพด้วยแอมโมเนีย ( $\text{NH}_3$ ) กรณีใช้แอมโมเนีย 0.7% ต่อน้ำหนักยางจะได้น้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียสูง (High ammonia, LA) ในส่วนของหางน้ำยางจะถูกนำมาจับตัวเนื้อยางที่ยังเหลืออยู่ด้วยกรดซัลฟูริก ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) แล้วผ่านเครื่องรีดเครพ หรือตัดย่อย ทำสกินเครพ หรือสกินบล็อกตามลำดับ

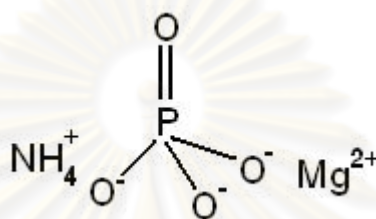
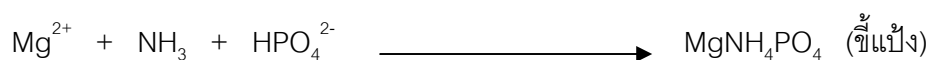


รูปที่ 2.8 แสดงขั้นตอนการผลิตน้ำยางชั้นในโรงงาน

## การกำจัดสารปนเปื้อนซึ่งเป็นโลหะ $[Mg^{2+}, Ca^{2+}]$ ใน Serum

เนื่องจากปริมาณ  $Ca^{2+}$  ใน Serum มีน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณ  $Mg^{2+}$  ดังนั้นจึงกำจัดเฉพาะปริมาณ  $Mg^{2+}$  เท่านั้น

การกำจัด  $Mg^{2+}$  ทำได้โดยการเติม DAHP ( $HPO_4^{2-}$ ) ไปจับกับ  $Mg^{2+}$  ดังปฏิกิริยา



รูปที่ 2.9 แสดงโครงสร้างทางโมเลกุลของซีไบ่ง

### ข้อมูลเพิ่มเติม

1. ใช้สารละลาย DAHP 10%wt
2. อนุภาคยามีขนาดประมาณ 0.4 – 4 ไมครอน
3. น้ำยาสตมีความหนาแน่นระหว่าง 0.975-0.980 กรัมต่อมิลลิลิตร
4. น้ำยาสตมีความหนืดประมาณ 12 – 15 centipoise
5. แมกนีเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต ( $MgNH_4PO_4$ , ซีไบ่ง) มีความหนาแน่น 1.71  $g/cm^3$
6. แมกนีเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต ( $MgNH_4PO_4$ , ซีไบ่ง) มีมวลโมเลกุล 137.31

## 2.8 การกวน (Mixing)

ลักษณะการกวนของใบกวนต่างๆ จะมีอยู่ 2 แบบ คือ การกวนแบบ Axial-Flow และการกวนแบบ Radial-Flow โดยที่ใบกวนที่สามารถทำให้สารผสมกันอย่างทั่วถึงได้นั้นจะมีคุณสมบัติการกวนทั้ง Axial และ Radial-Flow

ข้อมูลที่สำคัญในการเลือกตัวกวน คือ

- 1) ตัวกวนต้องเป็นแบบ Low-shear agitator  
เพื่อทำให้อนุภาคยามีความเสถียร (Stability)
- 2) สารผสมเป็น liquid-liquid phase

3) ความเร็วรอบของตัวกวนต้องช้าๆ (ปัจจุบันอยู่ที่ 30 rpm)  
เพื่อรักษาเสถียรภาพของอนุภาคยาง

ประเภทของตัวกวน แบ่งออกเป็น 4 ชนิด คือ

1. Propellers



2. Turbines



Simple Straight-blade turbine



Disk turbine

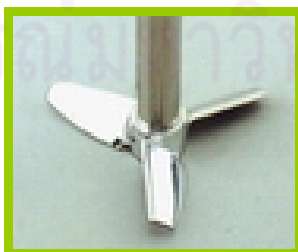


CD-6 blade turbine



Pitch-blade turbine

3. High-efficiency impellers



## 4. Impeller for highly viscous liquids



Helical ribbons



Anchors

## คุณสมบัติของตัวกวน

Propellers มีทิศทางการกวนแบบแนวแกน (Axial-flow)

มีอัตราการหมุนอยู่ที่ 400 ถึง 1200 rpm

Turbines เหมาะกับสารที่มีความหนืดต่ำ

Simple Straight-blade turbine (บริษัทใช้อยู่ในปัจจุบัน)

มีการปั่นกวนเฉพาะแนวรัศมี (Radial-Flow)

มีอัตราการหมุนอยู่ที่ 20 ถึง 150 rpm

Disk turbine ให้แรงเฉือนสูง

เหมาะสำหรับสารผสมระหว่างแก๊สกับของเหลว

CD-6 blade turbine เหมาะสำหรับสารผสมเฟสแก๊ส

Pitch-blade turbine มีการหมุนกวนสารทุกทิศทาง (Axial & Radial-Flow)

High-efficiency impellers

ตัวกวนชนิดนี้ถูกใช้อย่างกว้างขวางในการผสมสารที่มีความหนืดต่ำ

เป็นรูปแบบที่พัฒนามาจาก Pitch-blade turbine

Impellers for highly viscous liquids สำหรับการกวนสารความหนืดสูง

Helical ribbons ใช้ที่ความหนืด 25,000 Pa.s

Anchors คุณภาพต่ำกว่า helical ribbon มีการถ่ายเทความร้อนสู่นั่งได้ดี

ตัวกวนที่มีคุณสมบัติตรงตามความต้องการ คือ ตัวกวนชนิด Turbine ประเภท Simple Straight-blade turbine และ Pitch-blade turbine และ ตัวกวนชนิด High-efficiency impellers เนื่องจากตัวกวนประเภท High-efficiency impellers เป็นตัวกวนที่พัฒนาขึ้นจากตัวกวนชนิด Turbine ประเภท Pitch-blade turbine ดังนั้นจึงเลือกใช้ตัวกวนชนิด High-efficiency impellers

ดังรูป 2.10



(ก)



(ข)

### รูปที่ 2.10 แสดงตัวกวนที่ใช้ในการทดลอง

ก. ชนิด Simple Straight-blade turbine (ปัจจุบันโรงงานใช้อยู่)

ข. ชนิด High-efficiency impellers

### ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดตะกอนซีแบ็ง

1. ชนิดของสารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอนแมกนีเซียมในน้ำยางสด

สารเคมีที่ใช้ตกตะกอนแมกนีเซียมมีหลายตัว เช่น ไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟต ( $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ ) หรือเรียกว่า DAHP, โซเดียมคาร์บอเนต ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต ( $\text{NaHCO}_3$ ) และพวกเกลือฟอสเฟต เป็นต้น แต่ในระดับอุตสาหกรรมบางส่วนใหญ่ใช้สาร DAHP เป็นสารเคมีในการตกตะกอนแมกนีเซียมในน้ำยางสด เพราะเป็นสารที่มีความสามารถในการตกตะกอนแมกนีเซียมได้ดี ราคาถูก และหาได้ง่าย

2. ชนิดของตัวกวน

ตัวกวนที่ดีที่สามารถทำให้สารผสมกันอย่างทั่วถึงได้นั้นจะต้องมีคุณสมบัติการกวนทั้ง Axial และ Radial-Flow เพราะจะทำให้สาร DAHP เข้าทำปฏิกิริยากับแมกนีเซียมในน้ำยางสดได้ดี และได้ตะกอนซีแบ็งที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งตัวกวนชนิดที่มีคุณสมบัติดังกล่าวคือตัวกวนชนิด High-efficiency impellers

3. ความเร็วรอบในการกวน

ความเร็วรอบในการกวนที่เหมาะสมมีผลต่อการเกิดตะกอนซีแบ็ง เพราะถ้าใช้ความเร็วรอบในการกวนต่ำจะทำให้โอกาสในการเข้าทำปฏิกิริยาของสาร DAHP กับแมกนีเซียมมีน้อย แต่ถ้าใช้ความเร็วรอบในการกวนสูงเกินไปจะทำให้อนุภาคของตะกอนซีแบ็งที่มีขนาดใหญ่แตกออกเป็นขนาดเล็กลงเนื่องจากแรงเฉือนจากตัวกวน (Edmond และคณะ, 2001)

#### 4. เวลาที่ใช้ในการกวน

เวลาที่ใช้ในการกวนมีผลต่อการเกิดตะกอนซีเมนต์ เพราะถ้าใช้เวลาในการกวนน้อย สาร DAHP มีโอกาสในการเข้าทำปฏิกิริยาน้อยทำให้ได้ตะกอนซีเมนต์ที่มีขนาดเล็ก และปริมาณน้อย แต่ถ้าใช้เวลามากไปจะทำให้คุณภาพของตะกอนซีเมนต์ที่มีขนาดใหญ่โดนแรงเฉือนจากตัวกวนแตกออกเป็นขนาดเล็กลงได้เช่นกัน (Edmond และคณะ, 2002) ดังนั้นเวลาที่เหมาะสมในการกวนจึงมีผลต่อการเกิดตะกอนซีเมนต์

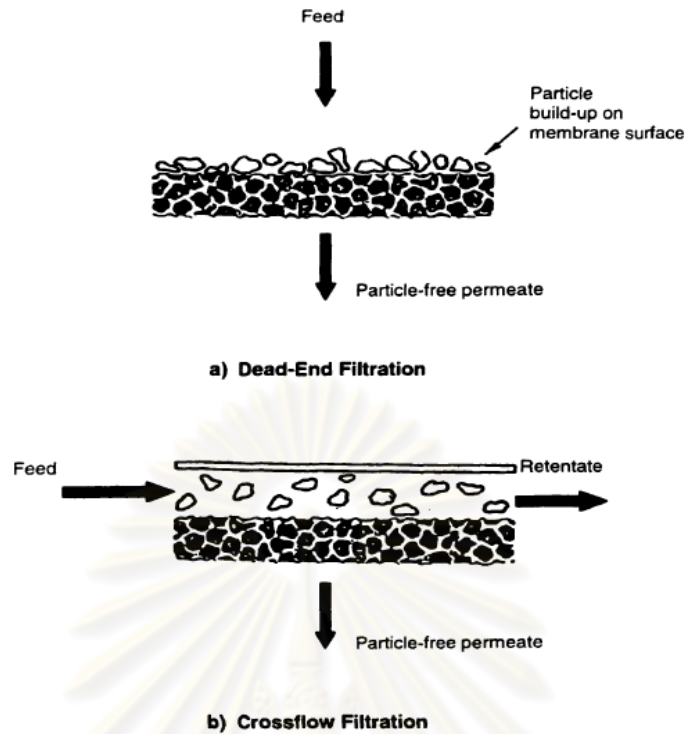
#### 2.9 การกรอง

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

ประเภทของการกรองแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. การกรองแบบป้อนตั้งฉากกับแผ่นกรอง (dead-end filtration) การกรองแบบ dead-end เป็นการป้อนสารละลายในทิศทางที่ตั้งฉากกับเยื่อแผ่น ดังรูปที่ 2.11 ทำให้เกิดการสะสมของอนุภาคบนผิวเยื่อแผ่น ซึ่งเรียกว่า เค้ก (cake) การสะสมของเค้กทำให้ความต้านทานการไหลเพิ่มขึ้นตามเวลาของการกรอง และทำให้ค่าฟลักซ์ (flux) ผ่านเยื่อแผ่นลดลงอย่างรวดเร็ว การกรองแบบ dead-end เหมาะสำหรับการกรองสารละลายประกอบด้วยอนุภาคขนาดเล็ก และมีความเข้มข้นต่ำ งานวิจัยทั่วไปที่ต้องการทดสอบสมบัติของเยื่อแผ่นมักใช้การกรองแบบ dead-end เนื่องจากเป็นระบบที่ใช้ปริมาตรของสารละลายน้อยและความเข้มข้นของสารละลายต่ำ

2. การกรองแบบป้อนขนานกับแผ่นกรอง (crossflow filtration) เป็นการกรองแบบป้อนสารละลายขนานกับเยื่อแผ่นหรือตั้งฉากกับทิศทางการไหลของเพอร์มิเอท ดังรูปที่ 2.11 การกรองแบบนี้มีผลดีคือ เกิดแรงเฉือนทำให้สารละลายกวาดอนุภาคออกจากผิวหน้าเยื่อแผ่น ทำให้เกิดการสะสมของเค้กเพียงบางๆ เท่านั้น การลดลงของฟลักซ์ไม่มากเท่ากับการกรองแบบ dead-end จึงเหมาะสำหรับการกรองสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง



รูปที่ 2.11 ประเภทการกรองตามทิศทางการไหลของสารแขวนลอย

### ข้อดีของกระบวนการกรอง

กระบวนการกรองมีข้อได้เปรียบกระบวนการแยกอื่นๆ คือ

1. เป็นการแยกตามขนาดของอนุภาค (หรือรูปร่าง หรือชนิดของประจุ) ซึ่งทำให้สามารถดำเนินการที่อุณหภูมิปกติ จึงเหมาะสมสำหรับการแยกสารที่อาจเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนได้
2. กระบวนการกรองส่วนใหญ่ใช้พลังงานในการแยกค่อนข้างต่ำ เนื่องจากสามารถแยกได้โดยไม่ต้องเปลี่ยนสถานะ
3. สามารถขยายขนาดจากระดับต้นแบบให้เป็นระดับอุตสาหกรรมได้ง่าย
4. สามารถดำเนินการแบบไม่ต่อเนื่อง หรือแบบต่อเนื่อง ตลอดจนถึงติดตั้งระบบควบคุมการปฏิบัติการไม่ยาก
5. เป็นกระบวนการที่มีขนาดกะทัดรัดไม่เปลืองพื้นที่ เพราะอุปกรณ์การกรองมีการออกแบบให้มีพื้นที่ในการกรองต่อหน่วยปริมาตรของการกรองสูง



## ปัจจัยที่มีผลต่อการกรอง

1. ความดัน ความดันในระบบจะแปรผันตรงกับค่าฟลักซ์ของสารแขวนลอยที่สามารถผ่านเยื่อแผ่นได้ ซึ่งค่าฟลักซ์นี้จะบอกถึงประสิทธิภาพการกรองโดยแสดงในรูปปริมาตรของเพอร์มิเอทที่ผ่านรูพรุนของเยื่อแผ่นดังสมการที่ 1 จากสมการเมื่อเพิ่มความดัน ฟลักซ์ของการกรองเพิ่มสูงขึ้น ด้วยจนถึงจุดหนึ่ง ความดันจะไม่มีผลต่อค่าฟลักซ์เนื่องจากเกิดความต้านทานของอนุภาคที่สะสมที่ผิวหน้าของเยื่อแผ่น

$$J_v = \frac{\Delta P_{TM}}{\mu R_T} \quad (1)$$

2. ความหนืดของของไหล เมื่อความหนืดของของไหลมีค่าสูงทำให้อัตราการกรองลดลง ดังนั้นในกระบวนการกรองที่มีความหนืดสูงจึงควรลดความหนืดก่อนทำการกรอง อาจทำได้โดยการเจือจางหรือการเพิ่มอุณหภูมิให้กับของไหลนั้น เพราะเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ค่าความหนืดมีค่าลดลง

3. ความเร็วในกระแสนวนกลับ โดยค่า K สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลจะเพิ่มขึ้นและแปรผันตรงกับค่าความเร็วในกระแสนวนกลับซึ่งอยู่ในเทอมของเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ดังสมการที่ (2)

$$Sh = \frac{Kd}{D_v} = A Re^B Sc^{1/3} \quad (2)$$

เมื่อเพิ่มความเร็วในกระแสนวนกลับจะทำให้ความหนาของชั้นขอบเขตลดลง ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลจะมีค่าเพิ่มขึ้น

4. ความหนาของเค้ก เมื่อดำเนินการกรองทำให้เกิดการสะสมของอนุภาคที่ผิวหน้าของตัวกรองทำให้มีความหนามากขึ้นส่งผลให้อัตราการกรองมีค่าลดลง

5. ชนิดของตัวกรอง มีผลต่อความต้านทานของตัวกรอง ตัวกรองที่มีขนาดของรูพรุนขนาดเล็กจะมีค่าความต้านทานของตัวกรองที่สูงกว่าตัวกรองที่มีรูขนาดใหญ่ แต่ประสิทธิภาพในการแยกก็สูงขึ้นด้วย

6. ขนาดของอนุภาค อนุภาคที่มีขนาดเล็กจะทำให้อัตราการกรองลดลง เนื่องจากอนุภาคขนาดเล็กอาจไปอุดตันภายในรูพรุนของตัวกรอง

7. ความสามารถในการกักเก็บของเยื่อแผ่น (รีเจคชัน, Rejection,  $\sigma$ ) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการกักเก็บสารของเยื่อแผ่นโดยสามารถแสดงในรูปของเปอร์เซ็นต์รีเจคชันดังสมการที่ (3)

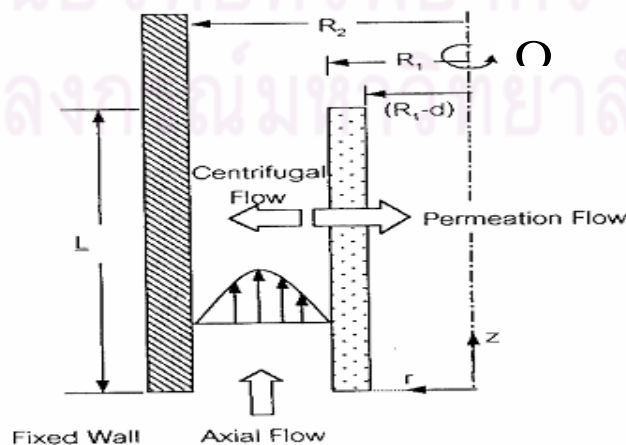
$$R = \sigma \times 100 \quad (3)$$

$$\sigma = 1 - (C_p / C_B) \quad (4)$$

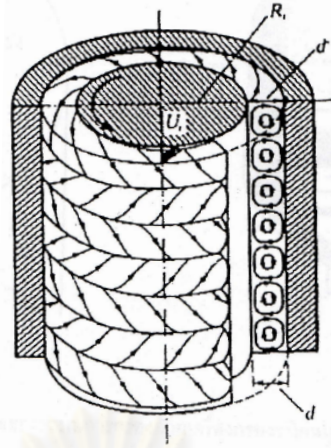
ถ้าเยื่อแผ่นมีความสามารถในการกักเก็บอย่างสมบูรณ์ค่า  $\sigma$  จะเท่ากับ 1

## 2.10 การกรองด้วยเครื่องกรองชนิดเยื่อแผ่นหมุนได้ (Rotating filtration)

เมื่อของไหลไหลเข้าสู่ปริมาตรวงแหวนระหว่างทรงกระบอกสองชั้น ทรงกระบอกชั้นในมีการหมุนและทรงกระบอกชั้นนอกหยุดนิ่งกับที่ โดยทรงกระบอกชั้นในมีตัวกรองห่อหุ้มอยู่ เมื่อทรงกระบอกชั้นในมีการหมุนจะเกิดการไหลของของไหล 3 ทิศทาง ดังรูปที่ 2.12 การไหลในแนวแกน (Axial flow) การไหลในทิศทางการหมุนเหวี่ยง (Centrifugal flow) และการไหลผ่านตัวกรองในแนวรัศมี (permeation flow) รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะการไหลของของไหลระหว่างทรงกระบอกชั้นในและชั้นนอก เนื่องจากมีแรงหมุนเหวี่ยงที่เกิดจากการหมุนของทรงกระบอกชั้นในทำให้ของไหลบริเวณที่อยู่ใกล้ผนังของทรงกระบอกชั้นในมีแรงหมุนเหวี่ยงสูง จึงเคลื่อนที่ออกจากผนังของทรงกระบอกชั้นในไปยังทรงกระบอกชั้นนอกที่หยุดนิ่ง เกิดเป็นการไหลลักษณะเป็นวงแหวนรอบๆ ผนังของทรงกระบอกชั้นใน เรียกการไหลในลักษณะนี้ว่า การหมุนวนของเทย์เลอร์ (Taylor vortice) การกรองด้วยเครื่องกรองชนิดหมุนได้ จะเกิดการหมุนวนของเทย์เลอร์บริเวณผิวหน้าของตัวกรอง ทำให้เกิดแรงเฉือนตลอดผิวหน้าของตัวกรอง ทำให้อนุภาคที่เกาะบริเวณผิวตัวกรองลดลง ดังนั้นฟลักซ์จึงมีค่าสูงขึ้น



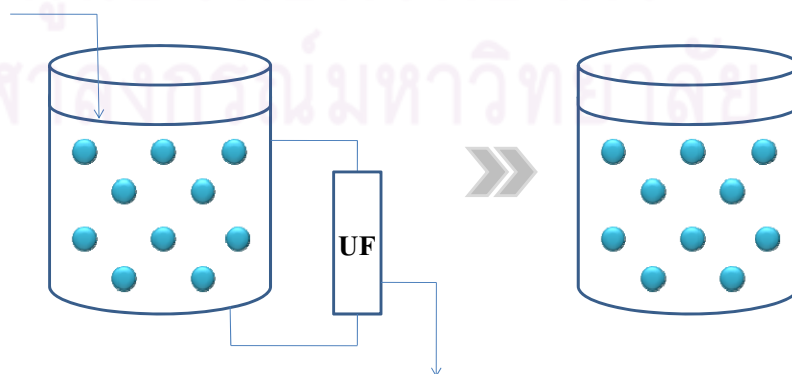
รูปที่ 2.12 ทิศทางการไหลของของไหลในกระบวนการกรองด้วยเครื่องกรองชนิดเยื่อแผ่นหมุนได้



รูปที่ 2.13 การหมุนวนแบบเทย์เลอร์ (Taylor vortices)(Hermert van, P.A.,1987)

### 2.11 กระบวนการไดอะฟิลเตรชัน (Diafiltration) (Leos, 1996)

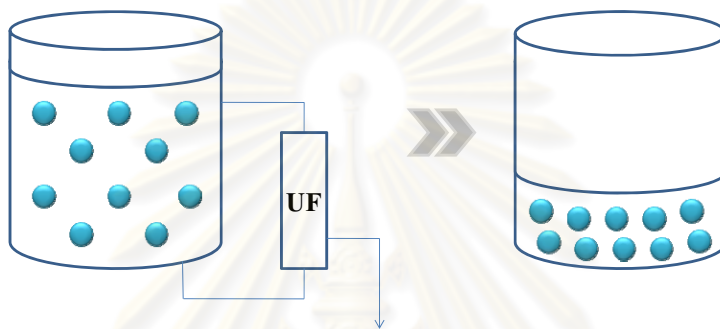
กระบวนการไดอะฟิลเตรชันเป็นเทคนิคหนึ่งของการกรอง ที่ขณะดำเนินการมีการเติมน้ำหรือสารละลายบัฟเฟอร์ (Buffer) เข้าไปในสารละลายป้อนเพื่อทดแทนเพอมีเอทที่ถูกแยกออกไปโดยอาจเติมเป็นช่วงๆ หรือเติมอย่างต่อเนื่อง ถ้าสารป้อนกำหนดมีปริมาตรเริ่มต้น  $V_0$  และประกอบด้วยสารอนุภาคขนาดใหญ่ (ที่ไม่สามารถผ่านเยื่อแผ่นได้) และสารอนุภาคขนาดเล็กที่ผ่านเยื่อแผ่นได้ เมื่อเติมน้ำลงไปจะทำให้ความเข้มข้นของสารอนุภาคขนาดใหญ่คงที่ และพาสารอนุภาคขนาดเล็กที่กระจายตัวในน้ำสามารถผ่านเยื่อแผ่นได้มากขึ้น ดังนั้นวัตถุประสงค์หลักของการใช้ไดอะฟิลเตรชันก็เพื่อกำจัดสารอนุภาคขนาดเล็กออกจากสารอนุภาคขนาดใหญ่ให้ได้มากที่สุด โดยความเข้มข้นของสารอนุภาคขนาดใหญ่ในถังป้อนยังคงเท่าเดิม เพราะโดยปกติจะเติมน้ำเท่ากับเพอมีเอทที่ถูกแยกออก หรือถ้าเป็นการทำแบบต่อเนื่องหมายความว่าอัตราการป้อนน้ำเท่ากับอัตราการไหลของเพอมีเอทดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 การดำเนินการแบบไดอะฟิลเตรชัน

## 2.12 กระบวนการคอนเซนเตรชัน (Concentration)

เทคนิคการทำคอนเซนเตรชันหรือการทำให้เข้มข้น โดยทั่วไปกระบวนการทำให้เข้มข้นนี้จะใช้ในการทำให้สารที่มีอนุภาคขนาดใหญ่มีความเข้มข้นสูงขึ้น ด้วยการผ่านไปในตัวกลางแยกหรือตัวกรอง อนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่ารูของตัวกรองและของเหลวบางส่วนจะถูกแยกออก ส่วนอนุภาคที่มีขนาดใหญ่และของเหลวที่เหลือจะถูกส่งกลับไปในถังพักก็จะมีมีความเข้มข้นของอนุภาคใหญ่ที่สูงขึ้นดังรูปที่ 2.15

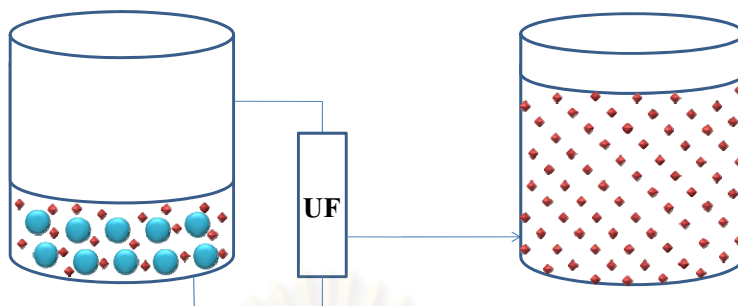


รูปที่ 2.15 การดำเนินงานแบบคอนเซนเตรชัน

## 2.13 กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ (Purification)

กระบวนการเพียวริฟิเคชัน เป็นการทำให้สารบริสุทธิ์ขึ้น โดยอาศัยเทคนิคที่ประยุกต์รวมระหว่างเทคนิคไดอะฟิลเตรชันและเทคนิคคอนเซนเตรชัน เพื่อใช้ในกระบวนการแยกสารอนุภาคขนาดเล็กออกจากอนุภาคขนาดใหญ่และทำให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเข้มข้นมากขึ้นดังรูปที่ 2.16 การใช้เทคนิคทำให้สารบริสุทธิ์นั้น สิ่งที่ต้องนำมาพิจารณาคือ การดำเนินการระหว่างการทำไดอะฟิลเตรชันและคอนเซนเตรชัน เช่นจะทำไดอะฟิลเตรชันที่ปริมาตรของสารละลายแล้วจึงทำคอนเซนเตรชันเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารแขวนลอย หรือต้องทำคอนเซนเตรชันให้เข้มข้นเท่าใดแล้วจึงทำไดอะฟิลเตรชัน ไม่ว่าจะการเลือกทำกระบวนการใดก่อนหรือหลัง ก็จะทำให้ความเข้มข้นสุดท้ายของสารอนุภาคขนาดใหญ่และสารอนุภาคขนาดเล็กในสายรีเทนเททเท่ากัน ทั้งสองวิธีจะให้ค่าฟลักซ์ที่ต่างกัน การเลือกทำไดอะฟิลเตรชันที่ความเข้มข้นของสารอนุภาคขนาดใหญ่มีค่าต่ำจะให้ฟลักซ์ของการกรองที่มีค่าสูง แต่ในกระบวนการต้องใช้ปริมาตรของสารที่เติมมากตามไปด้วย การทำไดอะฟิลเตรชันที่ความเข้มข้นของสารอนุภาคขนาดใหญ่สูงจะใช้ปริมาตรของสารละลายที่เติมน้อย แต่จะให้ฟลักซ์ของการกรองที่มีค่าต่ำ ดังนั้นการเลือกภาวะที่เหมาะสมของการทำ

ไดอะฟิลเตรชันจึงอยู่ระหว่างความเข้มข้นของสารอนุภาคขนาดใหญ่ที่เริ่มต้นกับความเข้มข้นของสารอนุภาคขนาดใหญ่สุดท้าย เพื่อให้จะให้เวลาของการดำเนินงานมีค่าน้อย



รูปที่ 2.16 การดำเนินงานแบบเพียวรีฟิเคชัน

#### 2.14 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอนแมกนีเซียม

ลักษณะพร ธาราชีวิน และคณะ(2004) ศึกษาโครงสร้างของยางธรรมชาติจากยางพารา-การวิเคราะห์หมู่ปลายแอลฟา พบว่ายางธรรมชาติมีหมู่ฟังก์ชันที่จุดเริ่มและปลายสายโซ่ หรือคือปลายไอเมก้าและแอลฟาซึ่งต่ออยู่กับโมเลกุลโปรตีนและฟอสฟอลิปิดตามลำดับ ที่ปลายสายโซ่ทั้งสองพบว่าเป็นจุดกำเนิดของสายโซ่แบบกึ่งก้านและเจลแบบอ่อน (soft-gel) การเกิดสายโซ่แบบกึ่งก้านที่ปลายไอเมก้ามีเหตุผลสนับสนุนจากการพบกรดไขมันประมาณสองโมลและฟอสฟอรัสอะตอมประมาณหนึ่งโมลต่อหนึ่งสายโซ่ของยางซึ่งไม่ขึ้นกับน้ำหนักโมเลกุล หมู่ปลายของโมเลกุลยางคาดว่าเป็นหมู่ฟอสเฟตและไดฟอสเฟตที่ต่อกับโมเลกุลของฟอสฟอลิปิดโดยพันธะแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์และพันธะไฮโดรเจน ในสถานะของแข็งพบฟอสฟอรัสประมาณสองถึงสามอะตอมต่อสายโซ่ยาง กึ่งก้านของสายโซ่ยางเกิดจากการเกิด micelle โดยพันธะไฮโดรเจนและพันธะไอออนิกระหว่างหมู่ฟอสฟอลิปิดและหมู่ฟอสเฟต แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ เตตระเมทิลไทยูแรมไดซัลไฟด์ (TMTD) ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) และไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (DAHP) เป็นจุดกำเนิดเพิ่มเติมของการเกิดสายโซ่ยางแบบกึ่งในน้ำยางสดและน้ำยางแอมโมเนียที่ถูกเก็บเป็นเวลานานจึงสามารถสรุปได้ว่าโมเลกุลของยางเชื่อมต่อกับหมู่ฟอสเฟตและไดฟอสเฟตที่ปลายไอเมก้า สายโซ่แบบกึ่งก้านเกิดจากการรวมตัวของฟอสฟอลิปิดโดยพันธะไฮโดรเจนหรือพันธะไอออนิก

#### 2.15 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแรงเฉือนต่อขนาดอนุภาค

Edmond และคณะ(2001) ศึกษาผลของแรงเฉือนต่อขนาดอนุภาคของโปรตีน และการแยก  $\alpha$ -lactalbumin ออกจากโปรตีนโดยการตกตะกอน ทำการทดลองในถังกวนแบบ Batch ในระดับ laboratory scale ทำให้ตกตะกอนและจับตัวกันเป็นก้อนของอนุภาคโปรตีนโดยการเติม

กรด ต่อมาได้ทำการทดลองที่ระดับ pilot scale บนฐานของพลังงานต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร พบว่าเมื่อใช้ความเร็วรอบในการกวนต่ำ ทำให้เกิดแรงเฉือนต่ำ อนุภาคโปรตีนที่จับตัวเป็นก้อนจะสามารถคงตัวอยู่ได้นานโดยไม่แตกเป็นก้อนเล็ก ซึ่งอนุภาคโปรตีนจะมีความแข็งแรงทนต่อการแตกตัวและต้านแรงเฉือน แต่เมื่อเพิ่มความเร็วรอบในการกวนสูงขึ้นหรือกวนแบบ turbulent ทำให้มีแรงเฉือนสูง อนุภาคโปรตีนที่จับตัวเป็นก้อนใหญ่จะแตกออกเป็นอนุภาคขนาดเล็กลง เนื่องจากแรงเฉือนทำให้โครงสร้างของอนุภาคโปรตีนไม่แข็งแรง จึงแตกออกเป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็กลง อย่างไรก็ตามเวลาในการกวนมีผลต่อขนาดของอนุภาค และปริมาณของ  $\alpha$  - lactalbumin ที่สกัดได้ แต่ความเร็วในการกวนไม่มีผลต่อการสกัด  $\alpha$  - lactalbumin ออกจากโปรตีน

Edmond และคณะ(2002) ศึกษาการการจับตัวเป็นก้อนและตกตะกอนของโปรตีนด้วยการเติมกรดใน Vessel แบบ Batch โดยการปั่นกวนด้วยความเร็วรอบที่แตกต่างกัน ทำการทดลองที่ระดับ laboratory scale และ pilot scale บนฐานของพลังงานต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร พบว่าความเร็วรอบของเครื่องปั่นเหวี่ยงมีผลต่อการตกตะกอนของอนุภาคโปรตีน โดยเมื่อเพิ่มความเร็วรอบมากขึ้นจะทำให้มีแรงเฉือนจากใบพัดกวนมากขึ้นส่งผลทำให้ขนาดอนุภาคที่จับตัวเป็นก้อนแตกออกเป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็กลงกระจายอยู่ในถังกวน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของอนุภาคโปรตีนที่มาจับตัวกันโดยการเติมกรด และ เวลาในการกวน ซึ่งถ้าใช้เวลาในการกวนมากขึ้นจะทำให้อนุภาคมีขนาดเล็กลง โดยเวลาเริ่มต้นอนุภาคโปรตีนจะจับตัวเป็นก้อนใหญ่และตกตะกอนสูงสู่ก้นถัง แต่เมื่อเริ่มกวนเพียง 10 นาทีแรก พบว่าอนุภาคโปรตีนเริ่มแตกออกกลายเป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็กลงทั้งในระดับ laboratory scale และ pilot scale

## 2.16 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้เครื่องกรองชนิดเยื่อแผ่นหมุนได้

Kuzunori และคณะ(1993) ศึกษาการกรองเซลล์ยีสต์ในภาวะที่มีการให้อากาศและภาวะที่ไม่มีการให้อากาศด้วยเครื่องกรองชนิดตัวกรองเซรามิกซ์หมุนได้ พบว่าการกรองที่ภาวะที่มีการให้อากาศมีค่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์สูงกว่าภาวะที่ไม่มีการให้อากาศ เนื่องจากการกรองแบบที่มีการให้อากาศนั้นจะมีฟองอากาศขนาดเล็กเกิดขึ้นบนผิวของตัวกรอง ทำหน้าที่ป้องกันการเกิดขึ้นเค้ก และส่งผลให้ความต้านทานของการกรองลดลง โดยทดลองมีวัตถุประสงค์ที่จะทำให้ *Corynebacterium glutamicum* และ *Propionibacterium freudenreichii* เข้มข้นขึ้น การทดลองนี้ใช้ถังหมักที่ต่อกับเครื่องกรองชนิดตัวกรองเซรามิกซ์หมุนได้ พบว่าไม่มีปัญหาเรื่องการอุดตัน ผลการทดลองพบว่าความเข้มข้นสุดท้ายของเซลล์ *Corynebacterium glutamicum* และ *Propionibacterium freudenreichii* เท่ากับ 120 และ 53 กรัมเซลล์แห้งต่อลิตรตามลำดับ

Tanja และคณะ(1999) ศึกษาการถ่ายโอนโปรตีนและปริมาตรของของไหลด้วย กระบวนการกรองแบบไมโครฟิวเตรชัน โดยทำให้ของไหลเกิดการหมุนวนแบบไม่คงที่เรียกว่า การหมุนวนแบบดีน (Dean vortice) ที่ภาวะเพอร์มิชันฟลักซ์คงที่ และศึกษาโดยใช้โมดูลที่มีการเรียงตัวแบบเกลียว (Helical module) และโมดูลที่มีการเรียงตัวแบบเส้นตรง พบว่าโมดูลที่มีการเรียงตัวแบบเกลียวมีความ สามารถในการกรองสูงกว่าโมดูลที่มีการเรียงตัวแบบเส้นตรง(Linear module) ถึง 19 เท่า ซึ่งในสายป้อนประกอบไปด้วยโบรินซีรัมอัลบูมิน (BSA) ที่ความดันคร่อมตัวกรองคงที่ ร่วมกับการทำไดอะฟิลเตรชันพบว่าเครื่องกรองที่ใช้โมดูลที่มีการเรียงตัวแบบเกลียว ให้ค่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์สูงกว่าการกรองที่ใช้โมดูลที่มีการเรียงตัวแบบเส้นตรงถึงร้อยละ 18-43 และความเข้มข้นของยีสต์ที่ได้จากการกรองมีค่าเท่ากับ 45 กรัมของน้ำหนักแห้ง

ปราณี กิตติอนงค์(2543) ศึกษาการแยกเศษออกจากผลิตภัณฑ์ภายในเซลล์เพื่อกำจัด ความขมโดยใช้เครื่องกรองชนิดหมุน โดยเปรียบเทียบการกรองยีสต์โฮโมจีเนท และยีสต์ออกโตไลเซท ใช้ตัวกรองเซรามิกที่มีรูพรุนขนาด 0.2 ไมโครเมตร ความดัน 0.3 บาร์ อัตราการไหลของสายป้อน 35 ลิตรต่อชั่วโมง ความเร็วรอบในการหมุนตัวกรอง 600 รอบต่อนาที พบว่าอัตราการผลิตโปรตีนที่ได้จากการกรองยีสต์ออกโตไลเซทมีค่าสูงกว่าการกรองยีสต์โฮโมจีเนทประมาณ 8 เท่า ร้อยละการกำจัดความขมที่ได้เท่ากับ 80 ทำการศึกษาการเพิ่มอัตราการผลิตโปรตีนจากการกรองยีสต์ออกโตไลเซท โดยศึกษาผลของอัตราการไหลของสายป้อน และผลของความเร็วในการหมุนของตัวกรอง โดยใช้ความเข้มข้นของยีสต์เท่ากับ 20 กรัมต่อลิตร และความดัน 0.3 บาร์ พบว่าอัตราการผลิตโปรตีนจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเร็วในการหมุนตัวกรอง และลดอัตราการไหลของสายป้อน โดยที่อัตราการไหลของสายป้อนเท่ากับ 11 ลิตรต่อชั่วโมง ความเร็วรอบในการหมุนตัวกรอง 1000 รอบต่อนาทีจะให้อัตราการผลิตโปรตีนสูงสุดเท่ากับ 379 กรัมต่อตารางเมตร-ชั่วโมง ความขม 644 มิลลิกรัมไอโซ-แอลฟาแอลสิดต่อตารางเมตร-ชั่วโมง ผลได้ของของแข็ง 37.79 เปอร์เซ็นต์ การเก็บเกี่ยวโปรตีนร้อยละ 59.66 ปริมาณโปรตีน 0.354 กรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง ความขม 0.6 มิลลิกรัม ไอโซ-แอลฟาแอลสิดต่อกรัม น้ำหนักแห้ง ร้อยละการกำจัดความขมเท่ากับ 68.14

กิตติพงษ์ รัตนภรณ์(2544) ศึกษาการแยกโปรตีนออกจากผลเนื้อในเมล็ดมะขามโดยใช้ เครื่องกรองชนิดหมุนได้ โดยมีขอบเขตของตัวแปรที่ทำการศึกษาคือ ความเข้มข้นของสารแขวนลอยผงเนื้อในเมล็ดมะขาม ความดันคร่อมตัวกรอง ความเร็วรอบในการหมุนตัวกรอง ระยะห่างระหว่างผิวหน้าของตัวกรองกับผนังด้านในของทรงกระบอกชั้นนอก ที่อัตราการไหลของสายป้อน 38 ลิตรต่อชั่วโมง พบว่าการกรองสารแขวนลอยผงเนื้อในเมล็ดมะขามด้วยเครื่องกรองชนิดหมุนได้ที่เหมาะสมคือ ความเข้มข้นของสารแขวนลอย 20 กรัมต่อลิตร ความเร็วรอบในการ

หมุนตัวกรอง 1700 รอบต่อนาที ความดันคร่อมตัวกรอง 0.16 บาร์และระยะห่างระหว่างผิวหน้าของตัวกรองกับผนังด้านในของทรงกระบอกชั้นนอกเท่ากับ 0.008 เมตร ได้ค่าฟิลเตรชันพลังค์เท่ากับ 9534 ลิตรต่อตารางเมตรชั่วโมง ค่าร้อยละการกำจัดโปรตีนและค่าร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์เท่ากับ 74.36 และ 40.36 ตามลำดับ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณโปรตีน ปริมาณพอลิแซคคาไรด์ และปริมาณไขมันเท่ากับร้อยละ 9.7, 66.41 และ 5.1 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และมีผลได้ของการผลิตผลิตภัณฑ์เท่ากับร้อยละ 29.03 โดยน้ำหนัก

สุขุม ภูมรินทร์วรากล(2546) ศึกษาการประยุกต์ใช้เทคนิคไดอะฟิลเตรชันและเทคนิคคอนเซนเตรชันเพื่อแยกโปรตีนออกจากผงเนื้อในเมล็ดมะขามโดยใช้เครื่องกรองชนิดหมุนได้ พบว่าพลาสิกซ์ของการกรองมีค่าลดลงเมื่อปริมาตรของสารแขวนลอยลดลง ความบริสุทธิ์ของพอลิแซคคาไรด์ในผลิตภัณฑ์มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ค่าร้อยละการกำจัดโปรตีนในผลิตภัณฑ์ที่เติมเอนไซม์มีค่าร้อยละการกำจัดโปรตีนที่สูงกว่ากรณีที่ไม่เติมเอนไซม์ 96.7 เทคนิคไดอะฟิลเตรชัน พบว่าพลาสิกซ์ของการกรองมีค่าลดลงและเริ่มคงที่เมื่อเติมในการทำไดอะฟิลเตรชันแบบต่อเนื่องมากกว่า 3 ปริมาตรไดอะฟิลเตรชัน และเมื่อเติมน้ำ 5 ปริมาตรไดอะฟิลเตรชัน ความบริสุทธิ์ของโพลีแซคคาไรด์ ร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์และร้อยละการกำจัดโปรตีนในกรณีที่ไม่เติมเอนไซม์เท่ากับ 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 ประกอบด้วยโพลีแซคคาไรด์ 5.0479 กรัม โปรตีน 0.0927 กรัม ความบริสุทธิ์ของโพลีแซคคาไรด์ร้อยละ 96.17 มีการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์ร้อยละ 62.06 และการกำจัดโปรตีนร้อยละ 97.47

Richard และคณะ(2001) ศึกษาการกรองโดยใช้เครื่องกรองชนิดหมุนได้พบว่าสามารถป้องกันการอุดตันของตัวกรองได้ดีการกรองแบบทั่วไป นอกจากนี้ยังพบว่าเครื่องกรองชนิดหมุนได้จะทำให้เกิดการหมุนวนแบบเทย์เลอร์ ทำให้เกิดแรงเฉือนบนผิวของตัวกรอง ซึ่งเป็นปัจจัยหลักในการป้องกันการเกิดการอุดตัน โดยการหมุนวนแบบเทย์เลอร์จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนรอบการหมุนของตัวกรอง



## 2.17 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการกรองด้วยเทคนิคไดอะฟิลเตรชัน

Andersen และ Bojgaard(1988) ได้ทำซีเอสเทียมจากเมล็ดพืชที่มีโปรตีนในเมล็ดอย่างน้อย 30% โดยการแยกโปรตีนด้วยกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันร่วมกับเทคนิคไดอะฟิลเตรชัน เริ่มจากนมถั่วเหลืองผ่านเข้าเครื่องกรองแบบอัลตราฟิลเตรชันด้วยอัตรา 4000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ที่ความดัน 4 บาร์ ไหลเหนือเยื่อแผ่นที่ 30 ลิตรต่อเฟลทต่อหน้าที่ ได้ฟลักซ์เฉลี่ย 24 ลิตรต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง หลังจากนั้นทำไดอะฟิลเตรชันโดยเติมน้ำ 3200 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จะได้สายพอลิเอท 6123 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จะมีน้ำหนักแห้งประมาณ 1-1.5% และสายรีเทนเทท 1070 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จะมีน้ำหนักแห้งประมาณ 21-23% นำสายรีเทนเททมาให้ความร้อนและระเหยน้ำที่สูญญากาศด้วยอัตรา 550 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จะได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายคือซีเอสจากถั่วเหลือง 527 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

Anne และคณะ(2002) ได้ศึกษาการแยกเจลาตินจากสารละลายที่ได้จากหนังปลาโดยการทำไดอะฟิลเตรชันแบบต่อเนื่องร่วมกับการกรองแบบอัลตราฟิลเตรชัน โดยเตรียมความเข้มข้นสารเจลาติน อยู่ในช่วงร้อยละ 0.01-12 โดยน้ำหนัก พบว่า ฟลักซ์ของการกรองเมื่อพีเอชน้อยกว่า 3.5 มีค่าประมาณ 160 ลิตรต่อตารางเมตร-ชั่วโมง สำหรับที่พีเอชมากกว่า 3.5 ฟลักซ์จะมีค่าต่ำกว่ามากโดยลดลงมาอยู่ที่ 20 ลิตรต่อตารางเมตร-ชั่วโมง ส่วนการเพิ่มความดันนั้นทำให้ฟลักซ์มีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย สำหรับผลของความเข้มข้น การเพิ่มความเข้มข้นทำให้ฟลักซ์ของการกรองมีค่าลดลง การเติมน้ำลงไปในการละลายเท่ากับ 0.6 ปริมาตรไดอะฟิลเตรชัน (ปริมาตรสารละลายเจลาติน 2 ลิตร ปริมาตรน้ำที่เติม 1.2 ลิตร) สามารถลดปริมาณเกลือที่อยู่ในสารละลายได้ร้อยละ 33 เมื่อใช้ปริมาตรของน้ำ 3.5 ปริมาตรไดอะฟิลเตรชันจะลดปริมาณเกลือในสารละลายเจลาตินได้มากกว่าร้อยละ 90

Larry(2003) ได้รายงานเปรียบเทียบการกรองแบบอัลตราฟิลเตรชันด้วยเทคนิคไดอะฟิลเตรชัน โดยเปรียบเทียบรูปแบบการเติมสารละลายในกระบวนการระหว่างการเติมสารละลายแบบกะกับการเติมสารละลายแบบต่อเนื่อง โดยแยกโมเลกุล 2 ขนาด โมเลกุลขนาดเล็กและสารละลายสามารถผ่านรูตัวกรองได้ สำหรับการทำให้แบบกะนั้นทำโดยเริ่มจากสารละลายเริ่มต้น เติมสารละลายบัฟเฟอร์ 1 เท่าแล้วกรองลดปริมาตรลงเหลือเท่ากับปริมาตรสารละลายเริ่มต้น ถือว่าเป็น 1 ปริมาตรไดอะฟิลเตรชัน จากนั้นเติมสารละลายบัฟเฟอร์และทำแบบเดิมไปเรื่อยๆ สำหรับการทำให้แบบต่อเนื่องนั้นทำโดยควบคุมปริมาตรสารละลายให้คงที่ตลอดเวลาโดยการเติมสารละลายบัฟเฟอร์ลงไป จากผลการทดลองพบว่า การทำไดอะฟิลเตรชันแบบต่อเนื่องให้ผล

ร้อยละการแยกโมเลกุลขนาดเล็กได้ดีกว่าการทำแบบกะ โดยสามารถแยกโมเลกุลขนาดเล็กได้มากกว่าร้อยละ 99 โดยใช้ปริมาตรในการทำไดอะฟิลเตรชันเท่ากับ 5 ปริมาตร แต่การทำแบบกะนั้นจะแยกโมเลกุลขนาดเล็กได้มากกว่า ร้อยละ 99 ต้องใช้ปริมาตรในการทำไดอะฟิลเตรชันมากกว่า 7 ปริมาตร



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 3

### อุปกรณ์ เคมีภัณฑ์ และวิธีการดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 อุปกรณ์

1. บ่อจำลองสแตนเลสสตีล 316 ปริมาตร 0.019 เมตร<sup>3</sup>
2. ตัวกรองชนิด high efficiency
3. อุปกรณ์ชุดกรองแบบป้อนขนานกับตัวกรองชนิดหมุนได้
4. เครื่องทดสอบหาความหนืด (Viscometer) รุ่น LVDV-II plus ของบริษัท Brookfield Engineering Laboratories, Inc, USA.
5. เครื่องทดสอบหาความหนาแน่น
6. เครื่อง Centrifuge ที่ปั่นด้วยความเร็วได้อย่างน้อย 3000 rpm รุ่น Herm Z 383 K ของบริษัท Hermle Labor Technik, Germany.
7. ปีเปตขนาด 50 cm<sup>3</sup> 6 อัน
8. ขวดเก็บตัวอย่างน้ำยางสด 72 ขวด
9. ชุดทดสอบหาปริมาณความเป็นต่างในน้ำยางสด
10. ชุดทดสอบหาปริมาณ Mg<sup>2+</sup> ในน้ำยางสด
11. เครื่องกรองสุญญากาศ (Aspirator) รุ่น A-3S ของบริษัท EYELA Tokyo Rikakiai CO, LTD. Japan และ กรวยบุชเนอร์
12. เครื่องวัดขนาดอนุภาค (Mastersizer) รุ่น S long bed Ver. 2.19 ของบริษัท Malvern Instruments Ltd., UK
13. เครื่องทดสอบความคงตัวเชิงกล (Determination of Mechanical Stability) ของน้ำยาง
14. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (4-digits balance) รุ่น A&D GR-200 ของบริษัท A&D company, Limited, Japan
15. เครื่องรีดยางแผ่น
16. ตู้อบ รุ่น memmert ULE 600 ของบริษัท memmert, Germany
17. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath) รุ่น memmert WB-22 ของบริษัท memmert, Germany

### 3.2 เคมีภัณฑ์

1. ไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (DAHP) 0.1 %wt
2. สารละลายแอมโมเนีย 16 %wt จากบริษัท ไทยรับเบอร์ลาเทคส์คอร์ปอเรชั่น (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน)
3. น้ำยางสด 30-40% TSC จากบริษัท ไทยรับเบอร์ลาเทคส์คอร์ปอเรชั่น (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน)
4. สารเคมีทดสอบหาปริมาณความเป็นด่างในน้ำยางสด
5. สารเคมีทดสอบหาปริมาณ  $Mg^{2+}$  ในน้ำยางสด
6. กรดอะซิติกจากบริษัท เอส อาร์ แลป จำกัด
7. เอทานอล 95% (v/v) เกรดการค้า จากบริษัท เอส อาร์ แลป จำกัด

### 3.3 การทดลองหาคคุณสมบัติทั่วไปของน้ำยางสด

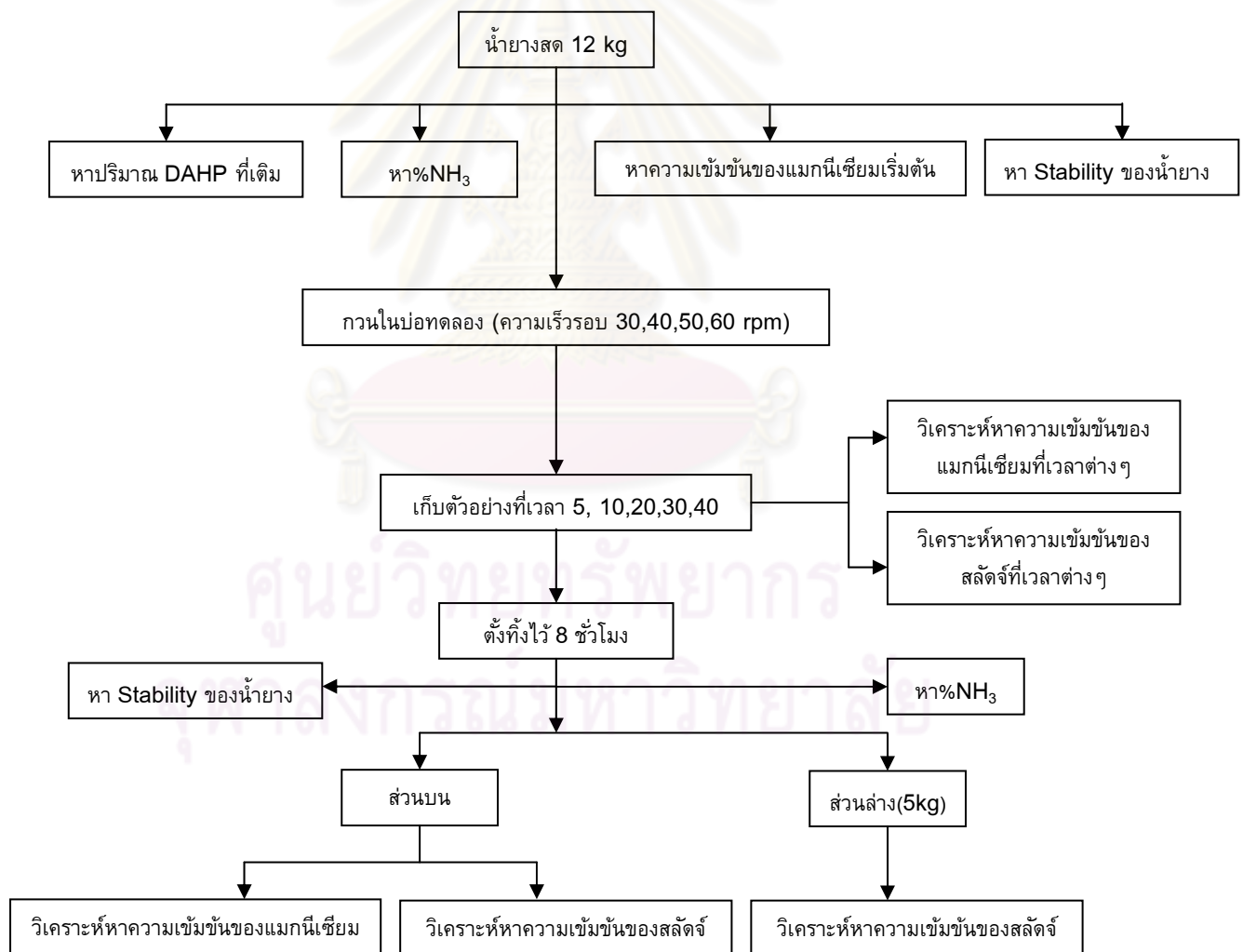
นำน้ำยางสดมาทำการทดลองหาความเข้มข้นของแมกนีเซียมเริ่มต้น ความหนาแน่น ความหนืด ปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางสด ความเป็นกรด-ด่าง และขนาดอนุภาคยาง วิธีวิเคราะห์ดูในภาคผนวก ก

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 3.4 การทดลองหาภาวะที่เหมาะสมในกวนโดยใช้สารเคมี DAHP ในการตกตะกอนแมกนีเซียม

เริ่มจากน้ำยางสด 12 กิโลกรัม มาทดลองโดยวิเคราะห์ค่าเริ่มต้นดังแผนผังวิธีการทดลอง (รูปที่ 3.1) เติม DAHP ตามสูตรของทางโรงงาน ในภาคผนวก ก (สมการที่ 3.4) จากนั้นหมุนด้วยความเร็วรอบ 30,40,50,60 rpm เก็บตัวอย่างที่เวลาต่างๆ เริ่มจาก 5, 10, 20, 30 และ 40 นาที เพื่อนำมาวิเคราะห์หา ความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่เหลือและความเข้มข้นของสัลเฟอร์

#### ส่วนที่ 1 การทดลองโดยใช้สารเคมี DAHP แสดงได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังวิธีการทดลองในส่วนที่ 1

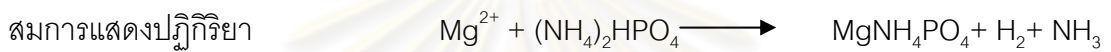
รายละเอียดมีดังนี้

### 3.4.1 ทำการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของแมกนีเซียมเริ่มต้นในน้ำยางสด

### 3.4.2 คำนวณหาปริมาณ DAHP ที่จะเติมในน้ำยาง

### 3.4.3 คำนวณหา %NH<sub>3</sub> เริ่มต้นในน้ำยางสด

เนื่องจากสมการปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นได้ต้องมีปริมาณ NH<sub>3</sub> มากเกินพอ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องวิเคราะห์หา %NH<sub>3</sub> โดยวิเคราะห์หา %NH<sub>3</sub> ทั้งก่อนและหลังการทดลองเพื่อหาปริมาณ NH<sub>3</sub> ที่อาจจะเหยียดออกไปในระหว่างการกวน

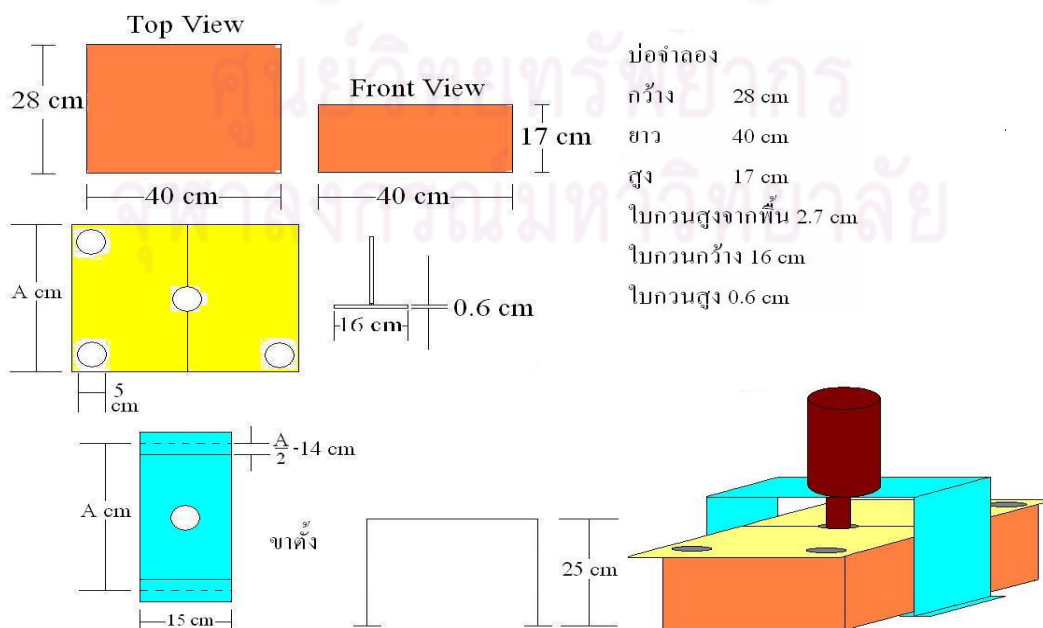


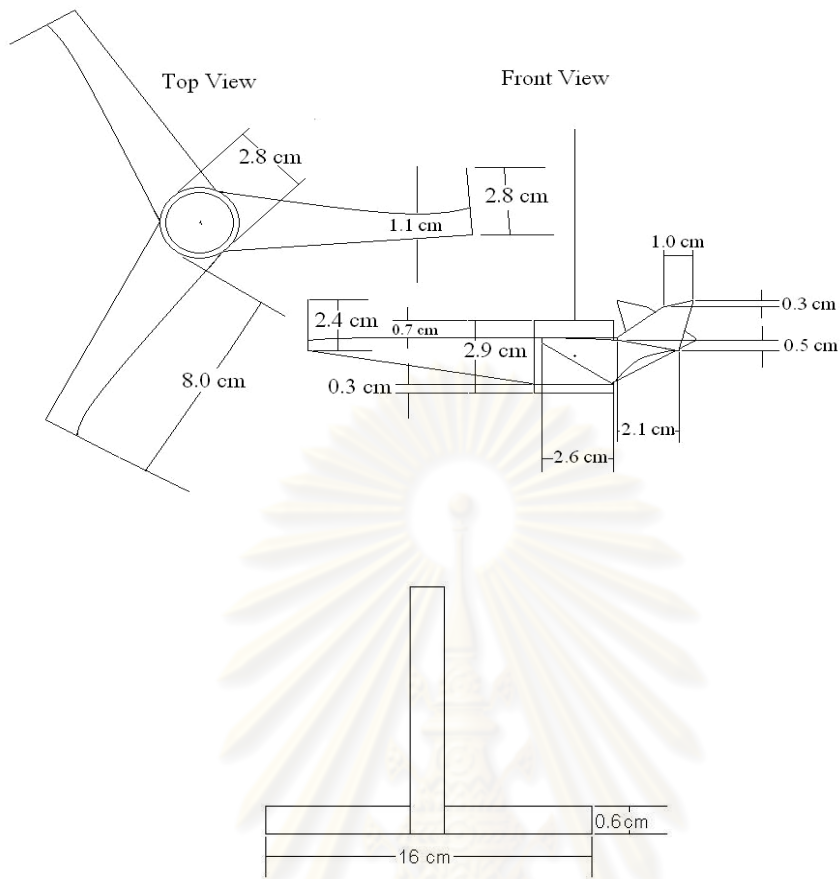
### 3.4.4 ทดสอบความคงตัวเชิงกล (mechanical stability time) ของน้ำยางสด

เนื่องจากความเร็วรอบในการกวนมีผลต่อค่า Stability ของน้ำยาง จึงต้องหาค่า Stability ของน้ำยางสดทั้งก่อนและหลังการกวน

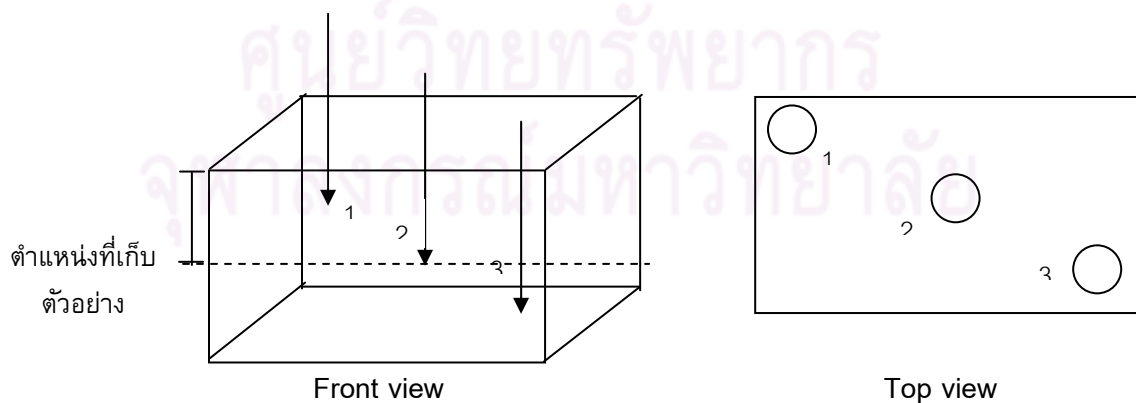
### 3.4.5 ทำการทดลอง

รายละเอียดของการออกแบบบ่อจำลองและตัวกวนที่ใช้ในการทดลองแสดงดังรูป (ณัชวัฒน์ พลอยวัฒนาวงศ์, 2550)

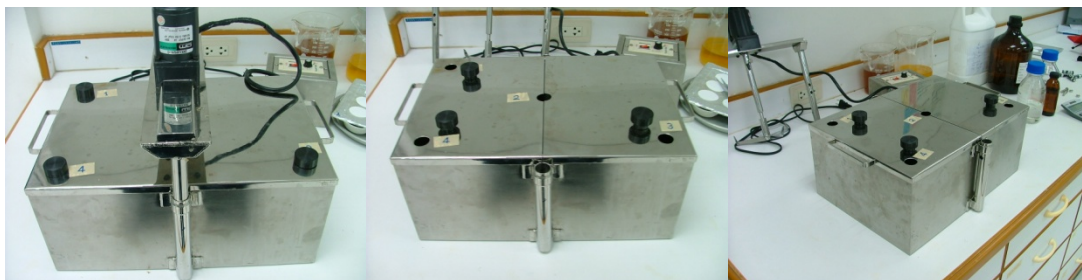




เริ่มทำการทดลองที่ความเร็วรอบ 30,40,50,60 rpm ที่เวลาควน 5, 10, 20, 30 และ 40 นาที่ตามลำดับ แล้วเก็บตัวอย่างตามตำแหน่ง (1, 2, 3) โดยเก็บที่ตรงกลางของบ่อ ซึ่งเก็บช่องละ 2 ตัวอย่าง และขณะที่เก็บไม่ได้หยุดการทำงานของใบพัดกวน



รูปที่ 3.2 ตำแหน่งการเก็บตัวอย่างในบ่อจำลอง



รูปที่ 3.3 บ่อจำลอง

3.4.6 นำตัวอย่างที่เก็บได้มาหาความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่เหลือในน้ำยางสดและหาขนาดของอนุภาคตามเวลา

3.4.7 นำตัวอย่างที่เก็บได้มาหาความเข้มข้นของสัลเฟอร์ในน้ำยางสด

3.4.8 หลังจากทำการทดลองตามข้อ 3.4.5 แล้ว จะหยุดกวนและตั้งน้ำยางทิ้งไว้ 8 ชั่วโมง (ทำตามโรงงาน) เพื่อให้สัลเฟอร์ตกตะกอน หลังจากนั้นจะวิเคราะห์ หา %NH<sub>3</sub> และ stability ของน้ำยาง ต่อจากนั้นจะแบ่งน้ำยางเป็น 2 ส่วนคือ

ก. ส่วนบนของถัง (น้ำยางทั้งหมด - น้ำยางส่วนล่างของถัง)

นำมาวิเคราะห์

- ความเข้มข้นของแมกนีเซียม
- ความเข้มข้นของสัลเฟอร์
- ขนาดอนุภาคของสัลเฟอร์

ข. ส่วนล่างของถัง (5 kg)

นำมาวิเคราะห์

- ความเข้มข้นของสัลเฟอร์



ส่วนที่ 2 การทดลองโดยใช้กระบวนการไดอะฟิลเตรชันร่วมกับการกรองชนิดเยื่อแผ่นหมุนได้

### 3.5 กระบวนการกรองด้วยเครื่องกรองชนิดเยื่อแผ่นหมุนได้

เครื่องกรองแยกอนุภาคออกจากน้ำยางสดประกอบไปด้วย(แสดงรูปที่ 3.4, 3.5, 3.6)

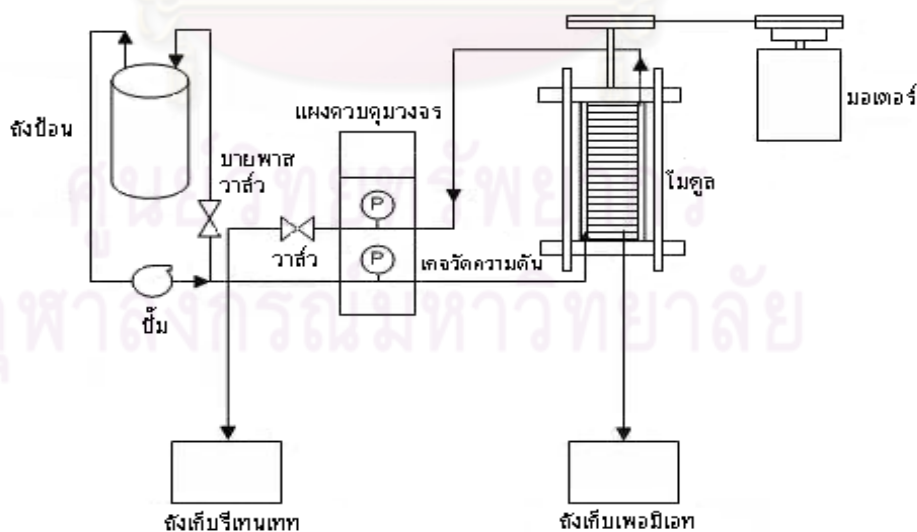
1) ไมคูล ภายในไมคูลประกอบด้วยไส้กรองเซรามิกซ์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 5.1 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 3.1 เซนติเมตร ยาว 12.4 เซนติเมตร ใสในท่อสแตนเลส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.7 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตร ระยะห่างระหว่างผิวหน้าของตัวกรอง และผนัง ด้านในของทรงกระบอกชั้นนอก 8 มิลลิเมตร

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

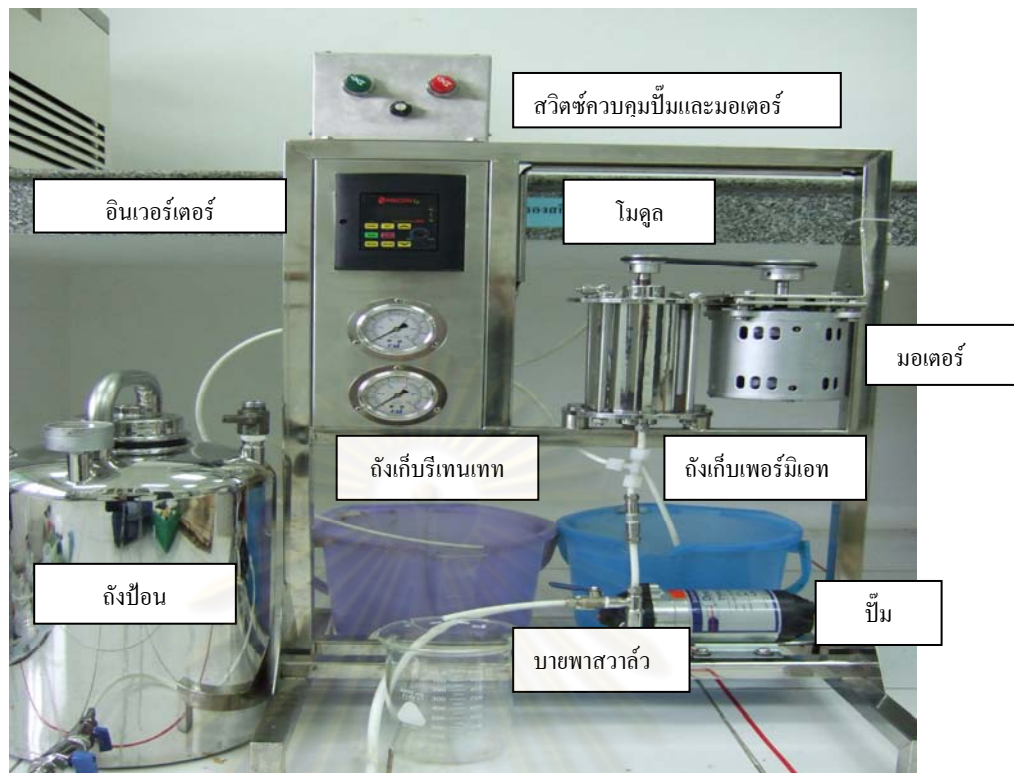
3) บั๊มขนาด 1.6 ลิตรต่อนาที มีบายพาสวาล์วสำหรับปรับอัตราการป้อนโดยทำสวิตช์แยกสำหรับเปิดและปิดบั๊ม

4) ถังป้อนขนาด 30 ลิตร

5) เกจวัดความดันชนิดน้ำมัน (ความดันสูงสุด 2 บาร์)



รูปที่ 3.4 กระบวนการแยกอนุภาคออกจากน้ำยางสดด้วยเครื่องกรองชนิดเยื่อแผ่นหมุนได้



รูปที่ 3.5 เครื่องกรองแยกอนุภาคยางออกจากน้ำยางสด



รูปที่ 3.6 ลักษณะการวางเยื่อแผ่น

ตารางที่ 3.1 สภาวะควบคุมของเครื่องกรองชนิดหมุนได้

ตัวควบคุม	ค่า	หน่วย
อัตราเร็วสายป้อน	36	ลิตร / ชั่วโมง
ความดันคร่อมตัวกรอง	0.3	บาร์
เส้นผ่านศูนย์กลางภายในในตัวกรอง	3.1	เซนติเมตร
เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกตัวกรอง	5.1	เซนติเมตร
ความสูงตัวกรอง	12.4	เซนติเมตร
เส้นผ่านศูนย์กลางท่อทรงกระบอกชั้นนอก	6.7	เซนติเมตร
พื้นที่ตัวกรอง	$1.44 \times 10^{-3}$	ตารางเมตร
DRC เริ่มต้นในน้ำยางสด	30-40	เปอร์เซ็นต์
ความเข้มข้นของแมกนีเซียมเริ่มต้น	400-600	ppm

#### วิธีการทดลอง

1. ชั่งน้ำยางสด 1 ลิตร ผสมกับน้ำ 1 ลิตรเพื่อเจือจาง คนให้เข้ากัน แล้วเทลงในถังป้อน
2. เติม 10%(w/v) โซเดียมแอลจีเนต ปริมาตร 0.1% ของปริมาตรน้ำยางสดจากข้อที่ 1
3. เติมน้ำเพิ่มอีก 100 มิลลิตรเพื่อทำไดอะฟิลเตรชัน
4. เดินเครื่องที่ความเร็วรอบต่างๆ (600, 900 และ 1200 รอบต่อนาที)โดยใช้อัตราเร็วสายป้อนคงที่ 36 ลิตร / ชั่วโมง ความดันคร่อมตัวกรองคงที่ 0.3 บาร์
5. ทำการทดลองจนปริมาตรฟิลเตรตออกมา 100 มิลลิตร จึงเติมน้ำเพิ่มเข้าไปอีก 100 มิลลิตรเพื่อทำไดอะฟิลเตรชัน และเก็บตัวอย่างทุกๆ 100 มิลลิตรของปริมาตรฟิลเตรตที่ออกมา จนถึงภาวะคงที่
6. ทำคอนเซนเตรชันเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของน้ำยาง
7. ตั้งน้ำยางในถังป้อนทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
8. นำตัวอย่างไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของแมกนีเซียม, %DRC, เพอร์มิเอชันฟลักซ์ และ%การกักเก็บ

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

#### 4.1 สมบัติทั่วไปของน้ำยางพาราสด

น้ำยางสดที่ใช้ในการทดลองได้รับจากบริษัท ไทยรับเบอร์ลาเทคส์คอร์ปอเรชั่น (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) เมื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณต่างๆ ตามหัวข้อ 3.3 ได้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สมบัติทั่วไปของน้ำยางพาราสด

ความเข้มข้นของแมกนีเซียมเริ่มต้น	400-600 ppm
ความหนาแน่น	0.975-0.980 กรัมต่อมิลลิลิตร
ความหนืด(น้ำบริสุทธิ์มีความหนืด 1 เซนติพอยด์)	11.2 เซนติพอยด์
ปริมาณเนื้อยาง (%DRC)	30-40 %
ความเป็นกรด-ด่าง	6.5-7
ขนาดอนุภาคยางเฉลี่ย	0.4-4 ไมครอน

#### ส่วนที่ 1 ผลการทดลองหาภาวะที่เหมาะสมในการกวนโดยใช้ Diammonium hydrogen phosphate (DAHP) ในการลดแมกนีเซียมในน้ำยางสด

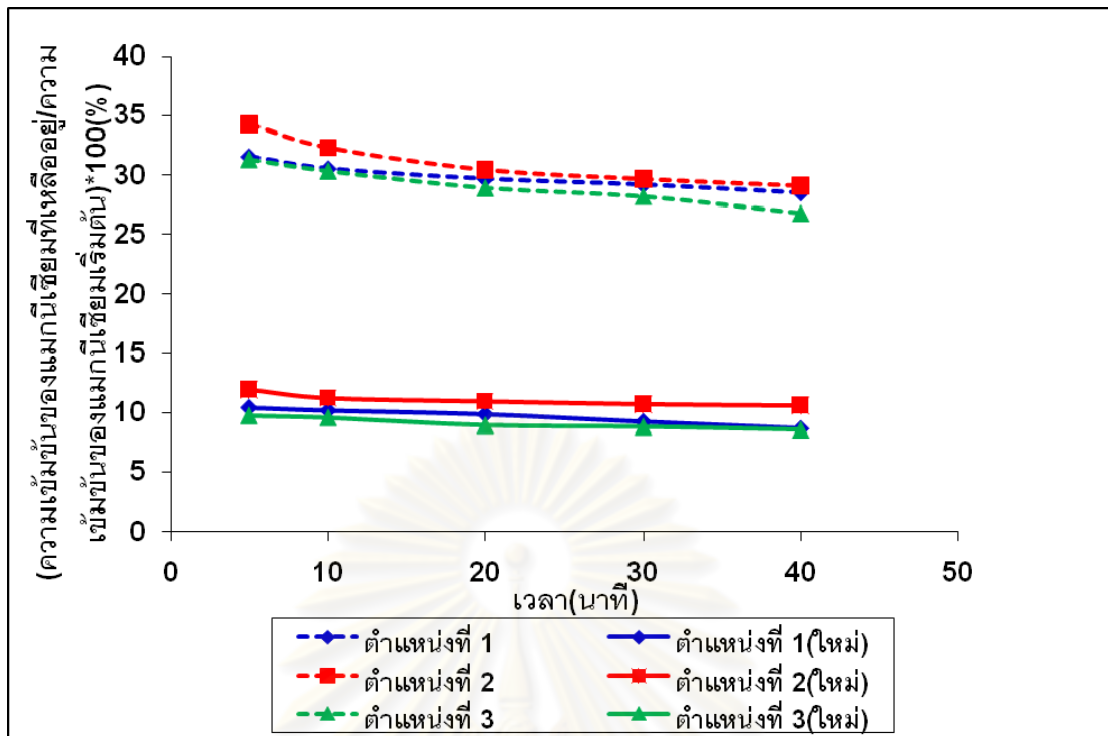
การทดลองในส่วนนี้ได้ทำการทดลองโดยใช้ตัวกวนแบบเก่า (รูปตัวที) ที่โรงงานใช้ใน ปัจจุบัน เปรียบเทียบกับแบบใหม่ (high efficiency impeller) เพื่อหาภาวะที่เหมาะสมในการกวนน้ำยางสดโดยใช้ Diammonium hydrogen phosphate (DAHP) ทำปฏิกิริยากับแมกนีเซียมออกไซด์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดแมกนีเซียมในน้ำยาง การทดลองเริ่มจากวิเคราะห์หาความเข้มข้นของแมกนีเซียมเริ่มต้นของแต่ละการทดลอง นอกจากนี้ต้องวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนียเริ่มต้น และเสถียรภาพเชิงกลของน้ำยางสด จากนั้นจึงทำการไตเตรทน้ำยางสดเพื่อหาปริมาณ DAHP ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากับแมกนีเซียม ซึ่งปริมาณ DAHP ที่ใช้ในแต่ละการทดลองขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของแมกนีเซียมเริ่มต้นในน้ำยางสด

ในการทดลองจะใช้น้ำยางสดทั้งหมดต่อการกวนแต่ละครั้งเท่ากับ 12 กิโลกรัม จากนั้นเติม DAHP ปริมาณตามที่คำนวณได้ลงไป พร้อมทั้งเริ่มกวนโดยใช้ความเร็วรอบในการกวนเท่ากับ 30, 40, 50 และ 60 rpm จากนั้นเก็บตัวอย่างตามตำแหน่งต่างๆ (1, 2, 3) ที่เวลา 5, 10, 20, 30, 40 นาที เพื่อหาความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่เหลือในน้ำยางสด และปริมาณสลดจ์ โดยเปรียบเทียบระหว่างตัวกวนแบบเก่ากับแบบใหม่

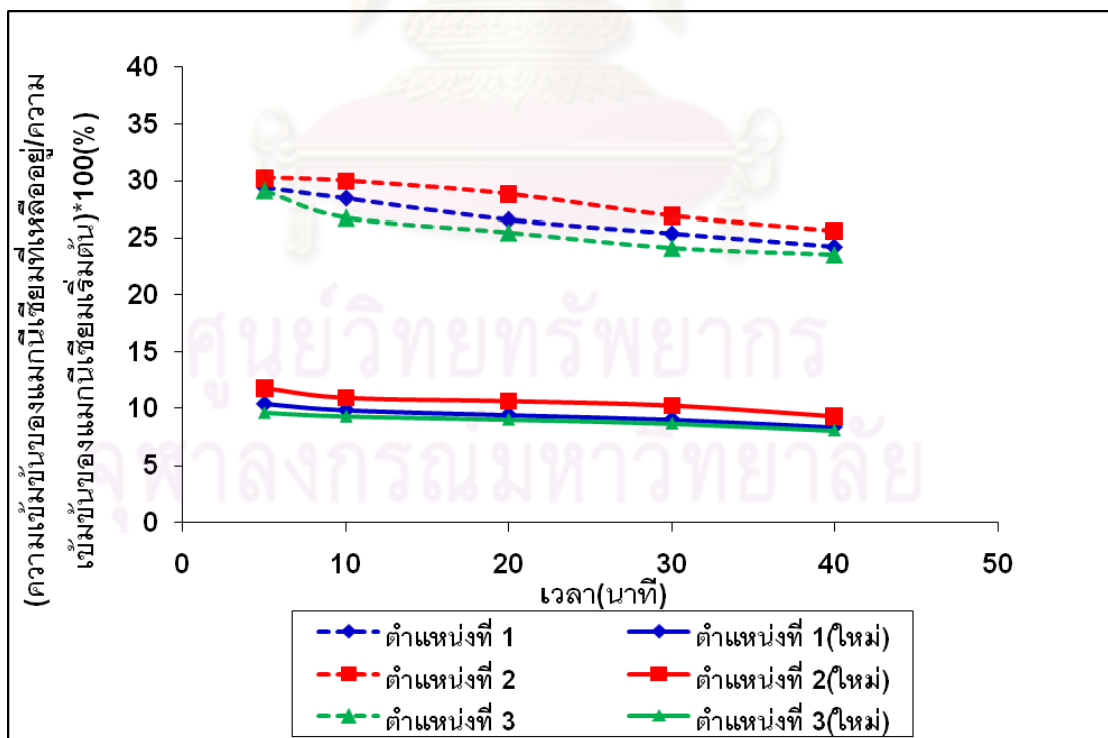
#### 4.2 ผลของเวลาและความเร็วรอบต่อความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่เหลือของแต่ละตำแหน่ง

รูปที่ 4.1-4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่เหลือที่ความเร็วรอบ 30, 40, 50, 60 rpm ที่ตำแหน่งต่างๆ(1, 2, 3) ตามลำดับ พบว่าการกระจายตัวของแมกนีเซียมไม่เท่ากัน ซึ่งการกระจายตัวของแมกนีเซียมที่ตำแหน่งที่ 1 กับ 3 ใกล้เคียงกันและกระจายได้ดีกว่าตำแหน่งที่ 2 ในทุกความเร็วรอบและทุกช่วงเวลา ซึ่งทั้งนี้เนื่องจากบ่อเป็นรูปสี่เหลี่ยม และการเติม Diammonium Hydrogen Phosphate (DAHP) ที่ตำแหน่งตรงกลางบ่อกวน ซึ่งเมื่อใบพัดกวนหมุนทำให้ DAHP กระจายตัวไปรอบๆถึงกวนทำให้ DAHP มีโอกาสสัมผัสกับอนุภาคยางและจับตัวกับแมกนีเซียมบริเวณขอบบ่อมากกว่าบริเวณตรงกลางของบ่อ ทำให้ความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่เหลืออยู่ตรงกลางบ่อ(ตำแหน่งที่ 2) มีความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่เหลือมากกว่าบริเวณขอบบ่อ(ตำแหน่งที่ 1, 3) เช่นเมื่อพิจารณาที่ความเร็วรอบ 30 rpm ที่เวลา 40 นาที ที่ตำแหน่งที่ 1, 2, 3 พบว่ามีความเข้มข้นของ แมกนีเซียมที่เหลือเท่ากับ 51.05, 62.44 และ 50.51 ppm ตามลำดับ โดยความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่เหลือมีค่าต่ำสุดที่ตำแหน่งที่ 3 และต่ำสุดในทุกความเร็วรอบ นอกจากนี้ยังพบว่าที่ความเร็วรอบสูงๆตำแหน่งที่ 1 กับ 3 จะมีความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่เหลือใกล้เคียงกันมากกว่าที่ความเร็วรอบต่ำๆ การเพิ่มเวลาในการกวนทำให้ความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่เหลืออยู่ลดลงเช่นกัน ทั้งนี้การเพิ่มเวลาทำให้แมกนีเซียมมีโอกาสทำปฏิกิริยากับ DAHP ได้มากขึ้น

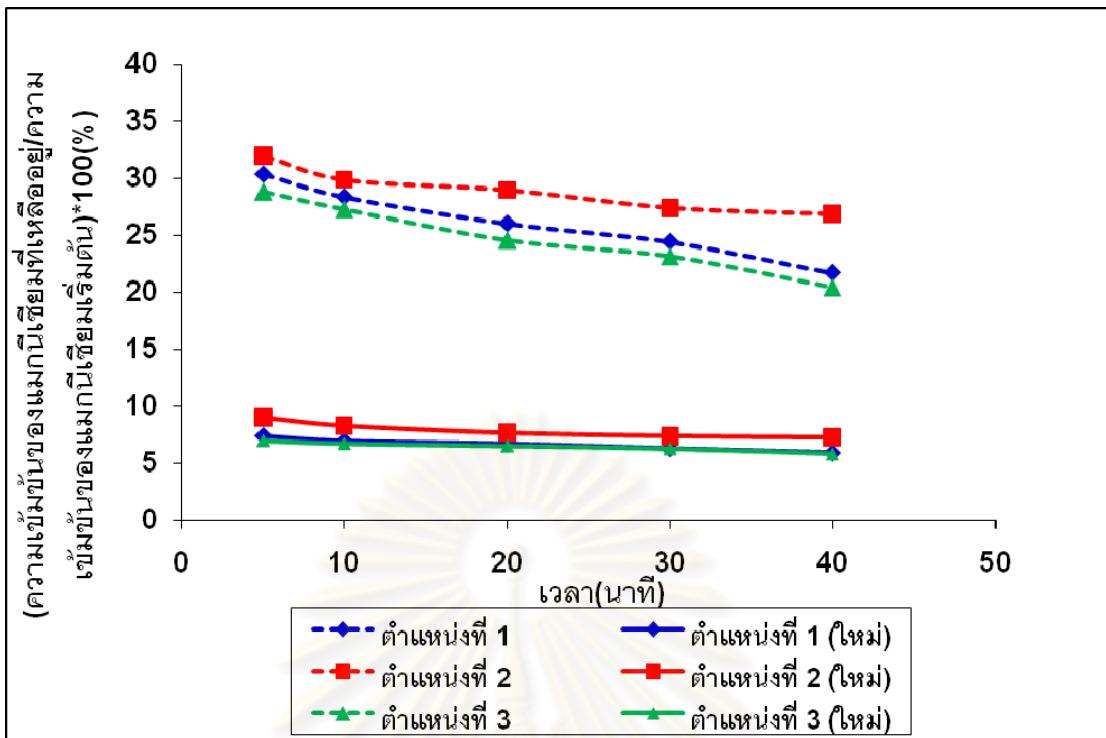
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



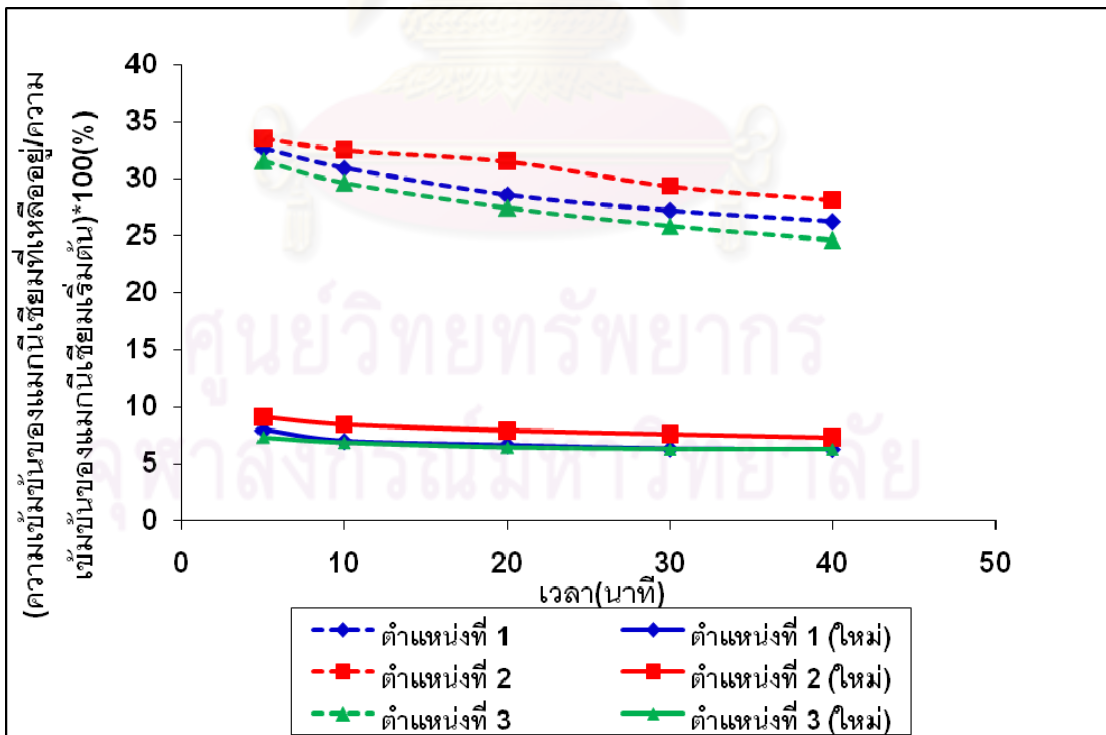
รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับความเข้มข้นของแมงกานีสที่เชื่อมที่ความเร็วรอบ 30 rpm ของแต่ละตำแหน่งโดยเปรียบเทียบระหว่างตัวถวนแบบเก่ากับแบบใหม่



รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับความเข้มข้นของแมงกานีสที่เชื่อมที่ความเร็วรอบ 40 rpm ของแต่ละตำแหน่งโดยเปรียบเทียบระหว่างตัวถวนแบบเก่ากับแบบใหม่

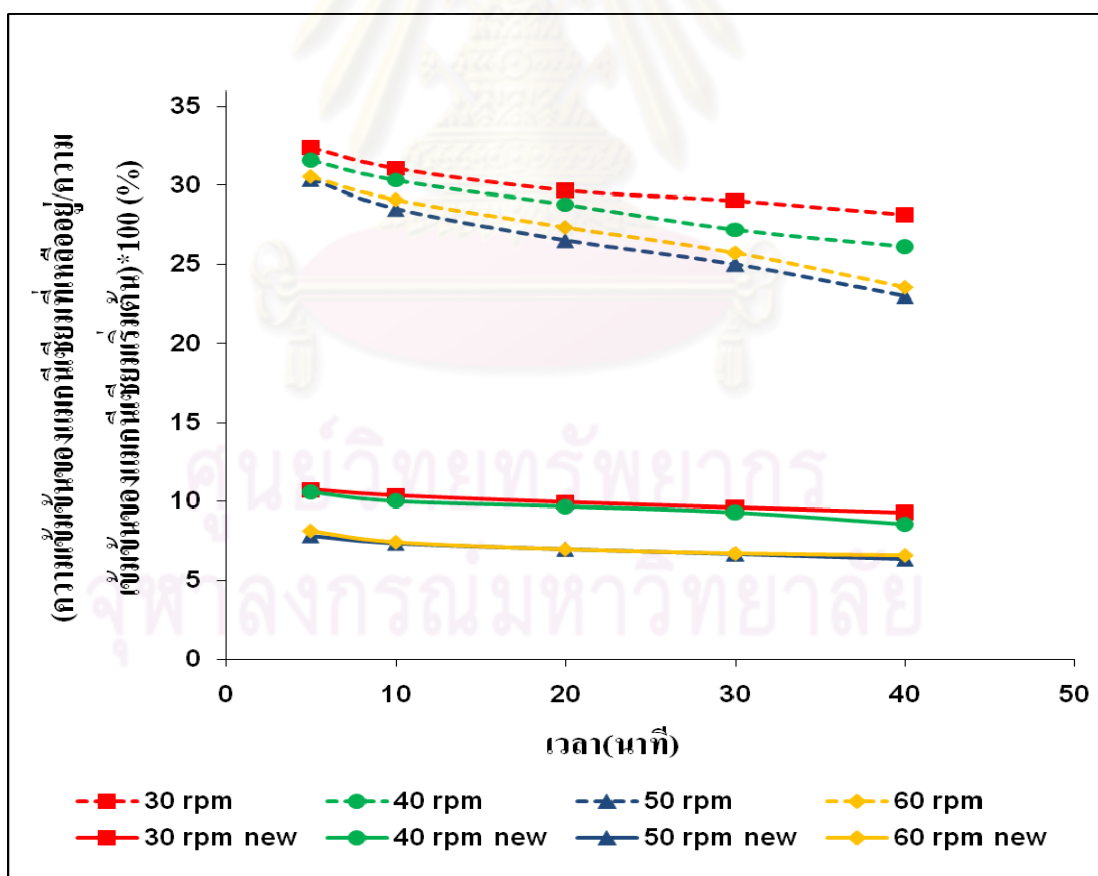


รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่ความเร็วรอบ 50 rpm ของแต่ละตำแหน่งโดยเปรียบเทียบระหว่างตัวกวนแบบเก่ากับแบบใหม่



รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่ความเร็วรอบ 60 rpm ของแต่ละตำแหน่งโดยเปรียบเทียบระหว่างตัวกวนแบบเก่ากับแบบใหม่

เนื่องจากความเข้มข้นของแมกนีเซียมเริ่มต้นของแต่ละความเร็รรอบไม่เท่ากัน เราจึงต้องนำความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่เหลืออยู่ในแต่ละภาวะมาเทียบกับความเข้มข้นของแมกนีเซียมเริ่มต้นแล้วทำเป็นเปอร์เซ็นต์ เพื่อจะได้เปรียบเทียบกันได้ ในการนี้จะใช้ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของแมกนีเซียมทั้ง 3 ตำแหน่ง มาใช้เพื่อการเปรียบเทียบแสดงดังรูปที่ 4.5 และเมื่อนำค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของแมกนีเซียมที่เหลือในน้ำยางสดของตัวกวนแบบเก่าและแบบใหม่มาเปรียบเทียบกัน พบว่าตัวกวนแบบใหม่มีประสิทธิภาพในการกวนดีกว่าตัวกวนแบบเก่าเพราะมีค่าความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่เหลือในน้ำยางสดน้อยกว่าในทุกๆตำแหน่งและความเร็รรอบ และมีค่าน้อยที่สุด (6.3%) ที่ความเร็รรอบ 50 rpm เวลา 40 นาที ในขณะที่ตัวกวนแบบเก่ามีความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่เหลือในน้ำยางสดน้อยที่สุด (23%) ที่ความเร็รรอบ 50 rpm เวลา 40 นาที ซึ่งหมายความว่าตัวกวนแบบใหม่มีประสิทธิภาพดีกว่าตัวกวนแบบเก่า ทั้งนี้เนื่องมาจากตัวกวนแบบใหม่มีการปรับปรุงให้มีการปั่นกวนทั้งในแนวนอนและแนวรัศมีทำให้ DAHP ทำปฏิกิริยากับแมกนีเซียมได้ดีกว่า ส่งผลให้มีความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่เหลืออยู่ในถังน้อยกว่าตัวกวนแบบเก่า 16.7%



รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่ความเร็รรอบต่างๆ



โดยเปรียบเทียบระหว่างตัวกวนแบบเก่ากับแบบใหม่

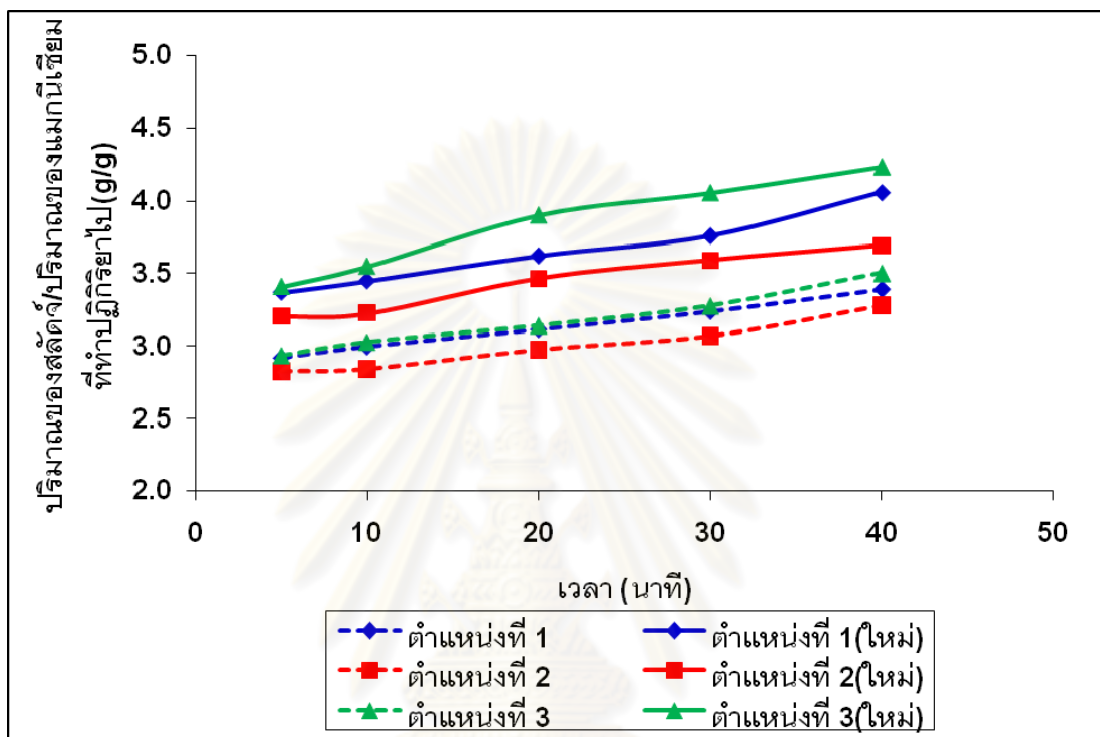
จากการเปรียบเทียบข้างต้น พบว่า ตัวกวนที่กวนผสมได้ดีกว่าคือตัวกวนชนิด high efficiency impeller และภาวะที่ดีที่สุดในการกวนคือ ที่ความเร็วรอบ 50 rpm เวลา 40 นาที ซึ่งสามารถลดความเข้มข้นของแมกนีเซียมในน้ำยางได้มาก(เหลืออยู่ 35 ppm) ในขณะที่ความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่เหลืออยู่ในน้ำยางจากกระบวนการของโรงงาน(100-170 ppm) สรุปได้ว่าการทดลองโดยเปลี่ยนตัวกวนจากรูปตัวที่(โรงงานใช้)เป็นชนิด high efficiency impeller ดีกว่าของโรงงาน

#### 4.3 ผลของเวลาและความเร็วรอบต่อปริมาณสัลดจ์ของแต่ละตำแหน่ง

รูปที่ 4.6-4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับปริมาณสัลดจ์ ที่ความเร็วรอบ 30, 40, 50, 60 rpm ที่ตำแหน่งต่าง(1, 2, 3) ตามลำดับ โดยเปรียบเทียบระหว่างตัวกวนแบบเก่ากับแบบใหม่พบว่า ตำแหน่งที่ 1 และ 3 มีปริมาณสัลดจ์มากกว่าตำแหน่งที่ 2 ในทุกความเร็วรอบและทุกช่วงเวลา ซึ่งจากการทดลองหาความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่เหลือในน้ำยางข้างต้น พบว่าแมกนีเซียมที่ใช้ไปจะทำปฏิกิริยากับ DAHP ทำให้เกิดเป็นสัลดจ์ เมื่อพิจารณาจะเห็นได้ว่าจุดที่มีแมกนีเซียมเข้าทำปฏิกิริยากับ DAHP ได้มาก (ความเข้มข้นของแมกนีเซียมต่ำสุด) ก็จะทำให้เกิดปริมาณสัลดจ์มากขึ้นด้วย ในทำนองเดียวกันจุดที่มีแมกนีเซียมเข้าทำปฏิกิริยากับ DAHP ได้น้อย (ความเข้มข้นของแมกนีเซียมมากที่สุด) ก็จะทำให้เกิดปริมาณสัลดจ์น้อยลงเช่นกัน เช่นที่ความเร็วรอบ 30 rpm จุดที่มีความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่เหลือในน้ำยางน้อยที่สุดคือ ตำแหน่งที่ 3 ที่เวลา 40 นาที คือ 50.5 ppm ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณสัลดจ์พบว่าจุดนี้มีปริมาณสัลดจ์มากที่สุดคือ 2277.64 ppm และจุดที่มีความเข้มข้นของ แมกนีเซียมที่เหลือในน้ำยางมากที่สุดคือ ตำแหน่งที่ 2 ที่เวลา 5 นาที คือ 70.5 ppm ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณสัลดจ์ พบว่าจุดนี้มีปริมาณสัลดจ์น้อยที่สุด คือ 1658.69 ppm

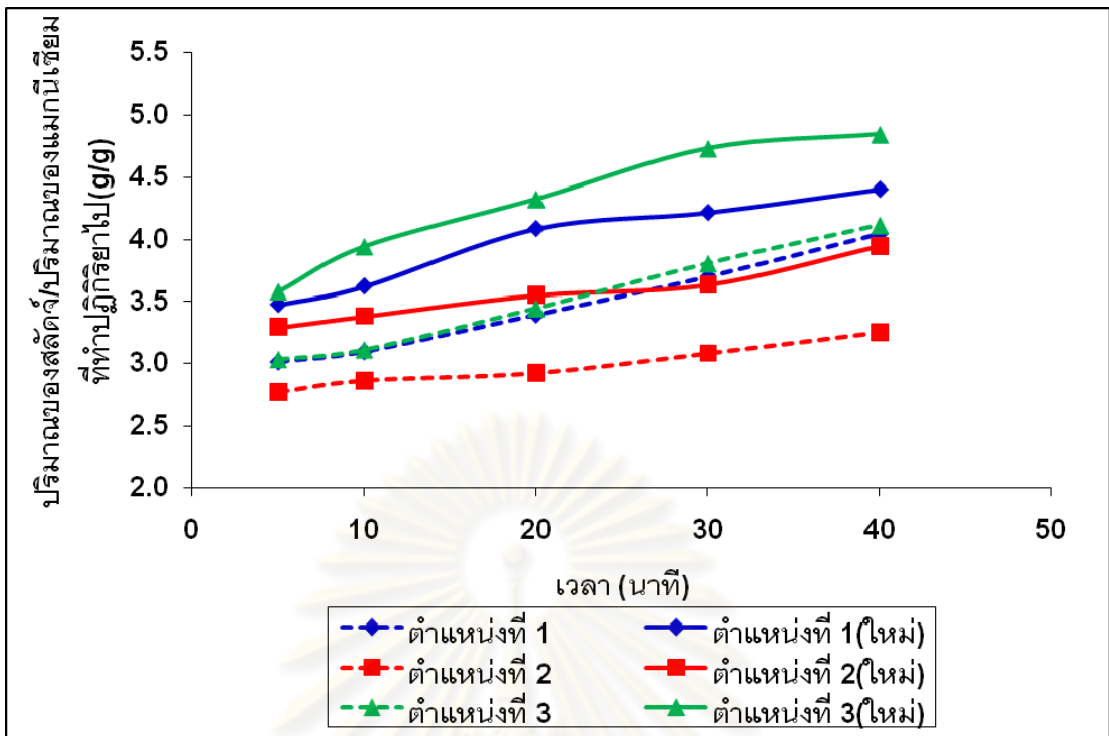
เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสัลดจ์ที่เวลาต่างๆกันเมื่อความเร็วรอบคงที่ พบว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการกวนส่งผลให้ปริมาณสัลดจ์มีเพิ่มมากขึ้นด้วย เนื่องมาจากเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นโอกาสที่แมกนีเซียมจะทำปฏิกิริยากับ DAHP ได้สัลดจ์ก็มากขึ้นด้วย เช่น เมื่อพิจารณาที่ความเร็วรอบ 30 rpm ที่ตำแหน่งที่ 1 ที่เวลา 5, 10, 20, 30, 40 นาที ตามลำดับ พบว่า มีปริมาณสัลดจ์เท่ากับ 1773.94, 1819.99, 1918.79, 2006.29 และ 2180.15 ppm ตามลำดับ โดยปริมาณสัลดจ์ที่มีค่าสูงสุดอยู่ที่เวลา 40 นาที เวลาในการกวนจึงมีผลต่อปริมาณสัลดจ์ ดังนั้นเวลาที่ดีที่สุดในการกวนคือ ที่เวลา 40 นาทีของทุกความเร็วรอบ ในขณะที่เมื่อเพิ่มความเร็วรอบ ทำให้เกิดสัลดจ์มากขึ้นเช่นกัน ยกเว้นที่ความเร็วรอบ 60 rpm เกิดสัลดจ์น้อยกว่าที่ความเร็วรอบ 50 rpm เพราะเมื่อเพิ่มความเร็ว

รอบในการกววนสูงขึ้นหรือกววนแบบ turbulent จะทำให้มีแรงเฉือนจากใบพัดกววนมากขึ้นส่งผลทำให้ขนาดอนุภาคยางที่จับตัวเป็นก้อนแตกออกเป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็กกระจายอยู่ในถังกววน (Edmond และคณะ, 2001) และเมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้กับตัวกววนแบบเก่าจะพบว่าตัวกววนแบบใหม่นี้จะมีปริมาณสลัดจ์มากกว่าตัวกววนแบบเก่า

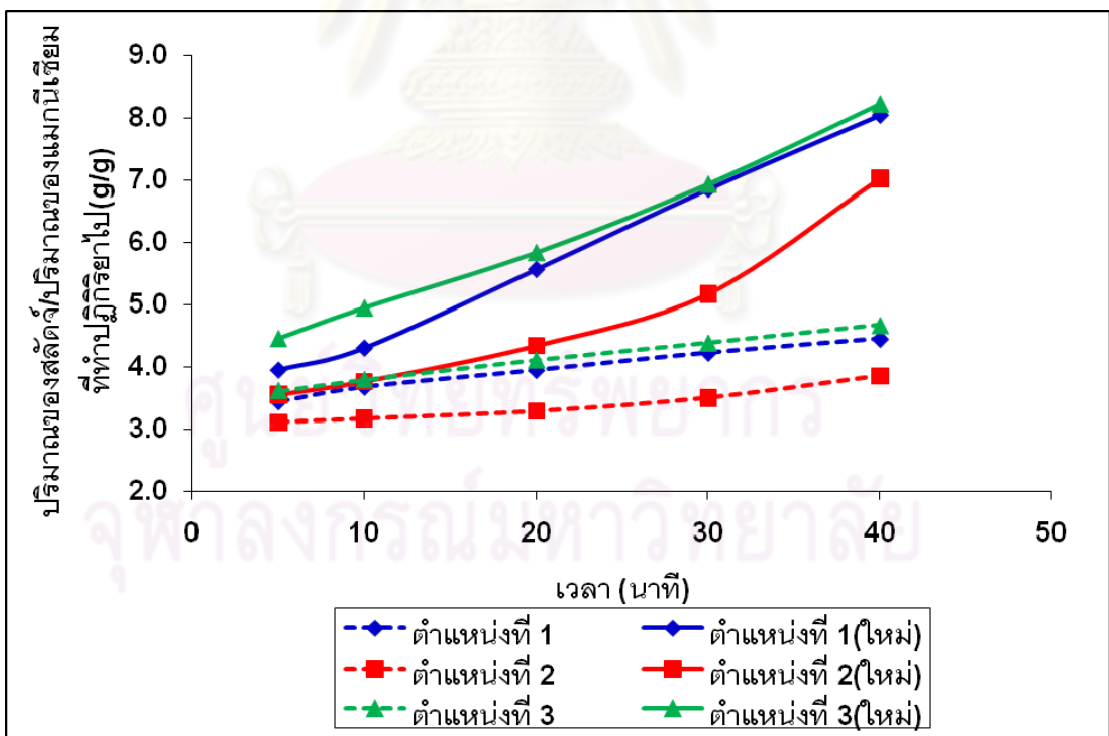


รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กับปริมาณสลัดจ์ ที่ความเร็วรอบ 30 rpm ของแต่ละตำแหน่งโดยเปรียบเทียบระหว่างตัวกววนแบบเก่ากับแบบใหม่

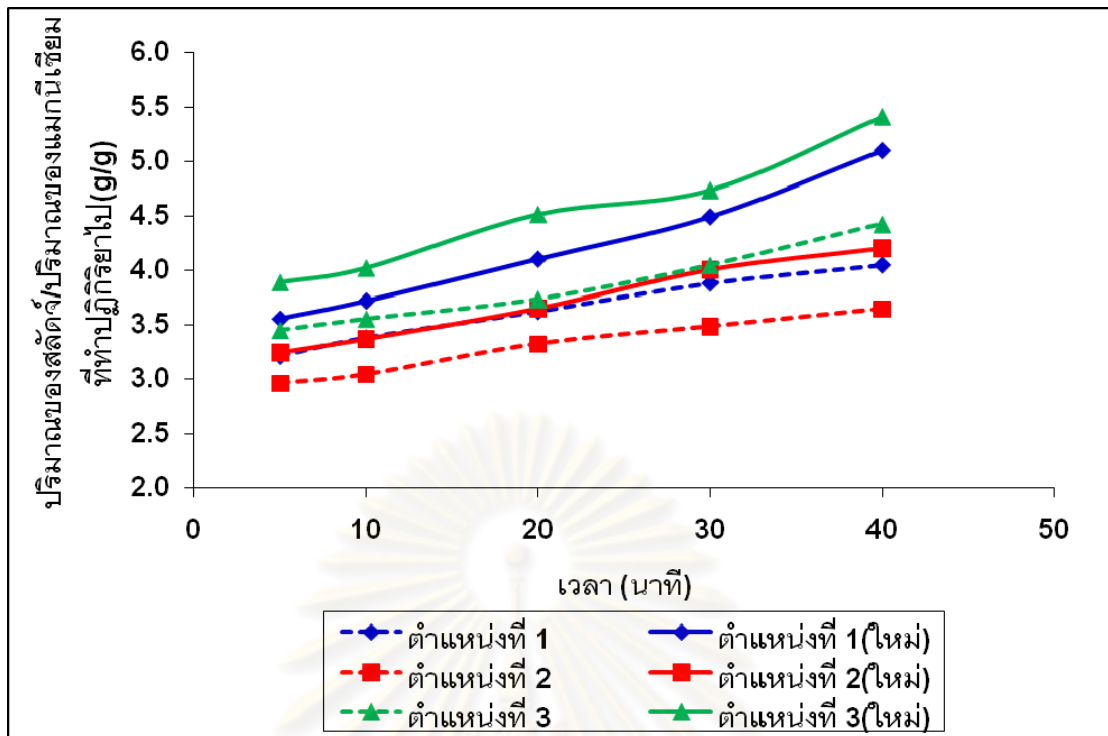
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กับปริมาณสลัดจ์ ที่ความเร็วรอบ 40 rpm ของแต่ละตำแหน่งโดยเปรียบเทียบระหว่างตัวกวนแบบเก่ากับแบบใหม่

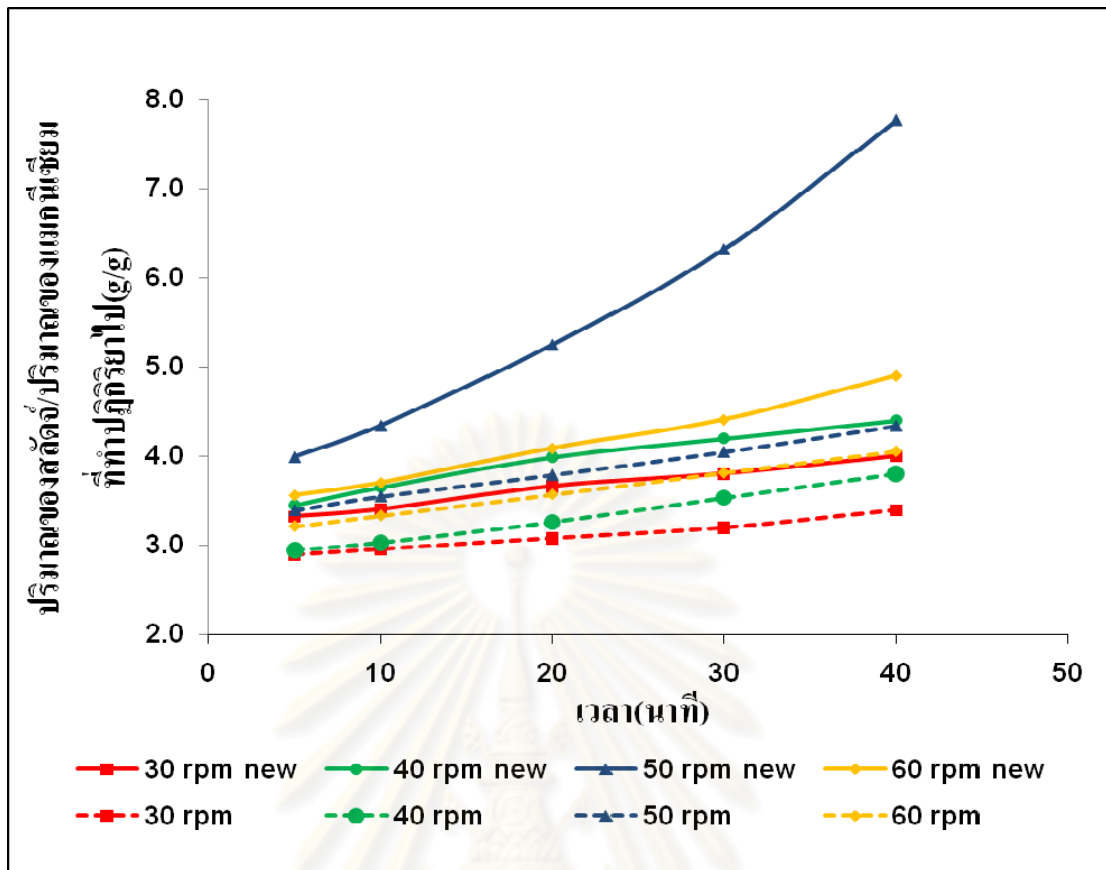


รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กับปริมาณสลัดจ์ ที่ความเร็วรอบ 50 rpm ของแต่ละตำแหน่งโดยเปรียบเทียบระหว่างตัวกวนแบบเก่ากับแบบใหม่



รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กับปริมาณสลัดจ์ ที่ความเร็วรอบ 60 rpm ของแต่ละตำแหน่งโดยเปรียบเทียบระหว่างตัวกวนแบบเก่ากับแบบใหม่

เนื่องจากความเข้มข้นของแมกนีเซียมเริ่มต้นของแต่ละความเร็วรอบไม่เท่ากัน จึงทำให้ปริมาณสลัดจ์เริ่มต้นไม่เท่ากันด้วย เราจึงต้องนำความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่ทำปฏิกิริยาไปในแต่ละภาวะมาเทียบกับปริมาณสลัดจ์ที่ภาวะนั้นๆ เพื่อจะได้เปรียบเทียบกันได้ ในการนี้จะใช้ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของแมกนีเซียมที่ทำปฏิกิริยาไปของแต่ละความเร็วรอบ มาใช้เพื่อการเปรียบเทียบ

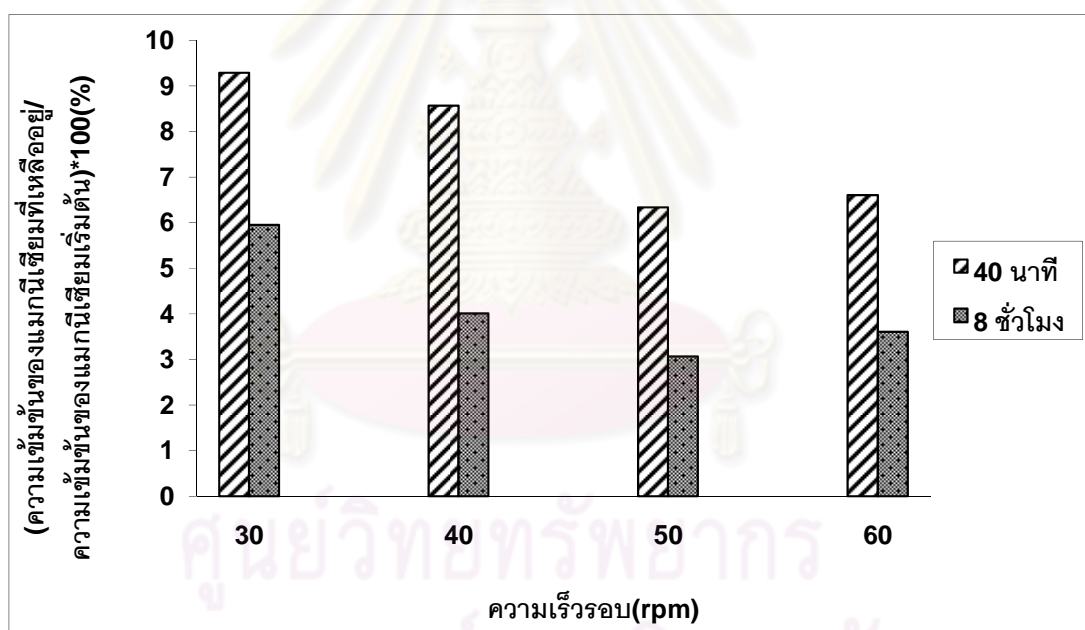


รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กับปริมาณสลัดจ์ ที่ความเร็วรอบต่างๆ โดยเปรียบเทียบระหว่างตัวถวนแบบเก่ากับตัวถวนแบบใหม่

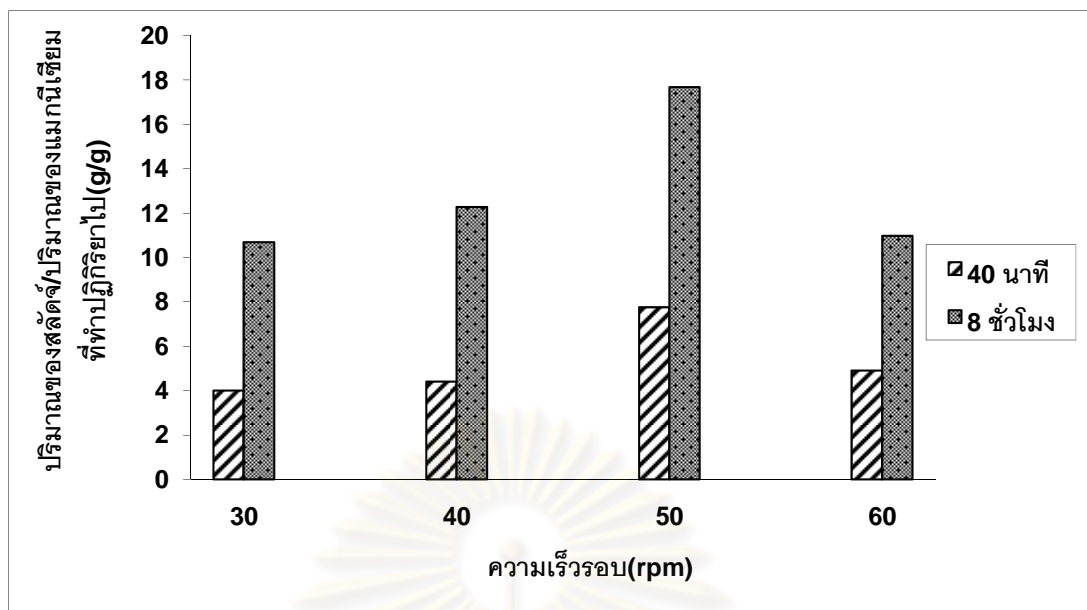
จากรูปที่ 4.10 พบว่า ภาวะที่ดีที่สุดในการถวนคือ ที่ความเร็วรอบ 50 rpm เวลา 40 นาที มีปริมาณสลัดจ์มากที่สุด โดยสอดคล้องกับการทดลองหาความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่เหลือน้ำยาง ซึ่งภาวะนี้จะมีค่าความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่เหลือน้ำยางน้อยที่สุด และเมื่อนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกันระหว่างตัวถวนแบบเก่ากับแบบใหม่ พบว่าตัวถวนแบบใหม่นี้ทำให้มีปริมาณสลัดจ์มากกว่า และมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 4272.16 ppm ส่วนตัวถวนแบบเก่ามีค่าปริมาณสลัดจ์เท่ากับ 1707.42 ppm

#### 4.4 ผลของการตั้งน้ำยางทิ้งไว้หลังการกวนเพื่อให้สลัดจ์ตกตะกอนลงมาที่ด้านล่างของบ่อ

หลังจากการกวน 40 นาทีแล้วได้ตั้งน้ำยางทิ้งไว้ในบ่อกวนเป็นเวลา 8 ชั่วโมง(ตามโรงงาน) พบว่า หลังจาก 40 นาทีจนถึง 8 ชั่วโมง ยังมีการทำปฏิกิริยาของแมกนีเซียมกับ DAHP อยู่บ้าง จนสุดท้ายได้ความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่เหลือและสลัดจ์ที่เกิดขึ้นดังรูปที่ 4.11 และ 4.12 สรุปได้ว่าหลังจากที่ได้ทำการเปลี่ยนใบพัดกวนทำให้การผสมของสารดีขึ้นดี เกิดปฏิกิริยามากขึ้น โดยสังเกตได้จากความเข้มข้นของแมกนีเซียมหลังจากตั้งทิ้งไว้ 8 ชั่วโมงเหลือน้อยกว่าของโรงงาน แต่เนื่องจากความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่เหลือที่เหมาะสมต้องอยู่ระหว่าง 100-170 ppm (ตามข้อกำหนดของโรงงานคือก่อนเข้าเครื่องเหวี่ยงต้องมีแมกนีเซียมที่เหลือในน้ำยางอยู่ในช่วงนี้ และหลังจากน้ำยางผ่านเครื่องเหวี่ยงเพื่อผลิตน้ำยางข้น แมกนีเซียมที่เหลือในน้ำยางข้นจะต้องมีความเข้มข้น อยู่ในช่วง 10-40 ppm ตามมาตรฐานของผลิตภัณฑ์น้ำยางข้น) จึงทำให้สามารถลดปริมาณ DAHP ที่ใช้ลงได้ ทำให้ประหยัดสารเคมีที่ใช้ได้



รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่เวลา 40 นาที และ 8 ชั่วโมง



รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับปริมาณสัลดัจที่เวลา 40 นาที และ 8 ชั่วโมง

#### 4.5 ผลของการกวนต่อความคงตัวเชิงกล (mechanical stability) ของน้ำยางสด

เนื่องจากความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อความคงตัวเชิงกล (mechanical stability) ของน้ำยางสด ค่าความคงตัวเชิงกลของน้ำยางสดวัดได้จากค่าความแตกต่างของเวลาระหว่างน้ำยางเริ่มต้นกับน้ำยางที่ผ่านการกวน ถ้าผลต่างของเวลามากความคงตัวเชิงกลของยางก็จะลดลงจากการวัดค่าความคงตัวเชิงกลของน้ำยางสดเริ่มต้นและหลังจากตั้งทิ้งไว้ 8 ชั่วโมง พบว่าเมื่อความเร็วรอบในการกวนเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความคงตัวเชิงกลของน้ำยางสดลดลง ทั้งนี้เพราะว่าเมื่อความเร็วรอบของใบพัดกวนเพิ่มขึ้นทำให้เกิดแรงเฉือน จึงส่งผลให้อนุภาคยางมีความคงตัวเชิงกลน้อยลง แต่เมื่อเปรียบเทียบค่าความคงตัวเชิงกลของน้ำยางสดเริ่มต้นกับค่าความคงตัวเชิงกลของน้ำยางสดเมื่อตั้งทิ้งไว้ 8 ชั่วโมงของแต่ละความเร็วรอบ พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก สามารถสรุปได้ว่า ความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้น (30, 40, 50, 60 rpm) ไม่มีผลต่อค่าความคงตัวเชิงกลของน้ำยางสด ดังแสดงตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าความคงตัวเชิงกล (mechanical stability time) ของน้ำยางสด

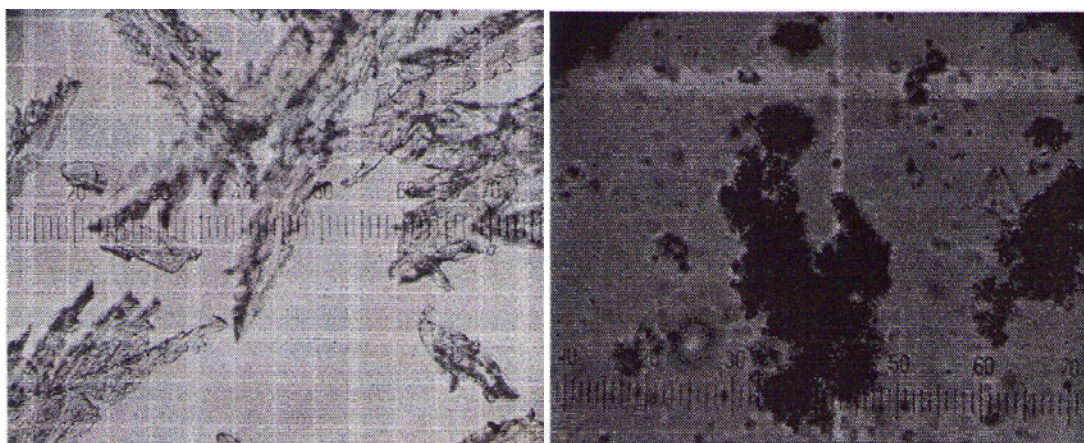
ความเร็วรอบ (rpm)	stability เริ่มต้น (นาที)	stability เมื่อตั้งทิ้งไว้ 8 ชั่วโมง (นาที)	ผลต่างของเวลา (นาที)
30	1.46	1.28	0.18
40	1.35	1.09	0.26
50	1.48	1.18	0.30
60	1.46	1.02	0.44

#### 4.6 ผลของเวลาและความเร็วรอบต่อขนาดอนุภาค (particle size) ของสลัดจ์

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบขนาดอนุภาคของสลัดจ์ที่เกิดขึ้นที่ภาวะต่างๆ การวัดขนาดอนุภาคของสลัดจ์วัดโดยใช้เครื่อง Mastersizer ผลของเวลาต่อขนาดอนุภาคของสลัดจ์โดยใช้ตัวกวนแบบใหม่ที่มีความเร็วรอบต่างๆแสดงดังตารางที่ 4.3, 4.4, 4.5 ตามลำดับ จาก การทดลองพบว่าขนาดอนุภาคของสลัดจ์เฉลี่ยมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อเวลาและความเร็วรอบเพิ่มขึ้น ซึ่งขนาดอนุภาคของสลัดจ์เฉลี่ยที่มีขนาดใหญ่ที่สุดคือ ที่ความเร็วรอบ 50 rpm เวลา 40 นาที และมีขนาดอนุภาคของสลัดจ์เท่ากับ 133.5 ไมครอน สามารถสรุปได้ว่าภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการ เกิดสลัดจ์(ที่ความเร็วรอบ 50 rpm เวลา 40 นาที) มีความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่เหลือน้ำยาง สดน้อยที่สุด ทำให้มีปริมาณสลัดจ์ที่เกิดขึ้นมากที่สุด และสลัดจ์ที่เกิดขึ้นมีขนาดอนุภาคใหญ่ที่สุด ด้วย แต่เมื่อเปรียบเทียบขนาดอนุภาคของสลัดจ์เฉลี่ยในน้ำยางสดกับขนาดอนุภาคของสลัดจ์ เฉลี่ยในน้ำยางสังเคราะห์(magnesium solution) ที่เวลาเดียวกัน แสดงดังตารางที่ 4.6 พบว่า ขนาดอนุภาคของสลัดจ์เฉลี่ยในน้ำยางสดที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากอนุภาคยางมาห่อหุ้มอนุภาค สลัดจ์ไว้ ทำให้ขนาดอนุภาคสลัดจ์เฉลี่ยในน้ำยางสดมีขนาดใหญ่ขึ้น แสดงดังรูปที่ 4.13

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





(ก)

(ข)

รูปที่ 4.13 ลักษณะสัลดิจโดยการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ (พีไรท์ร์ แสงทองฉาย และฐาปกรณ

บุญส่งสวัสดิ์, 2547)

(ก) สัลดิจสังเคราะห์ในน้ำ

(ข) สัลดิจในน้ำยางสด

ตารางที่ 4.3 ผลของเวลาต่อขนาดอนุภาค (particle size) ของสัลดิจที่ความเร็วรอบ 30 rpm

เวลา(นาทื)	ขนาดอนุภาคสัลดิจเฉลี่ย(ไมครอน)
5	0.91
20	27.34
40	55.77

ตารางที่ 4.4 ผลของเวลาต่อขนาดอนุภาค (particle size) ของสัลดิจที่ความเร็วรอบ 40 rpm

เวลา(นาทื)	ขนาดอนุภาคสัลดิจเฉลี่ย(ไมครอน)
5	2.48
20	48.82
40	73.71

ตารางที่ 4.5 ผลของเวลาต่อขนาดอนุภาค (particle size) ของสลัดจ์ที่ความเร็วรอบ 50 rpm

เวลา(นาที)	ขนาดอนุภาคสลัดจ์เฉลี่ย(ไมครอน)
5	4.50
20	67.86
40	133.50

ตารางที่ 4.6 ผลของความเร็วรอบต่อขนาดอนุภาค (particle size) ของสลัดจ์ที่เวลา 40 นาที

ความเร็วรอบ(rpm)	ขนาดอนุภาคสลัดจ์เฉลี่ย(ไมครอน)
50	133.50
50(control) <sup>a</sup>	103.97

<sup>a</sup> สลัดจ์สังเคราะห์ในน้ำ

#### 4.7 ผลของปริมาณDAHP ต่อการลดปริมาณแมกนีเซียมอินอนในน้ำอย่างสด

จากผลการทดลองข้างต้น ที่ภาวะ 50 rpm และ 40 นาที ใช้ตัวกรองแบบใหม่ จะได้น้ำยางมีความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่เหลืออยู่ 35 ppm ซึ่งน้อยมากถ้าเปรียบเทียบกับแมกนีเซียมที่เหลืออยู่จากกระบวนการทางโรงงาน (100-170 ppm) จึงได้ทำการทดลองใหม่ที่ภาวะเดิมโดยลดปริมาณ DAHP ที่ใช้ (คำนวณจากสูตรของโรงงาน) พบว่าเมื่อลดปริมาณ DAHP ที่ใช้เหลือครึ่งหนึ่งของปริมาณ DAHP (คำนวณจากสูตรของโรงงาน) ที่ใช้ในตอนแรก ทำให้ความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่เหลืออยู่เท่ากับ 123 ppm ดังตารางที่ 4.7 ซึ่งใกล้เคียงกับแมกนีเซียมที่เหลืออยู่จากกระบวนการทางโรงงาน (100-170 ppm) แต่เมื่อลดปริมาณ DAHP ที่ใช้ลงจนเหลือ 1/3 เท่าของปริมาณ DAHP (คำนวณจากสูตรของโรงงาน) ที่ใช้ในตอนแรก พบว่าความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่เหลืออยู่เท่ากับ 253 ppm ซึ่งมีความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่เหลืออยู่มากเกินไป และไม่สามารถนำไปเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงเพื่อให้ได้น้ำยางชั้นตามมาตรฐานของโรงงานได้(10-40 ppm) ดังนั้นถ้าใช้ใบพัดกรวนแบบใหม่(high efficiency) ดำเนินการที่ภาวะที่เหมาะสมคือ ใช้ความเร็วรอบในการกรวน 50 rpm เป็นเวลา 40 นาที สามารถลดปริมาณ DAHP ที่ใช้ได้ครึ่งหนึ่งของที่โรงงานใช้ ทำให้โรงงานประหยัดค่าใช้จ่ายในการซื้อสารเคมี

ตารางที่ 4.7 ผลของปริมาณ DAHP ต่อความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่เหลือ

DAHP	ความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่เหลือ(ppm)
Max <sup>a</sup> ( 155.5กรัม)	35
(1/2)Max	123
(1/3)Max	253

<sup>a</sup> ปริมาณ DAHP ที่ใช้(คำนวณจากสูตรของโรงงาน) แมกนีเซียมในน้ำยางสดเริ่มต้น 647 ppm  
ใส่ DAHP 155.5 กรัม

จากผลการทดลองในส่วนที่ 1 ได้ภาวะที่เหมาะสมในการกรวน คือที่ความเร็วรอบ 50 rpm เวลา 40 นาที หลังจากทำการลดแมกนีเซียมในน้ำยางสดที่ภาวะเหมาะสมและตั้งทิ้งไว้ 8 ชั่วโมงแล้ว( เพื่อให้สลัดจ์ตกตะกอน) นำน้ำยางส่วนบนมาป้อนเข้าเครื่องเหวี่ยงเพื่อหาปริมาณสลัดจ์ที่ติดอยู่ในเครื่องเหวี่ยง เปรียบเทียบปริมาณสลัดจ์ที่ติดอยู่ในเครื่องเหวี่ยงระหว่างกระบวนการนี้กับกระบวนการของโรงงาน การทดลองนี้ใช้น้ำยางสดเริ่มต้น 120 กิโลกรัม เท่ากัน อัตราป้อนเข้าเครื่องเหวี่ยงคงที่เท่ากับ 5.2 กิโลกรัมต่อนาที ใช้เวลาทั้งหมดในการเหวี่ยง 23 นาที ผลการทดลองพบว่า หลังจากการเหวี่ยง ปริมาณสลัดจ์ที่ได้จากการทดลอง ที่ติดอยู่ในเครื่องเหวี่ยงมีปริมาณน้อย (0.045 กิโลกรัม ) กว่าปริมาณสลัดจ์ที่ได้จากกระบวนการของโรงงานถึง 1.71 เท่า แสดงดังตารางที่ 4.8 เนื่องจากทางโรงงานต้องพักเครื่องเหวี่ยงทุกๆ 2 ชั่วโมง(ปริมาณสลัดจ์เต็มเครื่องเท่ากับ 0.4 kg) เพื่อล้างสลัดจ์ที่ติดอยู่ในเครื่องเหวี่ยงออกก่อนที่จะเดินเครื่องต่อ สลัดจ์ที่เกิดขึ้นมาจากการใช้ตัวกรวนแบบตัวที่ และปอกวนที่เป็นสีเหลี่ยมทำให้การกรวนไม่สม่ำเสมอ ส่งผลให้ DAHP ทำปฏิกิริยากับแมกนีเซียมในปอกวนไม่สมบูรณ์ DAHP บางส่วนจึงมาทำปฏิกิริยากับแมกนีเซียมในน้ำยางสดต่อในเครื่องเหวี่ยง จากการทดลองสรุปได้ว่า สามารถเพิ่มเวลาในการเหวี่ยงได้ จากเดิม 2 ชั่วโมงเป็น 3 ชั่วโมง 25 นาที จึงจะทำการหยุดและล้างเครื่องเหวี่ยง ทำให้ลดค่าไฟฟ้า ค่าน้ำ เวลา และจำนวนคนงานได้

#### ตารางที่ 4.8 ผลเปรียบเทียบการเกิดสไลด์ต่อประสิทธิภาพเครื่องเหวี่ยง

แมกนีเซียมเริ่มต้น 546 ppm

ตัวแปร	โรงงาน	การทดลอง
ชนิดตัวกวน	Simple Straight-Blade Turbine	High Efficiency Impeller
แมกนีเซียมที่เหลืออยู่(ก่อนเข้าเครื่องเหวี่ยง)(ppm)	132.5	35
ปริมาณสไลด์ที่เกิดขึ้น(กิโลกรัม) ต่อน้ำยาง 120 กิโลกรัม	0.077	0.045
เวลาของการเดินเครื่องเหวี่ยงต่อรอบ(ชั่วโมง)	2	3.41

#### ส่วนที่ 2 ผลทดลองลดแมกนีเซียมในน้ำยางสดโดยใช้กระบวนการไดอะฟิลเตรชันร่วมกับการกรองชนิดเยื่อแผ่นหมุนได้

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดแมกนีเซียมในน้ำยางสดโดยการชะออก (ไม่ต้องใส่ DAHP ซึ่งจะทำให้เกิดสไลด์และยังต้องกำจัดสไลด์อีก) ก่อนจะดำเนินการกรองทุกครั้งจะต้องทดสอบตัวกรองว่าตัวกรองอุดตันหรือไม่ โดยทดสอบกับน้ำบริสุทธิ์ ให้ได้ค่าฟลักซ์เท่ากับ 5416.65 ลิตรต่อตารางเมตร-ชั่วโมง เพื่อแสดงว่าตัวกรองมีความสะอาดเท่ากันทุกครั้ง

การกรองด้วยกระบวนการไดอะฟิลเตรชันเป็นการกรองเพื่อกำจัดอนุภาคขนาดเล็ก (ในการทดลองนี้เราจะกำจัดแมกนีเซียมในน้ำยางสด) โดยการใช้น้ำหรือสารละลายพาสผ่านตัวกรองออกไป โดยจะเรียกสัดส่วนของปริมาตรน้ำที่เติมต่อปริมาตรสารแขวนลอยเริ่มต้นว่า ไดอะฟิลเตรชันวอลุ่ม หรือ ปริมาตรไดอะฟิลเตรชัน (Diafiltration volume, DV) สำหรับการทดลองนี้เราจะศึกษาการกรองด้วยกระบวนการไดอะฟิลเตรชันร่วมกับการกรองชนิดเยื่อแผ่นหมุนได้ที่ความเร็วรอบ 600, 900, 1200 rpm โดยเติม 10% (w/v) โซเดียมแอลจีเนต ปริมาตร 0.1% ของปริมาตรทั้งหมด (น้ำยางสดปริมาตร 1 ลิตรผสมกับน้ำกลั่นที่มี 0.4% wt แอมโมเนียจำนวน 1 ลิตรแล้วคนให้เข้ากัน) หลังจากนั้นจะค่อยๆเติมปริมาตรไดอะฟิลเตรชันครั้งละ 100 มิลลิลิตร เพื่อชะแมกนีเซียมในน้ำยางสดออกไป เก็บตัวอย่างทุกๆ 100 มิลลิลิตรของปริมาตรฟิลเตรตที่ออกมา และจะเติมปริมาตรไดอะฟิลเตรชันจนกว่าค่าฟลักซ์ของการกรองจะคงที่ พบว่าที่ความเร็วรอบสูง

สามารถกรองได้นานกว่าที่ความเร็วรอบต่ำ เนื่องจากความเร็วรอบสูงทำให้เกิดแรงเฉือนชั้นเค้ก การสะสมของชั้นเค้กจึงน้อยลง ผลของเวลาและปริมาตรไดอะฟิลเตรชันที่ใช้ในการทดลองที่ความเร็วรอบต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.9, 4.10, 4.11 ตามลำดับ

**ตารางที่ 4.9** เวลาและปริมาตรไดอะฟิลเตรชันที่ใช้ในการทดลองที่ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที

เวลา (นาที)	จำนวนครั้งของการเติม ปริมาตรไดอะฟิลเตรชัน (ครั้ง)	ปริมาตรน้ำที่เติม (มิลลิลิตร)	ปริมาตร ฟิลเตรต (มิลลิลิตร)	ปริมาตร ฟิลเตรตสะสม (มิลลิลิตร)
0	0	0	0	0
4.0	1	100	100	100
9.0	2	100	100	200
14.5	3	100	100	300
20.0	4	100	100	400

**ตารางที่ 4.10** เวลาและปริมาตรไดอะฟิลเตรชันที่ใช้ในการทดลองที่ความเร็วรอบ 900 รอบต่อนาที

เวลา (นาที)	จำนวนครั้งของการ เติมปริมาตร ไดอะฟิลเตรชัน(ครั้ง)	ปริมาตรน้ำที่เติม (มิลลิลิตร)	ปริมาตร ฟิลเตรต (มิลลิลิตร)	ปริมาตร ฟิลเตรตสะสม (มิลลิลิตร)
0	0	0	0	0
2.7	1	100	100	100
6.5	2	100	100	200
11.3	3	100	100	300
16.3	4	100	100	400
21.3	5	100	100	500

ตารางที่ 4.11 เวลาและปริมาณไดอะฟิลเตรชันที่ใช้ในการทดลองที่ความเร็วรอบ 1200 รอบต่อนาที

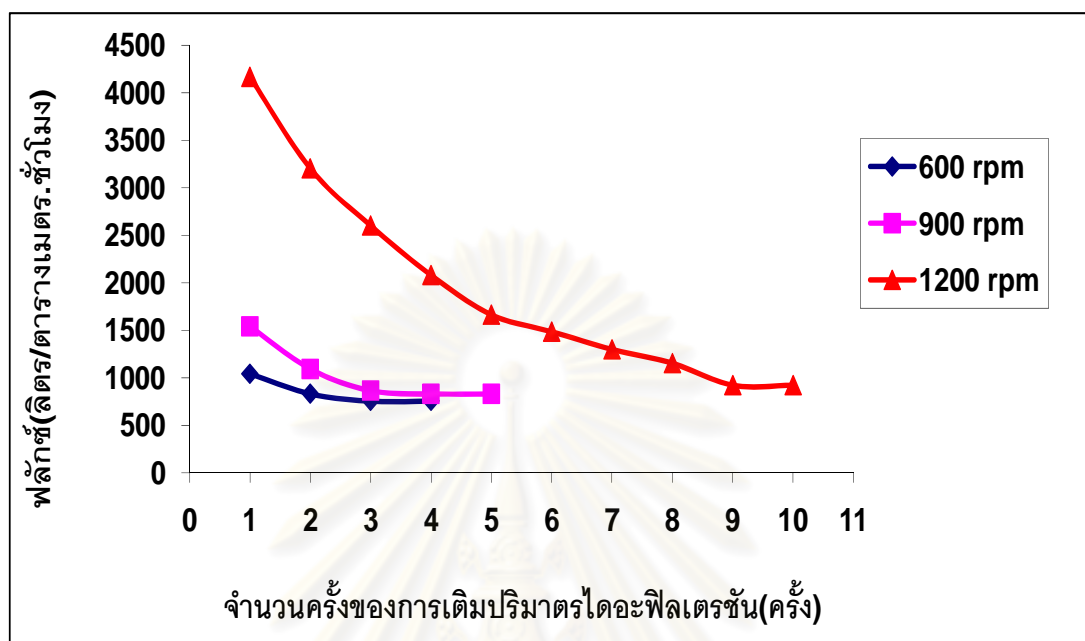
เวลา (นาทีก)	จำนวนครั้งของการ เติมปริมาณ ไดอะฟิลเตรชัน(ครั้ง)	ปริมาณน้ำที่เติม (มิลลิลิตร)	ปริมาณ ฟิลเตรต (มิลลิลิตร)	ปริมาณ ฟิลเตรตสะสม (มิลลิลิตร)
0	0	0	0	0
1	1	100	100	100
2.3	2	100	100	200
3.9	3	100	100	300
5.9	4	100	100	400
8.4	5	100	100	500
11.2	6	100	100	600
14.2	7	100	100	700
17.7	8	100	100	800
22.2	9	100	100	900
26.7	10	100	100	1000

#### 4.8 ผลของการเติมปริมาณไดอะฟิลเตรชัน และความเร็วรอบต่อเพอร์มิเอชันฟลักซ์

จากการทดลองในส่วนที่ 2 การลดปริมาณแมกนีเซียมในน้ำยางสด โดยใช้กระบวนการไดอะฟิลเตรชันร่วมกับการกรองชนิดเยื่อแผ่นหมุนได้ (Rotating filtration) ได้ทำการศึกษาผลของความเร็วรอบเยื่อแผ่นต่อเพอร์มิเอชันฟลักซ์ ที่อัตราการไหลของสายป้อนเท่ากับ 36 ลิตรต่อชั่วโมง ความดันคร่อมเยื่อแผ่นเท่ากับ 0.3 บาร์ ความเร็วรอบเยื่อแผ่นเท่ากับ 600 900 และ 1200 รอบต่อนาที โดยมีระยะห่างระหว่างผิวหน้าของเยื่อแผ่นและผนังด้านในของทรงกระบอกชั้นนอกเท่ากับ 0.008 เมตร เมื่อเราพิจารณาฟลักซ์ของการกรองด้วยกระบวนการไดอะฟิลเตรชันของแต่ละความเร็วรอบ พบว่า เพอร์มิเอชันฟลักซ์ของการกรองมีค่าลดลงเรื่อยๆเมื่อเติมปริมาณไดอะฟิลเตรชันเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดการสะสมเค้กบนผิวของเยื่อแผ่น และจะเริ่มคงที่เมื่อจำนวนครั้งในการเติมปริมาณไดอะฟิลเตรชันเท่ากับ 4, 5 และ 10 (ที่ความเร็วรอบ 600, 900 และ 1200 rpm) ตามลำดับ แต่เมื่อเพิ่มความเร็วรอบพบว่า เพอร์มิเอชันฟลักซ์ของการกรองมีค่าสูงขึ้น (สุขุมภุมรินทร์วรากุล, 2546) เนื่องจากเกิดการหมุนวนของเพย์เลอร์ เกิดการเข็นเค้กออกตลอดเยื่อ

แผ่น(Richard และคณะ, 2001) ทำให้กรองผ่านเยื่อแผ่นไปได้มากกว่าที่ความเร็วรอบต่ำ ดังรูปที่

4.14

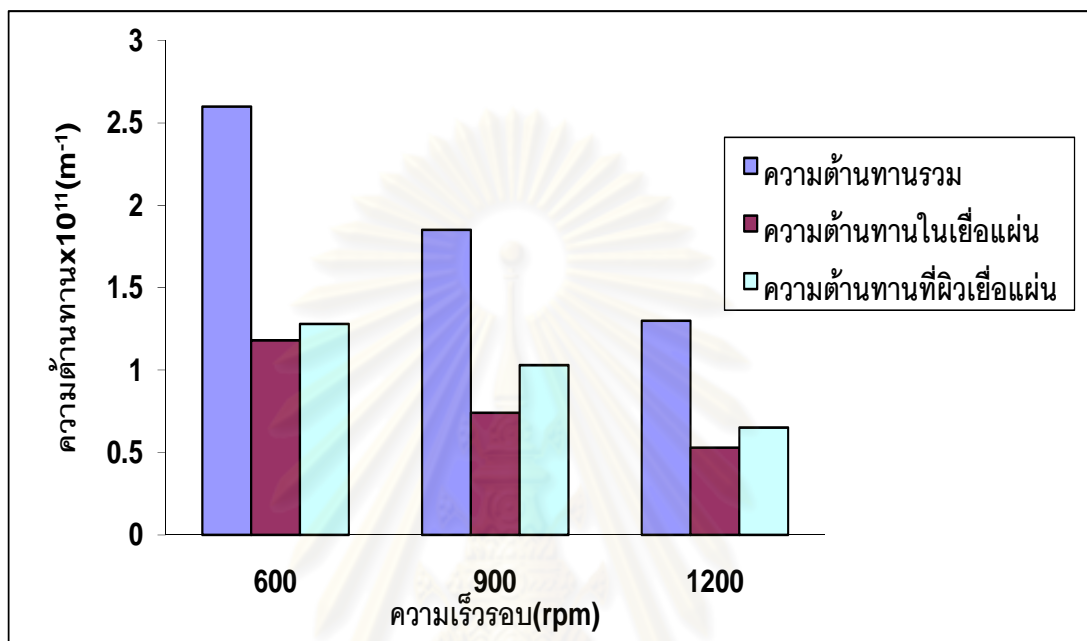


รูปที่ 4.14 เฟอร์มิเอชันฟลักซ์ของการกรองน้ำยางสดด้วยเทคนิคไดอะฟิลเตรชันที่ความเร็วรอบต่างๆ

#### 4.9 ผลของความเร็วยรอบต่อค่าความต้านทานรวม ความต้านทานในเยื่อแผ่นและความต้านทานที่ผิวเยื่อแผ่น

ในการทดลองส่วนนี้เราได้ศึกษาผลของความเร็วยรอบต่อค่าความต้านทาน ซึ่งความต้านทานมีผลต่อการกรองคือ ถ้าความต้านทานสูงทำให้ประสิทธิภาพในการกรองลดลง และทำให้เฟอร์มิเอชันฟลักซ์มีค่าต่ำ โดยความต้านทานรวมประกอบไปด้วยความต้านทานเยื่อแผ่น ความต้านทานในเยื่อแผ่น และความต้านทานที่ผิวเยื่อแผ่น จากผลการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มความเร็วรอบเยื่อแผ่น ค่าความต้านทานรวม, ความต้านทานในเยื่อแผ่น และความต้านทานที่ผิวของเยื่อแผ่นจะมีค่าลดลง โดยที่ความเร็วรอบเยื่อแผ่นเท่ากับ 1200 รอบต่อนาที จะมีค่าความต้านทานรวม, ความต้านทานในเยื่อแผ่น และความต้านทานที่ผิวของเยื่อแผ่นน้อยที่สุด มีค่าเท่ากับ 1.3, 0.53 และ 0.65 ตามลำดับ และค่าความต้านทานรวม, ความต้านทานในเยื่อแผ่น และความต้านทานที่ผิวของเยื่อแผ่นจะมีค่ามากที่สุดที่ความเร็วรอบเยื่อแผ่นเท่ากับ 600 รอบต่อนาที มีค่าเท่ากับ 2.6, 1.18 และ 1.28 ตามลำดับ(แสดงดังรูปที่ 4.15) เนื่องจากอนุภาคยางจะรวมตัวเป็น

ก่อนขนาดใหญ่ตามความเร็วรอบเยื่อแผ่นที่สูงขึ้น จะส่งผลให้อนุภาคขนาดใหญ่ถูกเหวี่ยงไป ได้มากกว่าอนุภาคยงที่มีขนาดเล็ก ส่งผลให้การสะสมของชั้นเค้กที่ผิวของเยื่อแผ่นมีน้อยลง ความต้านทานรวมจึงมีค่าลดลงทำให้เพอร์มิเอชันฟลักซ์มีค่าสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองใน หัวข้อ 4.8



รูปที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบต่อค่าความต้านทาน

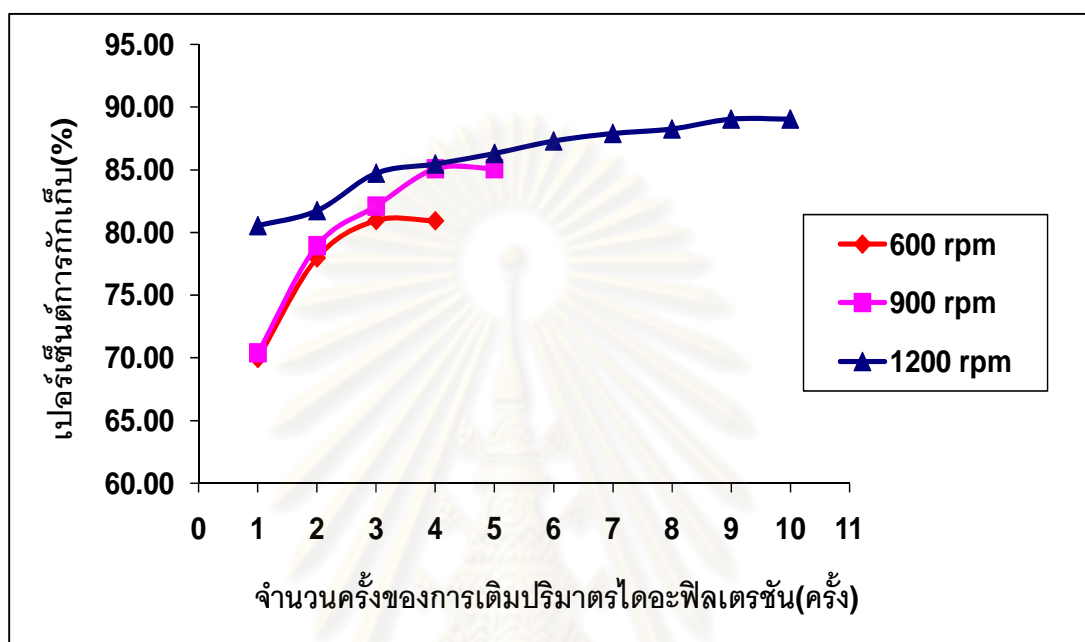
เมื่อนำค่าความต้านทานรวม ความต้านทานในเยื่อแผ่นและความต้านทานที่ผิวเยื่อแผ่น ของแต่ละความเร็วรอบมาเปรียบเทียบกัน พบว่าค่าความต้านทานที่ผิวเยื่อแผ่นมีค่ามากกว่าค่า ความต้านทานในเยื่อแผ่นทุกการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 4.14 สามารถสรุปได้ว่าอนุภาคยงส่วน ใหญ่ติดที่ผิวเยื่อแผ่นมากกว่าในเยื่อแผ่น ซึ่งความเร็วรอบเยื่อแผ่นที่สูงขึ้นสามารถกำจัดอนุภาค ยงที่ผิวออกได้มากขึ้น

#### 4.10 ผลของการเติมปริมาตรไดอะฟิลเตรชัน และความเร็วรอบของเยื่อแผ่นต่อ เปอร์เซ็นต์การกักเก็บ (%rejection)

การศึกษาผลของการเติมปริมาตรไดอะฟิลเตรชัน และความเร็วรอบของเยื่อแผ่นต่อ เปอร์เซ็นต์การกักเก็บ ทำการทดลองโดยใช้ความดันคร่อมเยื่อแผ่นเท่ากับ 0.3 บาร์ อัตราการป้อน เท่ากับ 36 ลิตรต่อชั่วโมง ความเร็วรอบเยื่อแผ่นจาก 600 ถึง 1200 รอบต่อนาที พบว่าเมื่อเพิ่ม ความเร็วรอบ 600, 900, 1200 rpm จะมีค่าการกักเก็บหลังทำไดอะฟิลเตรชันเท่ากับ 80.93,



85.08 และ 89.04 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เนื่องจากการเพิ่มความเร็วของเยื่อแผ่นทำให้อนุภาคที่มีขนาดใหญ่ถูกเหวี่ยงไปได้มากกว่าอนุภาคยวงที่มีขนาดเล็ก ทำให้มีแต่อนุภาคขนาดเล็กส่วนใหญ่ที่อยู่บริเวณผิวของเยื่อแผ่นและสามารถที่จะลอดผ่านเยื่อแผ่นไปได้เล็กน้อย ทำให้เปอร์เซ็นต์การกักเก็บสูงขึ้น แต่ทั้งนี้ก็ทำให้การกักเก็บไม่ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.16

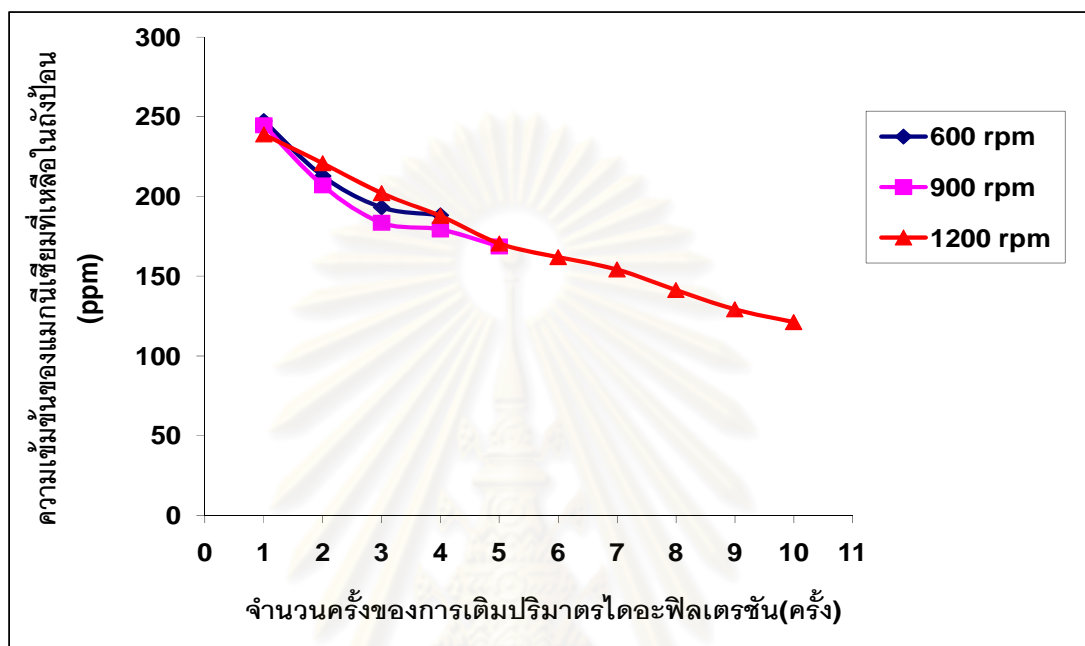


รูปที่ 4.16 ผลของการเติมปริมาตรไดอะฟิลเตรชัน และความเร็วรอบของเยื่อแผ่นต่อเปอร์เซ็นต์การกักเก็บ

#### 4.11 ผลของการเติมปริมาตรไดอะฟิลเตรชันต่อความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่เหลืออยู่ในถังป้อนที่ความเร็วรอบต่างๆ

การลดปริมาณแมกนีเซียมในน้ำอย่างสด โดยใช้กระบวนการไดอะฟิลเตรชันร่วมกับการกรองชนิดเยื่อแผ่นหมุนได้ โดยเก็บตัวอย่างในถังป้อนทุกๆ 100 มิลลิลิตรของสายเพอร์มิเอต เพื่อมาวิเคราะห์ความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่เหลือ ผลการทดลองพบว่า เมื่อเติมปริมาตรไดอะฟิลเตรชันมากขึ้นความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่เหลือในถังป้อนมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ เนื่องจากการทำไดอะฟิลเตรชันเป็นการชะแมกนีเซียมให้ออกไปกับน้ำในสายเพอร์มิเอต ซึ่งเมื่อทำการเพิ่มความเร็วรอบของเยื่อแผ่นจะทำให้กรองได้นานขึ้น แมกนีเซียมในน้ำอย่างสดออกไปกับน้ำในสายเพอร์มิเอตมากขึ้น ทำให้ความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่เหลือในถังป้อนน้อยลง โดยที่ความเร็วรอบเยื่อแผ่นเท่ากับ 1200 รอบต่ออนาที จะมีความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่เหลือในถังป้อนหลังทำไดอะฟิลเตรชันน้อยที่สุด มีค่าเท่ากับ 121.21 ppm และความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่

เหลือในถังป้อนหลังทำไดอะฟิลเตรชันมากที่สุดที่ความเร็วรอบเยื่อแผ่นเท่ากับ 600 รอบต่อนาที มีค่าเท่ากับ 188.23 ppm ดังแสดงในรูปที่ 4.17 ความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่เหลือในถังป้อนอยู่ในช่วงที่โรงงานกำหนด(100-170 ppm) หลังจากนั้นจึงนำไปเข้าเครื่องเหวี่ยง เพื่อให้ได้น้ำยางขึ้นที่มีความเข้มข้นของแมกนีเซียมตามมาตรฐานของโรงงาน(10 ถึง 40 ppm)

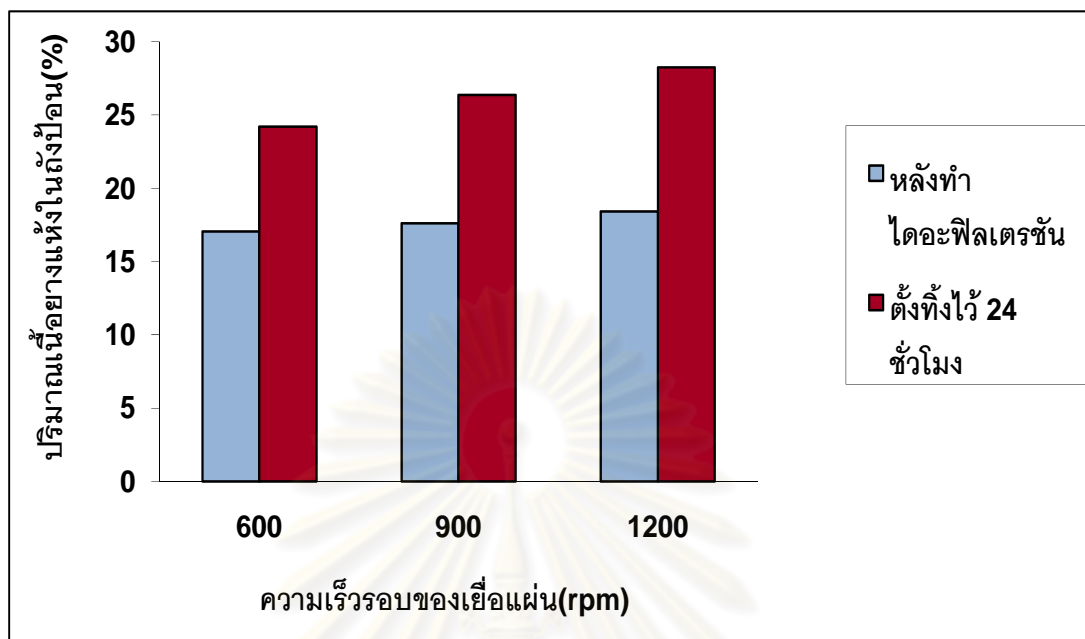


รูปที่ 4.17 ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในถังป้อนหลังจากการกรองน้ำยางด้วยเทคนิคไดอะฟิลเตรชันที่ความเร็วรอบต่างๆ

#### 4.12 ผลของความเร็วรอบต่อค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในถังป้อนหลังทำไดอะฟิลเตรชันและเมื่อตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง

การทดลองโดยใช้กระบวนการไดอะฟิลเตรชันร่วมกับการกรองชนิดเยื่อแผ่นหมุนได้พบว่า หลังจากการทำไดอะฟิลเตรชัน แล้วต่อด้วยการทำคอนเซนเตรชัน ปริมาณเนื้อยางแห้งในถังป้อนมีปริมาณน้อย ไม่สามารถนำไปเข้าเครื่องเหวี่ยงได้ เนื่องจากน้ำยางสดที่จะเข้าเครื่องเหวี่ยงต้องมีปริมาณเนื้อยางแห้งอย่างน้อย 27% ซึ่งเมื่อผ่านเครื่องเหวี่ยงแล้วจะได้ผลิตภัณฑ์(น้ำยางข้น)ที่มีปริมาณเนื้อยางแห้งอย่างน้อย 60% (มาตรฐานของโรงงาน) ดังนั้นจึงเติม 10%(w/v) โซเดียมแอลจินเนต ลงในถังป้อนก่อนทำการทดลองเพื่อช่วยให้อนุภาคยางมาจับตัวกัน ทำให้เปอร์เซ็นต์การกักเก็บ(% Rejection)เพิ่มมากขึ้น ปริมาณเนื้อยางแห้งในถังป้อนที่เพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับเวลาผลการทดลองพบว่าเมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง การเพิ่มความเร็วยูนิทเยื่อแผ่นจะทำให้ปริมาณ

เนื่อียงแห้งในถังป้อนเพิ่มขึ้น โดยที่ความเร็วรอบเยื่อแผ่น 1200 รอบต่อนาที จะมีปริมาณเนื่อียงแห้งในถังป้อนสูงสุดเท่ากับ 28.27 % ดังแสดงในรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบต่อค่าปริมาณเนื่อียงแห้งในถังป้อนหลังทำ ไดอะฟิลเตรชัน และเมื่อตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง

จากผลการทดลองของทั้ง 2 วิธี คือ วิธีตกตะกอนแมกนีเซียมโดยใช้สารละลาย DAHP และการใช้กระบวนการไดอะฟิลเตรชันร่วมกับการกรองชนิดเยื่อแผ่นหมุนได้ สามารถกำจัดแมกนีเซียมในน้ำยางสดได้ จนสุดท้ายมีความเข้มข้นของแมกนีเซียมเหลืออยู่ประมาณ 120 ppm (ตามมาตรฐานของโรงงาน) ซึ่งปัจจุบันทางโรงงานใช้วิธีการตกตะกอนแมกนีเซียมโดยใช้สารละลาย DAHP สิ่งที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นคือตะกอนขี้แป้ง รวมถึงน้ำเสียจากกระบวนการที่ต้องบำบัด ถ้าเปลี่ยนมาใช้กระบวนการไดอะฟิลเตรชันร่วมกับการกรองชนิดเยื่อแผ่นหมุนได้ จะสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการซื้อสารเคมี DAHP การกำจัดตะกอนขี้แป้งที่เกิดขึ้นจากการตกตะกอนของแมกนีเซียม การบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิต ลดเวลาที่ใช้ในกระบวนการ(ดังแสดงในภาคผนวก ค 2) และค่าจ้างคนงานเพื่อล้างเครื่องเซนตริฟิวส์ แต่ข้อเสียของวิธีนี้คือต้องใช้น้ำในปริมาณมากในการทำไดอะฟิลเตรชัน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีตกตะกอนแมกนีเซียมโดยใช้สารละลาย DAHP แล้วถือว่าประหยัดค่าใช้จ่ายมากกว่า ดังนั้นสรุปได้ว่าการกำจัดแมกนีเซียมในน้ำยางสดโดยใช้กระบวนการไดอะฟิลเตรชันร่วมกับการกรองชนิดเยื่อแผ่นหมุนได้จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับการกำจัดแมกนีเซียมในน้ำยางสดของอุตสาหกรรมผลิตน้ำยางข้น

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง และ ข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

##### ส่วนที่ 1

1. น้ำยาที่ใช้ในการทดลอง มีความหนาแน่นเท่ากับ 0.975-0.980 กรัมต่อมิลลิลิตร ความหนืด 11.2 เซนติพอยด์ ปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางสด (%DRC) 30-40 % ความเข้มข้นของแมกนีเซียมเริ่มต้น 400-600 ppm และขนาดอนุภาคเฉลี่ย 0.4-4 ไมครอน
2. การกระจายตัวของแมกนีเซียมที่ตำแหน่งต่างๆในบ่อไม่เท่ากัน การกระจายตัวของแมกนีเซียมที่ตำแหน่งที่ 1 กับ 3 ใกล้เคียงกันและกระจายได้ดีกว่าตำแหน่งที่ 2 ในทุกความเร็วรอบและทุกช่วงเวลา
3. ความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่เหลืออยู่มีค่าลดลง เมื่อเวลาและความเร็วรอบเพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มเวลาในการกวนส่งผลให้ความเข้มข้นของสัจจมีเพิ่มมากขึ้นด้วย
4. ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของสัจจมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อเวลาและความเร็วรอบเพิ่มขึ้น ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของสัจจมีขนาดใหญ่ที่สุดคือ ที่ความเร็วรอบ 50 rpm เวลา 40 นาที และมีขนาดอนุภาคของสัจจมีเท่ากับ 133.5 ไมครอน
5. ความเร็วรอบในการกวนในช่วงที่ใช้ในการทดลองทำให้ค่าความคงตัวเชิงกลของน้ำยางสดลดลงเล็กน้อย สามารถสรุปได้ว่า ความเร็วรอบที่ใช้ (30, 40, 50, 60 rpm) ไม่มีผลต่อค่าความคงตัวเชิงกลของน้ำยางสด
6. ตัวกวนแบบใหม่มีประสิทธิภาพในการกวนดีกว่าตัวกวนแบบเก่าเพราะมีค่าความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่เหลือในน้ำยางสดน้อยกว่าในทุกๆตำแหน่งและความเร็วรอบ และมีค่าน้อยที่สุด (6.3%) ที่ความเร็วรอบ 50 rpm เวลา 40 นาที ในขณะที่ตัวกวนแบบเก่ามีความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่เหลือในน้ำยางสดน้อยที่สุด (23%) ที่ความเร็วรอบ 50 rpm เวลา 40 นาที และในทำนองเดียวกันที่ความเร็วรอบ 50 rpm เวลา 40 นาที ตัวกวนแบบใหม่นี้ทำให้มีปริมาณสัจจมีมากกว่า และมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 1434.64 ppm ส่วนตัวกวนแบบเก่ามีค่าปริมาณสัจจมีเท่ากับ 572.22 ppm
7. ภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการกวนคือ ที่ความเร็วรอบ 50 rpm เวลา 40 นาที ให้ค่าความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่เหลืออยู่ 35 ppm ซึ่งน้อยกว่าทางโรงงานมาก (100-170 ppm) สรุปได้ว่าการทดลองนี้ดีกว่าของโรงงาน เมื่อเทียบความเข้มข้นของแมกนีเซียมกับเวลาในการกวน 40

นาที่เหมือนกัน ดังนั้นสามารถลดปริมาณ DAHP ที่ใช้ได้ครึ่งหนึ่งของที่โรงงานใช้ ทำให้โรงงานประหยัดค่าใช้จ่ายในการซื้อสารเคมี

8. เมื่อใช้ตัวกวนแบบใหม่ (High efficiency impeller) กวนที่ภาวะที่เหมาะสม คือ ที่ความเร็วรอบ 50 rpm เวลา 40 นาที สามารถเพิ่มเวลาในการเหวี่ยงได้ จากเดิม 2 ชั่วโมงเป็น 3 ชั่วโมง 34 นาที ทำให้ลดค่าไฟฟ้า ค่าน้ำ เวลา และจำนวนคนงานได้

## ส่วนที่ 2

1. เพอร์มิเอชันฟลักซ์ของการกรองมีค่าลดลงเรื่อยๆเมื่อเติมปริมาตรไดอะฟิลเตรชันเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดการสะสมเค้กบนผิวของเยื่อแผ่น และจะเริ่มคงที่เมื่อจำนวนครั้งในการเติมปริมาตรไดอะฟิลเตรชันเท่ากับ 4, 5 และ 10 ที่ความเร็วรอบ 600, 900 และ 1200 rpm ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อเพิ่มความเร็วรอบเพอร์มิเอชันฟลักซ์ของการกรองมีค่าสูงขึ้น

2. ความต้านทานรวม ความต้านทานในเยื่อแผ่น และค่าความต้านทานที่ผิวเยื่อแผ่นมีค่าลดลงเมื่อทำการเพิ่มความเร็วรอบเยื่อแผ่น โดยพบว่า ที่ความเร็วรอบเยื่อแผ่น 1200 รอบต่อนาที ความต้านทานรวม ความต้านทานในเยื่อแผ่น และค่าความต้านทานที่ผิวเยื่อแผ่นมีค่าเท่ากับ 1.3, 0.53 และ 0.65 ตามลำดับ และที่ความเร็วรอบเยื่อแผ่นเท่ากับ 600 รอบต่อนาที ความต้านทานรวม ความต้านทานในเยื่อแผ่นและความต้านทานที่ผิวเยื่อแผ่นมีค่ามากที่สุด เท่ากับ 2.6, 1.18 และ 1.28 ตามลำดับ

3. เมื่อเพิ่มความเร็วรอบ 600, 900, 1200 rpm จะมีค่าการกักเก็บหลังทำไดอะฟิลเตรชันสูงขึ้น และมีค่าเท่ากับ 80.93, 85.08 และ 89.04 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

4. การลดแมกนีเซียมในน้ำอย่างสดโดยใช้กระบวนการไดอะฟิลเตรชันร่วมกับการกรองชนิดเยื่อแผ่นหมุนได้ พบว่า เมื่อเติมปริมาตรไดอะฟิลเตรชันมากขึ้นความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่เหลือในถังบ่อนมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ โดยที่ความเร็วรอบเยื่อแผ่นเท่ากับ 1200 รอบต่อนาที จะมีความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่เหลือในถังบ่อนหลังทำไดอะฟิลเตรชันน้อยที่สุด มีค่าเท่ากับ 121.21 ppm และความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่เหลือในถังบ่อนหลังทำไดอะฟิลเตรชันมากที่สุดที่ความเร็วรอบเยื่อแผ่นเท่ากับ 600 รอบต่อนาที มีค่าเท่ากับ 188.23 ppm

5. ความเร็วรอบของเยื่อแผ่นที่เหมาะสมที่สุดในการลดแมกนีเซียมในน้ำอย่างสดโดยใช้กระบวนการไดอะฟิลเตรชันร่วมกับการกรองชนิดเยื่อแผ่นหมุนได้ คือ ความเร็วรอบเยื่อแผ่น 1200 รอบต่อนาที ความดันคร่อมเยื่อแผ่น 0.3 บาร์ ได้ค่าความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่เหลือในน้ำอย่างสดเท่ากับ 121.21 และมีปริมาณเนื้อเยื่อแห้งในถังบ่อนสูงสุดเท่ากับ 28.27 %

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรทำการทดลองเพิ่มเติมในส่วนของการนำไปใช้จริงทางภาคอุตสาหกรรม โดยทำการขยายขนาดของตัวกวนเพื่อใช้ในบ่อกวนของทางโรงงาน และนำผลการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบกับทำการทดลองในบ่อจำลองอีกครั้งหนึ่ง

2. ทำการทดลองเพิ่มเติมในส่วนของการลดแมกนีเซียมในน้ำยางสดโดยใช้กระบวนการไดอะฟิลเตรชันร่วมกับการกรองชนิดเยื่อแผ่นหมุนได้ เช่น ทำการทดลองโดยเปลี่ยนความดันคร่อมเยื่อแผ่น เปลี่ยนเยื่อแผ่นชนิดที่มีขนาดรูพรุนที่มีขนาดเล็กลง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกรอง

3. ศีรษะสารเคมีชนิดใหม่แทนการใช้โซเดียมแอลจีเนตในการทำให้อนุภาคน้ำยางสดมีขนาดใหญ่ขึ้น เนื่องจากโซเดียมแอลจีเนตมีราคาแพง



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- กิติพงษ์ รัตนภรณ์. การแยกโปรตีนออกจากผนังในเมล็ดมะขามโดยใช้เครื่องกรองชนิดหมุนได้, วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.
- โกศล จริงสูงเนิน. การเตรียมน้ำยางสด. วารสารยางพารา, 2528.
- พีรภัทร์ แสงทองฉาย และฐาปกรณีย์ บุญส่งสวัสดิ์. ผลของการตกตะกอนของซีเมนต์ตามระดับความสูงของบ่อปรับคุณภาพต่ออัตราการผลิตน้ำยางชั้น, ซีเนียร์โปรเจคปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.
- ณัฏฐวัฒน์ พลอยวัฒนาวงศ์. ผลของตัวกวนต่อการเกิดตะกอนซีเมนต์ในน้ำยางสด, ซีเนียร์โปรเจคปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.
- บุญธรรม นิธิอุทัย และคณะ. เทคโนโลยีน้ำยางชั้น, หน้า 1-3. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2539.
- ปราณี กิตติอนงค์. การประยุกต์ใช้ไมโครฟิลเตรชันในระบบการกำจัดความขมออกจากสเปนท์ริวเวอร์ยีสต์, วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.
- พงษ์ธร แซ่ฮุย. ยาง: ชนิด สมบัติ และการใช้งาน. กรุงเทพมหานคร: ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2547.
- พรพรรณ นิธิอุทัย. ยาง: เทคนิคการออกสูตร. ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี, 2540.
- วราภรณ์ ขจรไชยกูล. การผลิตยางธรรมชาติ. กรุงเทพมหานคร: ศูนย์วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ ยาง สถาบันวิจัยยาง, 2531.
- เวท ไทยนุกูล. การผลิตและการควบคุมคุณภาพยาง, หน้า 3. กรุงเทพมหานคร: สถาบันวิจัยยาง, 2532.
- เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังสี. การผลิตยางธรรมชาติ, หน้า 67-77. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี, 2547.

สุชุม ภูมรินทร์วรากุล. การประยุกต์ใช้เทคนิคไดอะฟิลเตรชันและคอนเซนเตรชันเพื่อแยกโปรตีนออกจากผงเนื้อในเมล็ดมะขามโดยใช้เครื่องกรองชนิดหมุนได้. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.

สุรศักดิ์ สุทธิสงค์. วิทยาศาสตร์ของน้ำยางธรรมชาติ. ใน เอกสารประกอบการสัมมนาเชิงปฏิบัติการ, หน้า 5, 7-9. ณ สถาบันวิจัยยาง, 2532.

## ภาษาอังกฤษ

Andersen Ole. And Bojgaard Svend Erik. A cheese-like product. a process of its preparation and the use thereof. E.P. Patent., 1988.

Anne S. et al. Concentration and desalination of fish gelatin by ultrafiltration and continuous diafiltration process. Desalination 144, 2002: 313-318.

Blackley, D.C. Polymer latexes. New York: Science and technology (2nd Ed.), Chapman & Hall, 1966.

Edmond P. et.al., Investigation of how agitation during precipitation, and subsequent processing affects the particle size distribution and separation of  $\alpha$ -lactalbumin enriched whey protein precipitates. Biochemical Engineering Journal 10(August 2001): 17-25.

Edmond P. et.al., Influence of shear on particle size and fractal dimension of whey protein precipitates: implications for scale-up and centrifugal clarification efficiency. Chemical Engineering Science 57(July 2002): 3767-3779.

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

John C.K. A Novel Method of Stabilising Hevea Latex. J. Rubb. Inst. Malaysia, 24(2), 1974, p.111.

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.



- Larry S. Desalting and Buffer Exchange by Dialysis, Gel filtration or Diafiltration. Life Science pn 33290, USA, 2003.
- 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.
- Richard H. et.al. Anti-Fouling Mechanism in Rotating Filtration.12 th International Couette Taylor Workshop, September pp.6-8, USA, 2001.
- Sakdapipanich J., Suksujaritporn S and Tanaka Y Structural Characterisation of the Small Rubber Particles in Fresh Hevea Latex, J. Rubb. Res., (2) 1999:160-168
- Southorn, W.A. Physiology on Hevea (latex-flow). J. Rubber Res. Inst. Malaya 21(1969): 494-512.
- Tangpakdee J. Structure Characterization of Natural Rubber : Analysis of Biosynthesis Mechanism, Braching 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 (IMSTEC 03) 10-14 November 2003. Sydney, Australia.pp 1-6.
- Woo C.H. Rubber Coagulation by Enzymes of Hevea Brasiliensis Latex. J. Rubb. Res. Inst. Malaysia 23(5), 1973, p.323.
- Yip E. and Gomez J.B. Stability of Fresh Hevea Latex in Relation to latex Vessel Plugging. Proc. Inst. Rubber. Conf. Kuala Lumpur, Rubber Res. Inst. Malaysia, 1975.



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## การวิเคราะห์

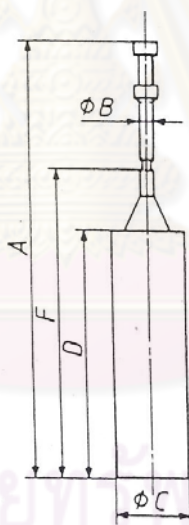
### 1. การทดสอบความหนืด (Determination of Viscosity)

#### เครื่องมือ/อุปกรณ์

1. เครื่องวัดความหนืด (viscometer) ประกอบด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า มีเพลลาขับเคลื่อนแท่งกวนรูปทรงและมิติที่เหมาะสม (รูปที่ 3.4 และ 3.5 ตารางที่ 3.1) ประกอบติดเข้ากับเพลลา หมุนได้ด้วยความเร็วคงที่ ซึ่งทำให้เกิดแรงที่สมดุลกับสเกลและเข็มวัดบนหน้าปัดที่สอบเทียบหน่วยจาก 0 ถึง 100 เพื่อบ่งชี้ความหนืด สามารถเลือกใช้เครื่องวัดความหนืดได้สองแบบ

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 ก 1 เข็มวัดความหนืดแบบ L1

2. บีกเกอร์ (beaker) แก้วปริมาตรไม่น้อยกว่า 600 ลูกบาศก์เซนติเมตร และเส้นผ่าศูนย์กลางภายในไม่น้อยกว่า 85 มิลลิเมตร



รูปที่ ก 2 เครื่องวัดความหนืด

ตารางที่ ก 1 มิติของแท่งกวน (หน่วย; มิลลิเมตร)

แบบแท่งกวน	A $\pm$ 1.3	B $\pm$ 0.03	C $\pm$ 0.03	D $\pm$ 0.06	E $\pm$ 1.3	F $\pm$ 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

### วิธีการทดลอง

1. เทตัวอย่างทดสอบประมาณ 500 ลูกบาศก์เซนติเมตรในบีกเกอร์
2. เลือกแท่งกวนหมายเลขต่ำสุด ประกอบเข้ากับมอเตอร์เพลลาขับเคลื่อน ประกอบเครื่องป้องกัน (guard) เข้ากับโครงมอเตอร์ของเครื่องวัดความหนืด
3. จุ่มแท่งกวนและเครื่องป้องกัน ให้ระดับผิวหน้าตัวอย่างทดสอบอยู่ตรงกับรอยบากของแท่งกวน กระระยะให้แท่งกวนอยู่ตรงกลางของบีกเกอร์ และอยู่ในแนวตั้ง
4. เลือกความเร็วรอบของเครื่องวัดความหนืดสองแบบ ดังนี้
  - 4.1 แบบ L: ใช้ความเร็ว 60 รอบ/นาที  $\pm$  0.2 รอบ/นาที
  - 4.2 แบบ R: ใช้ความเร็ว 20 รอบ/นาที  $\pm$  0.2 รอบ/นาที

5. เปิดสวิตช์มอเตอร์ให้แก่งวงหมุน อาจใช้เวลาประมาณ 20 วินาที – 30 วินาที ก่อนเกิดความสมดุล ให้ปฏิบัติตามคำแนะนำวิธีการใช้เครื่องในการอ่านค่าสเกล

### การคำนวณ

คำนวณค่าความหนืดของตัวอย่างทดสอบเป็นหน่วยมิลลิปาสคาล\*วินาที หรือ เซนติพอยส์ โดยคูณค่าที่ได้ด้วยแฟคเตอร์ที่สอดคล้องกับแบบของแก่งวงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ ก 2 แฟคเตอร์ของแก่งวง

แบบแก่งวง	แฟคเตอร์
L1	1
L2 หรือ R1	5
L3 หรือ R2	20
R3	50

\*\*\* ในที่นี้ได้ทำการทดลองหาความหนืดโดยใช้แก่งวงแบบ L1 \*\*\*

ผลการวัดได้ค่าความหนืดของน้ำยางสด คือ 11.2 เซนติพอยส์

## 2. การทดสอบความหนาแน่น

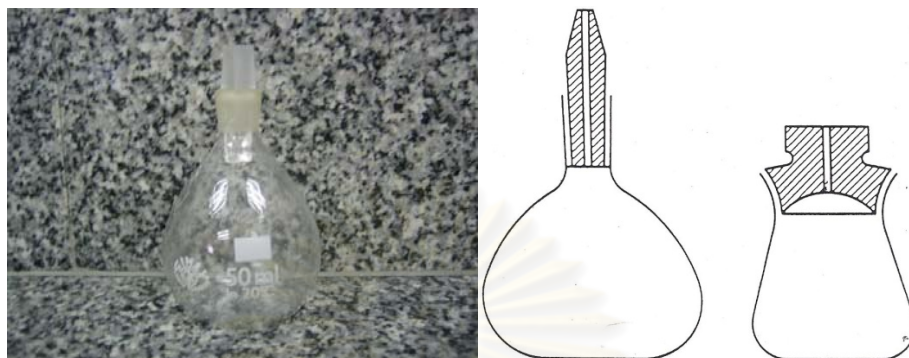
### เครื่องมือ/อุปกรณ์

1. อุปกรณ์พื้นฐานในห้องปฏิบัติการ
2. ขวดความหนาแน่น (density bottle) (พิกโนมิเตอร์, pycnometer) ความจุ 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร พร้อมจุกแก้วที่มีท่อกลวงเล็ก (รูปที่ 3.6)
3. เครื่องชั่งแบบวิเคราะห์ (analytical balance) อ่านได้ละเอียด 1 มิลลิกรัม (0.001 กรัม)

### วิธีการทดลอง

1. ชั่งขวดความหนาแน่นเปล่าพร้อมจุก บันทึกน้ำหนัก
2. เติมน้ำยางให้ล้นขวด จากนั้นปิดด้วยจุกแก้วโดยไม่ให้มีอากาศอยู่ข้างใน เช็ดภายนอกให้สะอาด นำไปชั่งน้ำหนัก
3. เทน้ำยางทิ้ง และทำความสะอาดขวดด้วยน้ำกลั่น

4. เติมน้ำกลั่นให้ล้นขวด จากนั้นปิดด้วยจุกแก้วโดยไม่ให้มีอากาศอยู่ข้างใน เช็ดภายนอกให้สะอาด นำไปชั่งน้ำหนัก
5. นำค่าที่ได้จาก 2. มาหาร 4. จะได้ความถ่วงจำเพาะของน้ำยาง



รูปที่ 3 ขวดความหนาแน่น

\*\*\* การทดลองหาความหนาแน่นของน้ำยางนี้ กำหนดให้ความหนาแน่นของน้ำคือ  $1 \text{ g/cm}^3$  \*\*\*  
ผลการวัดได้ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำยางสด คือ 0.9756 หรือประมาณ 975.6 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

### 3. การหาปริมาณความเป็นต่างในน้ำยางสด

#### หลักการ

ไตเตรทน้ำยางซึ่งมีสารช่วยน้ำยางคงตัว (stabilizer) อยู่ด้วย ให้ได้ค่า pH 6 โดยใช้สารเคมีแสดงการเปลี่ยนสี (indicator) คือ เมทิลเรด (methyl red) คำนวณค่าความเป็นต่างจากปริมาณกรดที่ใช้ในการไตเตรท

#### สารเคมี/อุปกรณ์

กำหนดให้ใช้น้ำกลั่นหรือน้ำบริสุทธิ์เทียบเท่าน้ำกลั่นในทุกขั้นตอนที่มีการใช้น้ำ

1. สารละลายช่วยให้น้ำยางคงตัว สารละลาย 5% (m/m) ของสารช่วยให้น้ำยางคงตัวพวก non-ionic เช่น ethylene oxide condensate ก่อนใช้ต้องปรับ pH ของสารละลายนี้ให้เป็น  $6.0 \pm 0.1$

สารเคมีต่อไปนี้ต้องใช้สารเคมีชนิดที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพ

2. กรดซัลฟูริกหรือกรดเกลือ (HCl) ความเข้มข้น 0.05 M

3. เมททิลเรด (Methyl red) ทำเป็นสารละลาย 0.1% ในเอทานอล 95%
4. glass electrode ชนิดซึ่งเหมาะที่จะใช้กับสารละลายที่ pH สูงถึง 12.0 ได้

### วิธีการทดลอง

เติมน้ำประมาณ 200 มิลลิลิตรลงในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร เติมสารละลายช่วยให้น้ำยาคงตัว ลงไป 10 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน แล้วเติมน้ำยาคงตัวอย่างที่ต้องการทดสอบลงไป 5 – 10 กรัม ให้ทำโดยแบ่งน้ำยาคงตัวอย่างบรรจุในขวดรูปชมพู่ขนาด 50 มิลลิลิตร ปิดจุกขวดให้สนิทนำไปชั่งให้ละเอียดถึง 10 มิลลิกรัม แล้วเทน้ำจากขวดรูปชมพู่ลงในบีกเกอร์ที่เตรียมน้ำผสมสารช่วยให้น้ำยาคงตัวไว้ ซึ่งขวดรูปชมพู่อีกครึ่งหนึ่ง น้ำหนักน้ำยาคงตัวอย่างที่ชั่งทดสอบได้จากผลต่างของการชั่งครั้งที่ 1 และ ครั้งที่ 2 เขย่าน้ำยาคงตัวอย่างให้เข้ากันดีกับน้ำแล้วนำไปไตเตรท

ไตเตรทโดยใช้เมททิลเรดเป็นตัวสังเกตจุดยุติ (indicator) เติมเมททิลเรด 3 – 5 หยด ลงในน้ำยาคงตัวอย่างที่เตรียมไว้ ในภาวะที่น้ำยาคงตัวเป็นด่างเมททิลเรดจะมีสีเหลือง เขย่าน้ำยาคงตัวอย่างและสม้ำเสมอด้วยแท่งแก้วขณะที่เติมสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก หรือกรดเกลือจากบิวเรต ตรวจสอบหาจุดยุติ โดยคอยเติมเมททิลเรด ครั้งละ 1 – 2 หยด ลงในน้ำยาคงตัวอย่าง เพื่อสังเกตสีของเมททิลเรดใน ระหว่างการเติมสารละลายกรดมาตรฐาน จุดยุติคือจุดที่สังเกตเห็นเมททิลเรดมีสีชมพู บันทึกปริมาตรกรดที่ใช้ไปตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงจุดยุติ

### การคำนวณผล

คิดเทียบจากจำนวนกรัมของแอมโมเนีย ( $\text{NH}_3$ ) ต่อ น้ำยาคง 1 กรัม ดังนี้

$$\text{ความเป็นด่าง } (\text{NH}_3 \text{ ต่อ น้ำหนักยาคง}) = \frac{(17 \times N \times V)}{(W \times 1000)} \text{ ----- (1)}$$

เมื่อ N คือ นอร์มอลลิตีของสารละลายกรดมาตรฐาน

V คือ ปริมาตรเป็นมิลลิลิตรของกรดที่ใช้

W คือ น้ำหนักเป็นกรัมของตัวอย่างน้ำยาคง

จากนั้นจึงคำนวณหาปริมาณสารละลายแอมโมเนียที่ใช้เติม ในที่นี้กำหนดมาตรฐานปริมาณแอมโมเนียที่ละลายอยู่ในน้ำยาคงจะต้องมีค่าเท่ากับ 0.0045 กรัม  $\text{NH}_3$  ต่อกรัม น้ำยาคง และสารละลายแอมโมเนียที่ใช้มีปริมาณน้ำหนัก  $\text{NH}_3$  ต่อ น้ำหนักสารละลาย เท่ากับ 0.16 กรัม  $\text{NH}_3$  ต่อกรัมสารละลาย ดังนั้นสูตรการคำนวณจึงเป็นดังนี้

$$\text{ปริมาณสารละลายแอมโมเนียที่ใช้ (g)} = (0.0045 - \text{ความเป็นด่าง}) \times 1000 \times W_T / 0.1 \text{ ----- (2)}$$

เมื่อ ความเป็นด่าง ได้จากการคำนวณก่อนหน้า



$W_T$  คือ น้ำหนักของน้ำยางสดที่ใช้ทั้งหมดในบ่อปรับคุณภาพ

#### 4. การวิเคราะห์หา %TSC เริ่มต้นในน้ำยางสด

##### เครื่องมือ/อุปกรณ์

1. อุปกรณ์พื้นฐานในห้องปฏิบัติการ
2. จานเพาะเชื้อ

##### วิธีการทดลอง

1. ชั่งน้ำยางสด 2-5 g ใส่จานเพาะเชื้อ
2. อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นทำให้เย็นใน Desiccator
3. ชั่งน้ำหนักและบันทึกน้ำหนักแห้งรวม

##### การคำนวณ

$$\%TSC = \frac{(\text{นน. ยางแห้ง} + \text{นน. จานเพาะเชื้อ}) - \text{นน. จานเพาะเชื้อ}}{\text{นน. น้ำยาง}} \times 100$$

#### 5. การวิเคราะห์หา %DRC ในน้ำยางสด

##### เครื่องมือ/อุปกรณ์

1. อุปกรณ์พื้นฐานในห้องปฏิบัติการ
2. กรดอะซิติก 5% w/v
3. ถ้วยอลูมิเนียม

##### วิธีการทดลอง

1. ชั่งน้ำยางสด 10.0 g ใส่ถ้วยอลูมิเนียม เติมกรดอะซิติก 5% จนน้ำยางจับตัวหมด
2. ทำให้ร้อนด้วยการนำไปวางบน water bath จนกระทั่งน้ำยางจับตัว
3. นำก้อนยางที่จับตัวไปรีดเป็นแผ่นบาง แล้วล้างด้วยน้ำจนแน่ใจว่าไม่มีกรดติดที่ยาง

4. อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นทำให้เย็นใน Desiccator
5. ชั่งน้ำหนักและบันทึกน้ำหนักแห้งรวม

#### การคำนวณ

$$\%DRC = (\text{น้ำหนักน้ำยางแห้ง} * 100)/10$$

#### 6. การหาปริมาณ $Mg^{2+}$ เริ่มต้นในน้ำยาง

##### สารเคมี/อุปกรณ์

1. สารละลายบัฟเฟอร์  $NH_4Cl / NH_4OH$

เตรียมโดยชั่งแอมโมเนียมคลอไรด์ ( $NH_4Cl$ ) 67.5 กรัม ละลายในน้ำ 250 ลบ.ซม. แล้วผสมกับน้ำแอมโมเนีย (ถ.พ. 0.088) 570 ลบ.ซม. เจือจางให้ส่วนผสมทั้งหมดเป็น 1 ลิตร สารละลายที่ได้ควรมี pH 10.5

2. น้ำแอมโมเนีย (ถ.พ. 0.088) ( $NH_3$  33%)

3. EDTA 0.005 โมลาร์ (M, Molar)

disodium ethylene diamine tetraacetic acid (EDTA) 1.86 กรัม ละลายในน้ำ และทำให้มีปริมาตร 1000  $cm^3$  หาความเข้มข้นที่แท้จริงโดย ไตเตรทกับสารละลายมาตรฐานแมกนีเซียม 0.005 โมลาร์ (เตรียมสารละลายมาตรฐานแมกนีเซียม โดยใช้  $Mg.SO_4.7H_2O$  1.2325 กรัม ละลายน้ำทำให้มีปริมาตร 1000  $cm^3$ )

4. สารละลายโปแตสเซียมไซยาไนด์ (KCN) 4% (น้ำหนัก / ปริมาตร)

5. อินดิเคเตอร์ Eriochrome Black T

ชั่ง Eriochrome Black T 0.3 กรัม และ โปแตสเซียมคลอไรด์ 100 กรัม บดผสมให้เข้ากัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## การหาแมกนีเซียมในน้ำยางสดที่มีแอมโมเนียและได้ปั่นแยกตะกอนเศษต่างๆออกแล้ว

(Magnesium in desludged ammoniated field latex)

### วิธีการทดลอง

1. นำน้ำยางตัวอย่างประมาณ 20 ลูกบาศก์เซนติเมตร เทลงในหลอดปั่น (conial centrifuge tube) ขนาด 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร และปั่นในเครื่องปั่น 3000 rpm ประมาณ 3 นาที แล้วใช้ปิเปตดูดน้ำยางส่วนบนใส่ปิเปกเกอร์
2. เทน้ำกลั่น 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร ลงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร
3. เติมบัฟเฟอร์ 2 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วเติมสารละลาย KCN 4 ลูกบาศก์เซนติเมตร และอินดิเคเตอร์ Eriochrome Black T 0.1 กรัม ลงผสมกับน้ำกลั่น จากข้อ 2
4. นำน้ำยางที่ปิเปตจากส่วนบนของหลอด ซึ่งเตรียมไว้แล้วจากข้อ 1 จำนวน 1 กรัม (ซึ่งอย่างละเอียดย 0.1 มิลลิกรัม) เติมลงในสารละลายที่เตรียมได้จากข้อ 3
5. ไตเตรท (ข้อ 4) ด้วยสารละลายมาตรฐาน EDTA จุดยุติคือ จุดที่มีการเปลี่ยนสีจากสีม่วงเป็นสีฟ้า

\* การหาความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน EDTA ทำโดยวิธีเดียวกับการไตเตรทน้ำยาง แต่ใช้สารละลายมาตรฐาน Mg จำนวน 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร แทนน้ำยาง ทำซ้ำ 3 ครั้ง แล้วคำนวณความเข้มข้นที่แท้จริงของ EDTA โดยสูตร  $N_1V_1 = N_2V_2$  ( $N_1$  = ความเข้มข้น  $MgSO_4$ ,  $V_1$  = ปริมาณ  $MgSO_4$  (10 ลูกบาศก์เซนติเมตร),  $V_2$  = ปริมาณ EDTA ที่ใช้ไตเตรทและ  $N_2$  คือ ความเข้มข้นของ EDTA ที่ต้องทราบ)

\* ในการไตเตรทน้ำยางกับ EDTA โดยมีโปแตสเซียมไซยาไนด์ และ Eriochrome Black T เป็นอินดิเคเตอร์นั้น เป็นการไตเตรทหาปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียม อย่างไรก็ตาม ปกติในน้ำยางจะมีปริมาณของแคลเซียมอยู่ส่วนน้อย เมื่อเทียบกับปริมาณของแมกนีเซียม ดังนั้นเมื่อจะใช้วิธีการไตเตรทดังกล่าว เพื่อการควบคุมการผลิตปริมาณ EDTA ที่ใช้ไตเตรทจึงอาจถือว่าเป็นปริมาณที่ใช้ไตเตรทแมกนีเซียม เพียงอย่างเดียวได้

สมการที่ใช้ในการคำนวณหา

$$\text{ปริมาณของ } Mg^{2+} \text{ ต่อน้ำหนักของ TSC (ppm)} = \frac{(N \times V) \times 24.31 \times 100,000}{W \times (\%TSC)} \text{ ----- (3)}$$

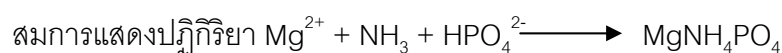
เมื่อ N คือ ความเข้มข้นของ EDTA (โมลต่อลิตร)

V คือ ปริมาตรของ EDTA ที่ใช้ (มิลลิลิตร)

W คือ น้ำหนักเป็นกรัมของตัวอย่างน้ำยาง (g)

%TSC คือ ร้อยละโดยมวลของ Total solid content ในน้ำยางสด

อธิบายการเติม DAHP ลงในน้ำยางสด เพื่อลดปริมาณ  $Mg^{2+}$



ให้ X แทน ปริมาณ  $Mg^{2+}$  ที่ต้องการกำจัดออก

$$Mg^{2+} \text{ จำนวน } 24.31 \text{ g ทำปฏิกิริยาพอดีกับ } HPO_4^{2-} \text{ จำนวน } \frac{132.06}{2} \text{ g}$$

$$Mg^{2+} \text{ จำนวน } X - 170 \text{ ppm ทำปฏิกิริยาพอดีกับ } HPO_4^{2-} \text{ จำนวน } \frac{132.06 \times (X - 170)}{2 \times 24.31} \text{ ppm}$$

$$\text{น้ำยางสด } 1 \text{ ตัน ใช้ DAHP จำนวน } \frac{132.06 \times (X - 170)}{2 \times 24.31} \text{ g}$$

$$\text{น้ำยางสด } W_T \text{ ตัน ใช้ DAHP จำนวน } \frac{132.06 \times (X - 170) \times W_T}{2 \times 24.31} \text{ g หรือ}$$

$$\frac{132.06 \times (X - 170) \times W_T}{2 \times 24.31 \times 1000} \text{ kg}$$

สำหรับการเตรียมสารละลาย DAHP 10%

DAHP 10 kg เตรียมเป็นสารละลาย 100 kg

$$\text{DAHP } \frac{132.06 \times (X - 170) \times W_T}{2 \times 24.31 \times 1000} \text{ kg เตรียมเป็นสารละลาย}$$

$$\frac{132.06 \times (X - 170) \times W_T \times 100}{2 \times 24.31 \times 1000 \times 10} = 0.02716 \times (X - 170) \times W_T \text{ kg}$$

ดังนั้นสามารถคำนวณหาปริมาณ DAHP ที่ต้องเติมในน้ำยางสดได้จากสูตร ดังนี้

$$\text{ปริมาณ DAHP ที่เติม} = 0.02716 \times (X - 170) \times W_T \quad (\text{Kg}) \text{ ----- (4)}$$

เมื่อ  $X$  คือ ปริมาณเริ่มต้นของ  $\text{Mg}^{2+}$  ต่อ TSC เริ่มต้น (ppm)

$W_T$  คือ น้ำหนักของน้ำยางสดที่ใช้ทั้งหมด (ตัน)

## 7. การหาปริมาณ $\text{Mg}^{2+}$ ที่เหลือในน้ำยางสด

วิธีการทดลองเป็นวิธีเดียวกันกับการหาปริมาณ  $\text{Mg}^{2+}$  เริ่มต้นในน้ำยางสด เพียงแต่น้ำยางสดที่ใช้จะเป็นน้ำยางสดหลังจากการเติม DAHP ลงไปแล้ว เป็นการหาปริมาณ  $\text{Mg}^{2+}$  ที่เหลือในน้ำยางสดหลังจากเติม DAHP ลงไปทำปฏิกิริยา  $\text{Mg}^{2+}$  ส่วนหนึ่งกลายเป็นชีแปงแล้ว

## 8. การหาปริมาณสลัดจ์

ที่ผ่านมามีปัญหาในการหาปริมาณสลัดจ์ เนื่องจากการแยกสลัดจ์ตามวิธีของโรงงาน โดยการเหวี่ยงมัก มีอนุภาคยางติดมากับสลัดจ์ทำให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อน จึงได้เปลี่ยนวิธีการทดลองใหม่เป็นการกรองแทน

การหาปริมาณสลัดจ์ เริ่มจาก นำน้ำยาง 150 กรัม เติมสารละลายแอมโมเนีย-แอลกอฮอล์ 150 มิลลิลิตร กรองผ่านผ้ากรองขนาด 35 ไมครอน โดยใช้ปั๊มสุญญากาศช่วยกรอง ล้างสลัดจ์ด้วยสารละลายแอมโมเนีย-แอลกอฮอล์ อบสลัดจ์ให้แห้งจนได้น้ำหนักคงที่ แล้วนำมาคำนวณจากสูตร

$$\text{ปริมาณสลัดจ์(ppm)} = (\text{น้ำหนักสลัดจ์ที่อบแห้งแล้ว} / \text{น้ำหนักน้ำยางตัวอย่าง}) \times 1000000$$

## สารเคมี/อุปกรณ์

สารละลายแอลกอฮอล์ประกอบด้วยสารเหล่านี้

1. แอมโมเนียไฮดรอกไซด์, ความหนาแน่น  $0.90 \pm 0.02 \text{ g/ml}$  (25%) 10 ml
2. เอทานอล 95% (ปริมาตร/ปริมาตร) 340 มล.
3. น้ำกลั่นเติมจนได้ปริมาตร 1000 มล.
4. เครื่องกรองสุญญากาศ

## วิธีการทดลอง

1. ชั่งน้ำยางสด 50 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลายแอมโมเนีย-แอลกอฮอล์ 100 มิลลิลิตร แล้วคนผสมให้เข้ากัน
3. เทผ่านผ้ากรองขนาด 35 ไมครอน โดยใช้ปั๊มสุญญากาศช่วยกรอง โดยในระหว่างการกรอง ล้างสลัดจ์ด้วยสารละลายแอมโมเนีย-แอลกอฮอล์เรื่อยๆ (100 มิลลิลิตร) เพื่อช่วยให้ยางกับสลัดจ์แยกตัวออกจากกัน
4. นำผ้ากรองที่มีสลัดจ์ติดอยู่ใส่ในจานเพาะเชื้อที่ชั่งน้ำหนักแล้ว
5. นำไปอบที่อุณหภูมิ  $70 \pm 2$  องศาเซลเซียส จนของเหลวระเหยแห้งหมด
6. ชั่งน้ำหนักจานเพาะเชื้อสลัดจ์ที่อบแห้งแล้ว

$$\text{ปริมาณสลัดจ์(ppm)} = (\text{น้ำหนักสลัดจ์ที่อบแห้งแล้ว} / \text{น้ำหนักน้ำยางตัวอย่าง}) * 1000000 \text{ ----- (5)}$$



รูปที่ ก 4 เครื่องกรองสุญญากาศที่ใช้ทดสอบหาปริมาณสลัดจ์

## 9. การทดสอบความคงตัวเชิงกล (Mechanical Stability Time)

ความคงตัวของน้ำยางเชิงกล หมายถึง ความเสถียรของน้ำยางต่ออิทธิพลทางกล คือการปั่นกวนได้สถานะที่ควบคุม ซึ่งเมื่อน้ำยางเสียความคงตัว อนุภาคยางจะเริ่มเกาะ หรือจับตัวเป็นเม็ดละเอียด

## ขอบเขต

วิธีนี้ใช้สำหรับทดสอบความคงตัวของยางชั้นจากยางพารา และน้ำยางชั้นคงรูปบางส่วนที่จะใช้กับน้ำยางที่รักษาสภาพด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ น้ำยางจากพืชชนิดอื่น น้ำยางผสม (compounded latex) น้ำยางสังเคราะห์ (synthetic rubber latex) และน้ำยางเทียม (artificial of rubber)

## วิธีการ

เจาะจางตัวอย่างทดสอบให้มีปริมาณของแข็งทั้งหมดประมาณร้อยละ 55 (m/m) ใช้เครื่องกวนความเร็ว จับเวลาเมื่อตัวอย่างทดสอบเริ่มจับตัวเป็นเม็ด

## สารเคมี

- 1 ใช้เฉพาะสารเคมีชนิดคุณภาพวิเคราะห์ และน้ำกลั่นหรือน้ำบริสุทธิ์เทียบเท่าน้ำกลั่น
- 2 สารละลายแอมโมเนีย (ammonia solution)
  - 2.1 ความเข้มข้น 1.6% (m/m) สำหรับใช้กับตัวอย่างทดสอบที่มีความเป็นด่างมากกว่าร้อยละ 0.3
  - 2.2 ความเข้มข้น 0.6% (m/m) สำหรับใช้กับตัวอย่างทดสอบที่มีความเป็นด่างน้อยกว่าร้อยละ 0.3

## เครื่องมือ/อุปกรณ์

1. อุปกรณ์พื้นฐานในห้องปฏิบัติการ
2. เครื่องชั่ง (balance) ละเอียด 0.1 g
3. เครื่องวัดความคงตัวเชิงกล (mechanical stability measuring apparatus)
  - 3.1 ภาชนะทรงกระบอกก้นแบน (Latex container) มีความสูงไม่น้อยกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 58 มิลลิเมตร±1 มิลลิเมตร ผิวภายในเรียบ
  - 3.2 เครื่องกวน (stirring apparatus) ประกอบด้วยก้านสแตนเลสปลายแหลมเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 6.3 มิลลิเมตร และมีแผ่นสแตนเลสเส้นผ่านศูนย์กลาง 20.83 มิลลิเมตร±0.03 มิลลิเมตร หนา 1.57 มิลลิเมตร ติดอยู่กับศูนย์กลางของปลายก้าน ก้านสแตนเลสนี้จะต้องไม่แกว่ง

ออกไปมากกว่า 0.25 มิลลิเมตร เมื่อเครื่องต้องทำงานที่ระดับ 14000 รอบ/นาที $\pm$ 200 รอบ/นาที ตลอดการทดสอบ

3.3 ตัวยึด (holder) สำหรับยึดภาชนะ (3.1) ให้อยู่ในตำแหน่งที่แผ่นสเตนเลสมีระยะห่างจากผิวในของก้นภาชนะ 13 มิลลิเมตร $\pm$ 1 มิลลิเมตร

4. อุปกรณ์ให้ความร้อน

4.1 อ่างน้ำ (water bath) ควบคุมอุณหภูมิได้ระหว่าง 60 องศาเซลเซียส ถึง 80 องศาเซลเซียสหรือ

4.2 ท่อแก้ว (glass tube) ขัดให้มีรูปร่างเหมาะสม ใช้น้ำที่อุณหภูมิระหว่าง 60 องศาเซลเซียส ถึง 80 องศาเซลเซียส หมุนเวียนในท่อ

5. แผ่นกรองสเตนเลส (wire cloth) ความกว้างของช่อง 180 ไมโครเมตร ที่สอดคล้องกับมาตรฐาน ISO 3310-1

6. นาฬิกาจับเวลา (stop watch) ละเอียด 1 วินาที

## วิธีการ

1. ทดสอบปริมาณของแข็งทั้งหมด และความเป็นต่างของตัวอย่างทดสอบ

2. ทดสอบความคงตัวเชิงกลภายใน 24 ชั่วโมงหลังจากเปิดภาชนะตัวอย่างสำหรับทดลอง

2.1 ชั่งตัวอย่างทดสอบประมาณ 100 g ในปิเก็ตเจอร์

2.2 เจือจางให้มีปริมาณของแข็งทั้งหมด 55% (m/m)  $\pm$  0.2% ด้วยสารละลายแอมโมเนีย

2.3 อุ่นทันทีให้ได้อุณหภูมิ 36 องศาเซลเซียส ถึง 37 องศาเซลเซียส ด้วยอุปกรณ์ให้ความร้อน พร้อมกวนช้าๆ

2.4 กรองด้วยแผ่นกรอง ลงในภาชนะที่เตรียมไว้ พร้อมชั่งน้ำหนักตัวอย่างทดสอบ 80 g  $\pm$  0.5 g

2.5 ตรวจอุณหภูมิตัวอย่างทดสอบให้ได้ 35 องศาเซลเซียส ( $\pm$ 1 องศาเซลเซียส) ก่อนวางภาชนะที่มีตัวอย่างทดสอบในเครื่องวัดความคงตัวเชิงกล (3) ตามตำแหน่งที่กำหนด

2.6 เปิดสวิทช์เครื่องกวน พร้อมเริ่มจับเวลาทำงานให้เครื่องกวนทำงานด้วยความเร็ว 14000 รอบ/นาที  $\pm$ 200 ต่อนาที ตลอดการทดสอบ

2.7 ก่อนถึงจุดยุติ ระดับตัวอย่างทดสอบรอบแกนจะลดลง ตรวจจุดยุติโดยทุก 15 วินาที ใช้แท่งแก้วจุ่มตัวอย่างทดสอบ แล้วทำให้กระจายบนผิวที่เหมาะสม เช่น ฝ่ามือ ผิวหน้า หรือแผ่นกรอง (5) จุดยุติ คือเวลาที่เริ่มเห็นการจับตัวเป็นเม็ดครั้งแรก ยืนยันโดยการจุ่มซ้ำภายใน 15 วินาที ปริมาณการจับตัวเป็นเม็ดเพิ่มขึ้น



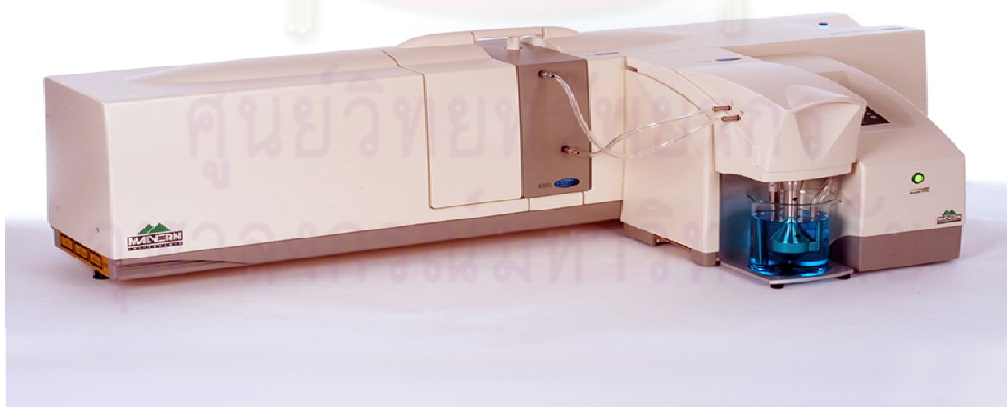
3. ผลการทดสอบสองซ้ำต่างกันได้ไม่เกินร้อยละ 5 ของค่าเฉลี่ย



รูปที่ ก 5 เครื่องทดสอบความคงตัวเชิงกล (Determination of Mechanical Stability) ของน้ำยาง

10. การวัดขนาดอนุภาคของน้ำยางสด (Particle Size)

วัดขนาดอนุภาคของน้ำยางสดโดยใช้เครื่องวัดขนาดอนุภาค (Mastersizer) ของบริษัท Malvern รุ่น S long bed ver. 2.19



รูปที่ ก 6 เครื่องวัดขนาดอนุภาคของน้ำยางสด (Mastersizer)

## 11. การหา %การกักเก็บ (% Rejection)

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

$C_p$  คือค่าความเข้มข้นในสายเพอร์มิเอต (% DRC สายเพอร์มิเอต)

$C_b$  คือค่าความเข้มข้นทางสายป้อน (% DRC สายป้อน)



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ข

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข 1 ผลของเวลาและความเร็วรอบที่ 30 rpm ต่อความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่เหลือของ  
แต่ละตำแหน่ง  
ตัวกวนแบบเก่า

ความเข้มข้นแมกนีเซียมเริ่มต้น (TSC = 32%)

น้ำยางสด(g)	EDTA(ml)	ความเข้มข้นของ แมกนีเซียม(ppm)	เฉลี่ย
3.31	4.9	562.3	545.4
3.45	4.8	528.5	

เวลา(นาที)	ตำแหน่ง ที่	น้ำยางสด (g)	EDTA(ml)	ความเข้มข้นของแมกนีเซียม (ppm)
5	1	3.31	1.5	172.1
	2	3.45	1.7	187.2
	3	3.11	1.4	171.0
10	1	3.42	1.5	166.6
	2	3.23	1.5	176.4
	3	3.44	1.5	165.6
20	1	3.52	1.5	161.9
	2	3.43	1.5	166.1
	3	3.13	1.3	157.8
30	1	3.34	1.4	159.2
	2	3.52	1.5	161.9
	3	3.21	1.3	153.8
40	1	3.42	1.4	155.5
	2	3.59	1.5	158.7
	3	3.64	1.4	146.1

ตาราง ข 2 ผลของเวลาและความเร็วรอบที่ 40 rpm ต่อความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่เหลือของ  
แต่ละตำแหน่ง

ตัวกวนแบบเก่า

ความเข้มข้นแมกนีเซียมเริ่มต้น (TSC = 32%)

น้ำยางสด(g)	EDTA(ml)	ความเข้มข้นของ แมกนีเซียม(ppm)	เฉลี่ย
3.31	4.9	562.3	545.4
3.45	4.8	528.5	

เวลา(นาที)	ตำแหน่ง ที่	น้ำยางสด (g)	EDTA(ml)	ความเข้มข้นของแมกนีเซียม (ppm)
5	1	3.31	1.4	160.7
	2	3.45	1.5	165.1
	3	3.11	1.3	158.8
10	1	3.42	1.4	155.5
	2	3.25	1.4	163.6
	3	3.64	1.4	146.1
20	1	3.40	1.3	145.2
	2	3.62	1.5	157.4
	3	3.55	1.3	139.1
30	1	3.56	1.3	138.7
	2	3.36	1.3	147.0
	3	3.46	1.2	131.7
40	1	3.73	1.3	132.4
	2	3.53	1.3	139.9
	3	3.25	1.1	128.6

ตาราง ข 3 ผลของเวลาและความเร็วรอบที่ 50 rpm ต่อความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่เหลือของแต่ละตำแหน่ง  
ตัวกวนแบบเก่า

ความเข้มข้นแมกนีเซียมเริ่มต้น (TSC = 32%)

น้ำยางสด(g)	EDTA(ml)	ความเข้มข้นของแมกนีเซียม(ppm)	เฉลี่ย
3.31	4.5	516.4	511.4
3.45	4.6	506.5	

เวลา(นาที)	ตำแหน่งที่	น้ำยางสด(g)	EDTA(ml)	ความเข้มข้นของแมกนีเซียม(ppm)
5	1	3.42	1.4	155.5
	2	3.25	1.4	163.6
	3	3.35	1.3	147.4
10	1	3.66	1.4	145.3
	2	3.23	1.3	152.9
	3	3.54	1.3	139.5
20	1	3.42	1.2	133.3
	2	3.33	1.3	148.3
	3	3.63	1.2	125.6
30	1	3.34	1.1	125.1
	2	3.52	1.3	140.3
	3	3.21	1.0	118.3
40	1	3.42	1.0	111.1
	2	3.59	1.3	137.5
	3	3.64	1.0	104.4

ตาราง ข 4 ผลของเวลาและความเร็วรอบที่ 60 rpm ต่อความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่เหลือของแต่ละตำแหน่ง  
ตัวกวนแบบเก่า

ความเข้มข้นแมกนีเซียมเริ่มต้น (TSC = 32%)

น้ำยางสด(g)	EDTA(ml)	ความเข้มข้นของแมกนีเซียม(ppm)	เฉลี่ย
3.31	4.5	516.4	511.4
3.45	4.6	506.5	

เวลา(นาที)	ตำแหน่งที่	น้ำยางสด(g)	EDTA(ml)	ความเข้มข้นของแมกนีเซียม(ppm)
5	1	3.41	1.5	167.1
	2	3.32	1.5	171.6
	3	3.53	1.5	161.4
10	1	3.84	1.6	158.3
	2	3.42	1.5	166.6
	3	3.51	1.4	151.5
20	1	3.64	1.4	146.1
	2	3.53	1.5	161.4
	3	3.52	1.3	140.3
30	1	3.55	1.3	139.1
	2	3.54	1.4	150.2
	3	3.74	1.3	132.0
40	1	3.71	1.2	122.9
	2	3.43	1.3	144.0
	3	3.52	1.1	118.7

ตาราง ข 5 ผลของเวลาและความเร็วรอบที่ 30 rpm ต่อความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่เหลือของแต่ละตำแหน่ง  
ตัวกวนแบบใหม่

ความเข้มข้นแมกนีเซียมเริ่มต้น (TSC = 32%)

น้ำยางสด(g)	EDTA(ml)	ความเข้มข้นของแมกนีเซียม (ppm)	เฉลี่ย
4.20	6.6	600.2	587.99
4.51	6.8	575.8	

เวลา(นาที)	ตำแหน่งที่	น้ำยางสด(g)	EDTA(ml)	ความเข้มข้นของแมกนีเซียม(ppm)
5	1	3.09	0.5	61.46
	2	3.23	0.6	70.56
	3	3.30	0.5	57.55
10	1	3.16	0.5	60.10
	2	3.44	0.6	66.25
	3	3.36	0.5	56.52
20	1	3.92	0.6	58.14
	2	3.53	0.6	64.56
	3	3.60	0.5	52.76
30	1	3.49	0.5	54.42
	2	3.61	0.6	63.13
	3	3.65	0.5	52.03
40	1	3.72	0.5	51.05
	2	3.65	0.6	62.44
	3	3.76	0.5	50.51



ตาราง ข 6 ผลของเวลาและความเร็วรอบที่ 40 rpm ต่อความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่เหลือของแต่ละตำแหน่ง

ตัวกวนแบบใหม่

ความเข้มข้นแมกนีเซียมเริ่มต้น (TSC = 32%)

น้ำยางสด(g)	EDTA(ml)	ความเข้มข้นของแมกนีเซียม (ppm)	เฉลี่ย
3.55	5.5	591.7	586.19
3.42	5.2	580.7	

เวลา(นาที)	ตำแหน่งที่	น้ำยางสด (g)	EDTA(ml)	ความเข้มข้นของแมกนีเซียม (ppm)
5	1	3.74	0.6	60.94
	2	3.29	0.6	69.27
	3	3.37	0.5	56.36
10	1	3.29	0.5	57.73
	2	3.55	0.6	64.20
	3	3.48	0.5	54.58
20	1	3.44	0.5	55.21
	2	3.65	0.6	62.44
	3	3.59	0.5	52.90
30	1	3.59	0.5	52.90
	2	3.79	0.6	60.13
	3	3.73	0.5	50.92
40	1	3.10	0.4	49.01
	2	3.49	0.5	54.42
	3	3.21	0.4	47.33

ตาราง ข 7 ผลของเวลาและความเร็วรอบที่ 50 rpm ต่อความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่เหลือของแต่ละตำแหน่ง  
ตัวกวนแบบใหม่

ความเข้มข้นแมกนีเซียมเริ่มต้น (TSC = 32%)

น้ำยางสด (g)	EDTA(ml)	ความเข้มข้นของแมกนีเซียม (ppm)	เฉลี่ย
3.19	4.9	580.1	586.98
3.18	5.0	593.8	

เวลา(นาที)	ตำแหน่งที่	น้ำยางสด (g)	EDTA(ml)	ความเข้มข้นของแมกนีเซียม (ppm)
5	1	3.49	0.4	43.54
	2	3.58	0.5	53.05
	3	3.70	0.4	41.06
10	1	3.71	0.4	40.95
	2	3.11	0.4	48.85
	3	3.84	0.4	39.57
20	1	3.85	0.4	39.46
	2	3.37	0.4	45.09
	3	3.97	0.4	38.27
30	1	3.08	0.3	37.00
	2	3.49	0.4	43.54
	3	3.09	0.3	36.88
40	1	3.28	0.3	34.74
	2	3.55	0.4	42.80
	3	3.34	0.3	34.12

ตาราง ข 8 ผลของเวลาและความเร็วรอบที่ 60 rpm ต่อความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่เหลือของแต่ละตำแหน่ง  
ตัวกวนแบบใหม่

ความเข้มข้นแมกนีเซียมเริ่มต้น (TSC = 32%)

น้ำยางสด(g)	EDTA(ml)	ความเข้มข้น ของ แมกนีเซียม (ppm)	เฉลี่ย
4.20	6.8	611.5	608.81
4.05	6.5	606.1	

เวลา(นาที)	ตำแหน่งที่	น้ำยางสด(g)	EDTA(ml)	ความเข้มข้นของแมกนีเซียม (ppm)
5	1	3.13	0.4	48.54
	2	3.42	0.5	55.53
	3	3.41	0.4	44.56
10	1	3.57	0.4	42.56
	2	3.69	0.5	51.47
	3	3.64	0.4	41.74
20	1	3.77	0.4	40.30
	2	3.15	0.4	48.23
	3	3.89	0.4	39.06
30	1	3.95	0.4	38.47
	2	3.29	0.4	46.18
	3	3.98	0.4	38.18
40	1	3.97	0.4	38.27
	2	3.43	0.4	44.30
	3	3.99	0.4	38.08

ตาราง ข 9 ผลของเวลาและความเร็วรอบที่ 30 rpm ต่อปริมาณสัลดจ์ของแต่ละตำแหน่ง  
ตัวถวนแบบเก่า

เวลา (นาที)	ตำแหน่ง	น้ำหนักน้ำ ยาง(g)	น้ำหนักผ้า กรอง(g)	น้ำหนักสัลดจ์+ ผ้ากรอง(g)	น้ำหนักสัลดจ์ แห้ง(g)	ปริมาณสัลดจ์ (ppm)
5	1	50.34	0.5575	0.6123	0.0548	1088.60
	2	50.45	0.5432	0.5943	0.0511	1012.88
	3	50.53	0.5342	0.5897	0.0555	1098.36
10	1	50.35	0.5532	0.6103	0.0571	1134.06
	2	50.24	0.5312	0.5839	0.0527	1048.96
	3	50.64	0.5275	0.5857	0.0582	1149.29
20	1	50.23	0.5312	0.5912	0.06	1194.51
	2	50.42	0.5423	0.5992	0.0569	1128.52
	3	50.84	0.5459	0.6078	0.0619	1217.55
30	1	50.52	0.5309	0.5941	0.0632	1250.99
	2	50.85	0.5342	0.5941	0.0599	1177.97
	3	50.57	0.5534	0.6183	0.0649	1283.37
40	1	50.35	0.5543	0.6209	0.0666	1322.74
	2	50.34	0.5352	0.5991	0.0639	1269.37
	3	50.45	0.5267	0.5973	0.0706	1399.41

ตาราง ข 10 ผลของเวลาและความเร็วรอบที่ 40 rpm ต่อปริมาณสลัดจ์ของแต่ละตำแหน่ง  
ตัวถวนแบบเก่า

เวลา (นาที)	ตำแหน่ง	น้ำหนักน้ำ ยาง(g)	น้ำหนักผ้า กรอง(g)	น้ำหนักสลัดจ์+ ผ้ากรอง(g)	น้ำหนักสลัดจ์ แห้ง(g)	ความเข้มข้น sludge(ppm)
5	1	50.23	0.5523	0.6106	0.0583	1160.66
	2	50.21	0.5453	0.5982	0.0529	1053.57
	3	50.42	0.5325	0.5916	0.0591	1172.15
10	1	50.64	0.5453	0.6065	0.0612	1208.53
	2	50.32	0.5632	0.6182	0.0550	1093.00
	3	50.64	0.5325	0.5954	0.0629	1242.10
20	1	50.48	0.5379	0.6065	0.0686	1358.95
	2	50.61	0.5278	0.5852	0.0574	1134.16
	3	50.23	0.5376	0.6079	0.0703	1399.56
30	1	50.36	0.5467	0.6225	0.0758	1505.16
	2	50.74	0.5348	0.5971	0.0623	1227.83
	3	50.26	0.5463	0.6254	0.0791	1573.82
40	1	50.37	0.5521	0.6363	0.0842	1671.63
	2	50.83	0.5389	0.6059	0.0670	1318.12
	3	50.45	0.5482	0.6347	0.0865	1714.57

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข 11 ผลของเวลาและความเร็วรอบที่ 50 rpm ต่อปริมาณสลัดจ์ของแต่ละตำแหน่ง  
ตัวถวนแบบเก่า

เวลา (นาที)	ตำแหน่ง	น้ำหนักน้ำ ยาง(g)	น้ำหนักผ้า กรอง(g)	น้ำหนักสลัดจ์+ ผ้ากรอง(g)	น้ำหนักสลัดจ์ แห้ง(g)	ความเข้มข้น sludge(ppm)
5	1	50.42	0.5585	0.6203	0.0618	1225.70
	2	50.35	0.5452	0.5996	0.0544	1080.44
	3	50.74	0.5234	0.5901	0.0667	1314.54
10	1	50.43	0.5345	0.6024	0.0679	1346.42
	2	50.25	0.5643	0.6213	0.0570	1134.33
	3	50.64	0.5647	0.6361	0.0714	1409.95
20	1	50.52	0.5315	0.6069	0.0754	1492.48
	2	50.24	0.5252	0.5851	0.0599	1192.28
	3	50.34	0.5356	0.6154	0.0798	1585.22
30	1	50.42	0.5376	0.6199	0.0823	1632.29
	2	50.46	0.5536	0.6191	0.0655	1298.06
	3	50.53	0.5426	0.6297	0.0871	1723.73
40	1	50.63	0.5642	0.6544	0.0902	1781.55
	2	50.34	0.5342	0.6067	0.0725	1440.21
	3	50.25	0.5463	0.6418	0.0955	1900.50

ตาราง ข 12 ผลของเวลาและความเร็วรอบที่ 60 rpm ต่อปริมาณสลัดจ์ของแต่ละตำแหน่ง  
ตัวถวนแบบเก่า

เวลา (นาที)	ตำแหน่ง	น้ำหนักน้ำ ยาง(g)	น้ำหนักผ้า กรอง(g)	น้ำหนักสลัดจ์+ ผ้ากรอง(g)	น้ำหนักสลัดจ์ แห้ง(g)	ความเข้มข้น sludge(ppm)
5	1	50.52	0.5442	0.6001	0.0559	1106.49
	2	50.34	0.5485	0.5991	0.0506	1005.16
	3	50.36	0.5663	0.6272	0.0609	1209.29
10	1	50.64	0.5427	0.6032	0.0605	1194.71
	2	50.46	0.5345	0.5874	0.0529	1048.36
	3	50.37	0.5423	0.6068	0.0645	1280.52
20	1	50.36	0.5534	0.6201	0.0667	1324.46
	2	50.35	0.5563	0.6149	0.0586	1163.85
	3	50.52	0.5647	0.6348	0.0701	1387.57
30	1	50.42	0.5526	0.6255	0.0729	1445.85
	2	50.36	0.5635	0.6269	0.0634	1258.94
	3	50.26	0.5646	0.6418	0.0772	1536.01
40	1	50.46	0.5457	0.6251	0.0794	1573.52
	2	50.52	0.5524	0.6201	0.0677	1340.06
	3	50.26	0.5462	0.6336	0.0874	1738.96

ตาราง ข 13 ผลของเวลาและความเร็วรอบที่ 30 rpm ต่อปริมาณสลัดจ์ของแต่ละตำแหน่ง  
ตัวถวนแบบใหม่

เวลา (นาที)	ตำแหน่ง	น้ำหนักน้ำ ยาง(g)	น้ำหนักผ้า กรอง(g)	น้ำหนักสลัดจ์+ ผ้ากรอง(g)	น้ำหนักสลัดจ์ แห้ง(g)	ความเข้มข้น sludge(ppm)
5	1	50.34	0.5575	0.6468	0.0893	1773.94
	2	50.16	0.5552	0.6384	0.0832	1658.69
	3	50.04	0.5482	0.6387	0.0905	1808.55
10	1	50.88	0.5442	0.6368	0.0926	1819.97
	2	50.51	0.5435	0.6285	0.085	1682.84
	3	50.52	0.5475	0.6428	0.0953	1886.38
20	1	50.24	0.5331	0.6295	0.0964	1918.79
	2	50.09	0.5592	0.6501	0.0909	1814.73
	3	50.41	0.5459	0.6512	0.1053	2088.87
30	1	50.89	0.5312	0.6333	0.1021	2006.29
	2	50.44	0.5306	0.6257	0.0951	1885.41
	3	50.4	0.5409	0.6505	0.1096	2174.60
40	1	50.18	0.5371	0.6465	0.1094	2180.15
	2	50.44	0.5359	0.6338	0.0979	1940.92
	3	50.93	0.5318	0.6478	0.116	2277.64



ตาราง ข 14 ผลของเวลาและความเร็วรอบที่ 40 rpm ต่อปริมาณสลัดจ์ของแต่ละตำแหน่ง  
ตัวถวนแบบใหม่

เวลา (นาที)	ตำแหน่ง	น้ำหนักน้ำ ยาง(g)	น้ำหนักผ้า กรอง(g)	น้ำหนักสลัดจ์+ ผ้ากรอง(g)	น้ำหนักสลัดจ์ แห้ง(g)	ความเข้มข้น sludge(ppm)
5	1	50.48	0.5371	0.6292	0.0921	1824.48
	2	50.89	0.538	0.6246	0.0866	1701.71
	3	50.72	0.5385	0.6347	0.0962	1896.69
10	1	50.58	0.5393	0.6361	0.0968	1913.80
	2	50.31	0.539	0.6278	0.0888	1765.06
	3	50.72	0.5435	0.6498	0.1063	2095.82
20	1	50.19	0.5435	0.6524	0.1089	2169.75
	2	50.98	0.5592	0.6540	0.0948	1859.55
	3	50.96	0.553	0.6705	0.1175	2305.73
30	1	50.08	0.5385	0.6511	0.1126	2248.40
	2	50.72	0.5509	0.6479	0.0970	1912.46
	3	50.59	0.5369	0.6650	0.1281	2532.12
40	1	50.82	0.5251	0.6453	0.1202	2365.21
	2	50.93	0.5129	0.6198	0.1069	2098.96
	3	50.91	0.5369	0.6698	0.1329	2610.49

ตาราง ข 15 ผลของเวลาและความเร็วรอบที่ 50 rpm ต่อปริมาณสลัดจ์ของแต่ละตำแหน่ง  
ตัวถวนแบบใหม่

เวลา (นาที)	ตำแหน่ง	น้ำหนักน้ำ ยาง(g)	น้ำหนักผ้า กรอง(g)	น้ำหนักสลัดจ์+ ผ้ากรอง(g)	น้ำหนักสลัดจ์ แห้ง(g)	ความเข้มข้น sludge(ppm)
5	1	50.65	0.521	0.6298	0.1088	2148.08
	2	50.98	0.5429	0.6393	0.0964	1890.94
	3	50.82	0.527	0.6508	0.1238	2436.05
10	1	50.85	0.5324	0.6520	0.1196	2352.02
	2	50.82	0.5388	0.6415	0.1027	2020.86
	3	50.93	0.5362	0.6743	0.1381	2711.56
20	1	50.82	0.5402	0.6951	0.1549	3048.01
	2	50.42	0.5427	0.6611	0.1184	2348.27
	3	50.96	0.536	0.6993	0.1633	3204.47
30	1	50.98	0.5337	0.7259	0.1922	3770.11
	2	50.82	0.5405	0.6832	0.1427	2807.95
	3	50.75	0.5366	0.7303	0.1937	3816.75
40	1	50.37	0.5282	0.7520	0.2238	4443.12
	2	50.59	0.5285	0.7219	0.1934	3822.89
	3	50.72	0.5404	0.7712	0.2308	4550.47

ตาราง ข 16 ผลของเวลาและความเร็วรอบที่ 60 rpm ต่อปริมาณสลัดจ์ของแต่ละตำแหน่ง  
ตัวถวนแบบใหม่

เวลา (นาที)	ตำแหน่ง	น้ำหนักน้ำ ยาง(g)	น้ำหนักผ้า กรอง(g)	น้ำหนักสลัดจ์+ ผ้ากรอง(g)	น้ำหนักสลัดจ์ แห้ง(g)	ความเข้มข้น sludge(ppm)
5	1	50.45	0.541	0.6416	0.1006	1994.05
	2	50.65	0.5367	0.6276	0.0909	1794.67
	3	50.23	0.523	0.6332	0.1102	2193.91
10	1	50.71	0.534	0.6409	0.1069	2108.07
	2	50.85	0.535	0.6305	0.0955	1878.07
	3	50.62	0.5375	0.6529	0.1154	2279.73
20	1	50.51	0.5315	0.6494	0.1179	2334.19
	2	50.6	0.542	0.6455	0.1035	2045.45
	3	50.49	0.5385	0.6684	0.1299	2572.79
30	1	50.23	0.5375	0.6663	0.1288	2564.20
	2	50.12	0.541	0.6539	0.1129	2252.59
	3	50.21	0.5382	0.6739	0.1357	2702.65
40	1	50.81	0.5485	0.6964	0.1479	2910.84
	2	50.92	0.538	0.6587	0.1207	2370.38
	3	50.7	0.5257	0.6823	0.1566	3088.76

ตาราง ข 17 ผลของการตั้งน้ำยางทิ้งไว้หลังการกวนเพื่อให้สลดจ์ตกตะกอนลงมาที่ด้านล่างบ่อ

ความเข้มข้นแมกนีเซียม

ความเร็วรอบ (rpm)	40 min	8 hr
30	9.297475797	5.952453544
40	8.573031729	4.008918804
50	6.340867074	3.066545663
60	6.60564241	3.61360097

ปริมาณสลดจ์

ความเร็วรอบ (rpm)	40 min	8 hr
30	3.999259533	10.69326705
40	4.400168788	12.27925428
50	7.770955871	17.68607968
60	4.906822906	10.98052024

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข 18 ผลของขนาดอนุภาคที่ความเร็วรอบ 30 rpm เวลา 5 นาที



ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
 อาคารสถาน 2 จุฬาลงกรณ์ ซอย 62 อ.พญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร 2188029-32, 2188101 โทรสาร 2540211  
 Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University  
 Building 2-3 Chula Soi 62 Phaya-Thai Rd. Phatumwan Bangkok 10330 Tel. 2188029-32, 2188101 Fax. 2540211

Result: Analysis Report

Sample Details		
Sample ID: 30 rpm 5 min	Run Number: 10	Measured: Mon Feb 1 2010 10:53AM
Sample File: CHULA12	Record Number: 1327	Analysed: Mon Feb 1 2010 10:53AM
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\		Result Source: Analysed
Sample Notes: 30 rpm 5 min wet analysis system dispersing medium : water		

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: MS1	Obscuration: 11.3 %
Presentation: 3OHD	[Particle R.I. = ( 1.5295, 0.1000);	Dispersant R.I. = 1.3300]	Residual: 2.604 %
Analysis Model: Polydisperse			
Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0017 %Vol	Density = 1.000 g / cub. cm	Specific S.A. = 6.7619 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 0.75 um	D (v, 0.5) = 0.90 um	D (v, 0.9) = 1.06 um
D [4, 3] = 0.91 um	D [3, 2] = 0.89 um	Span = 3.361E-01	Uniformity = 1.158E-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	0.01	0.49	0.01	56.23	0.00	65.51	100.00
0.49	0.17	0.58	0.18	65.51	0.00	76.32	100.00
0.58	2.73	0.67	2.92	76.32	0.00	88.91	100.00
0.67	10.23	0.78	13.15	88.91	0.00	103.58	100.00
0.78	40.95	0.91	54.09	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	36.49	1.06	90.58	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	8.61	1.24	99.20	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	0.80	1.44	100.00	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	0.00	1.68	100.00	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	0.00	1.95	100.00	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	0.00	2.28	100.00	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	0.00	2.65	100.00	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	0.00	3.09	100.00	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	0.00	3.60	100.00	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	0.00	4.19	100.00	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	0.00	4.88	100.00	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	0.00	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 ข 19 ผลของขนาดอนุภาคที่ความเร็วรอบ 30 rpm เวลา 20 นาที



ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
 อาคารสถานีน 2 จุฬาลงกรณ์ ซอย 62 ถนนพญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร 2188029-32, 2188101 โทรสาร 2540211  
 Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University  
 Building 2-3 Chula Soi 62 Phaya-Thai Rd. Phatumwan Bangkok 10330 Tel. 2188029-32, 2188101 Fax. 2540211

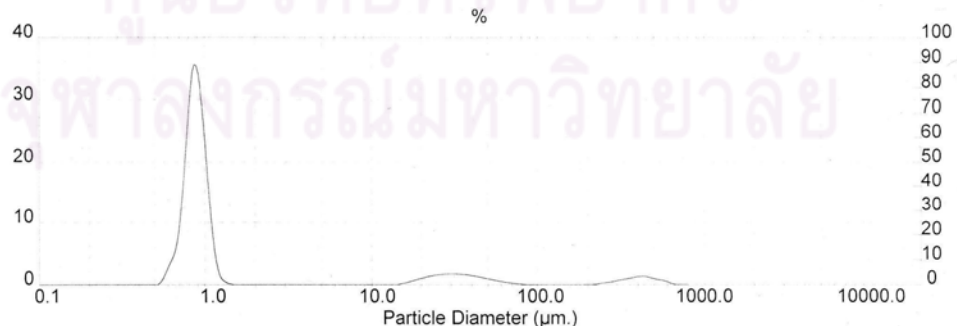
**Result: Analysis Report**

Sample Details		
Sample ID: 30 rpm 20 min	Run Number: 11	Measured: Mon Feb 1 2010 10:26AM
Sample File: CHULA12	Record Number: 1276	Analysed: Mon Feb 1 2010 10:26AM
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\		Result Source: Analysed
Sample Notes: 30 rpm 20 min wet analysis system dispersing medium : water		

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: MS1	Obscuration: 11.6 %
Presentation: 3OHD	[Particle R.I. = ( 1.5295, 0.1000);	Dispersant R.I. = 1.3300]	Residual: 2.667 %
Analysis Model: Polydisperse			
Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0021 %Vol	Density = 1.000 g / cub. cm	Specific S.A. = 5.7850 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 0.74 um	D (v, 0.5) = 0.91 um	D (v, 0.9) = 35.80 um
D [4, 3] = 27.34 um	D [3, 2] = 1.04 um	Span = 3.861E+01	Uniformity = 2.923E+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	82.85
0.06	0.00	0.07	0.00	7.72	0.00	9.00	82.85
0.07	0.00	0.08	0.00	9.00	0.00	10.48	82.85
0.08	0.00	0.09	0.00	10.48	0.00	12.21	82.85
0.09	0.00	0.11	0.00	12.21	0.00	14.22	82.85
0.11	0.00	0.13	0.00	14.22	0.23	16.57	83.08
0.13	0.00	0.15	0.00	16.57	0.68	19.31	83.76
0.15	0.00	0.17	0.00	19.31	1.16	22.49	84.91
0.17	0.00	0.20	0.00	22.49	1.54	26.20	86.45
0.20	0.00	0.23	0.00	26.20	1.74	30.53	88.19
0.23	0.00	0.27	0.00	30.53	1.74	35.56	89.93
0.27	0.00	0.31	0.00	35.56	1.56	41.43	91.49
0.31	0.00	0.36	0.00	41.43	1.24	48.27	92.73
0.36	0.00	0.42	0.00	48.27	0.88	56.23	93.61
0.42	0.02	0.49	0.02	56.23	0.54	65.51	94.15
0.49	0.23	0.58	0.25	65.51	0.27	76.32	94.42
0.58	3.53	0.67	3.78	76.32	0.11	88.91	94.53
0.67	12.45	0.78	16.23	88.91	0.02	103.58	94.54
0.78	34.42	0.91	50.65	103.58	0.00	120.67	94.54
0.91	26.23	1.06	76.87	120.67	0.00	140.58	94.54
1.06	5.50	1.24	82.38	140.58	0.00	163.77	94.54
1.24	0.45	1.44	82.82	163.77	0.00	190.80	94.54
1.44	0.03	1.68	82.85	190.80	0.03	222.28	94.57
1.68	0.00	1.95	82.85	222.28	0.23	258.95	94.80
1.95	0.00	2.28	82.85	258.95	0.49	301.68	95.29
2.28	0.00	2.65	82.85	301.68	0.82	351.46	96.12
2.65	0.00	3.09	82.85	351.46	1.17	409.45	97.29
3.09	0.00	3.60	82.85	409.45	1.31	477.01	98.60
3.60	0.00	4.19	82.85	477.01	0.90	555.71	99.51
4.19	0.00	4.88	82.85	555.71	0.49	647.41	100.00
4.88	0.00	5.69	82.85	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	0.00	6.63	82.85	754.23	0.00	878.67	100.00



ตาราง ข 20 ผลของขนาดอนุภาคที่ความเร็วรอบ 30 rpm เวลา 40 นาที



ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
 อาคารสถาน 2 จุฬาลงกรณ์ ซอย 62 ถนนพญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร 2188029-32, 2188101 โทรสาร 2540211  
 Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University  
 Building 2-3 Chula Soi 62 Phaya-Thai Rd. Phatumwan Bangkok 10330 Tel. 2188029-32, 2188101 Fax. 2540211

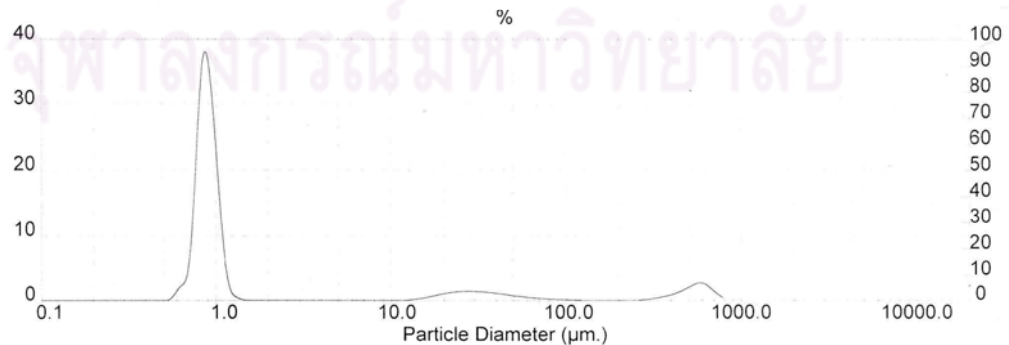
**Result: Analysis Report**

Sample Details		
Sample ID: 30 rpm 40 min	Run Number: 23	Measured: Mon Feb 1 2010 10:46AM
Sample File: CHULA12	Record Number: 1319	Analysed: Mon Feb 1 2010 10:46AM
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\		Result Source: Analysed
Sample Notes: 30 rpm 40 min wet analysis system dispersing medium : water		

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: MS1	Obscuration: 11.5 %
Presentation: 3OHD	[Particle R.I. = ( 1.5295, 0.1000);	Dispersant R.I. = 1.3300]	Residual: 2.456 %
Analysis Model: Polydisperse			
Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0022 %Vol	Density = 1.000 g / cub. cm	Specific S.A. = 5.4551 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 0.78 um	D (v, 0.5) = 0.92 um	D (v, 0.9) = 74.55 um
D [4, 3] = 55.77 um	D [3, 2] = 1.10 um	Span = 7.999E+01	Uniformity = 5.959E+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	79.58
0.06	0.00	0.07	0.00	7.72	0.00	9.00	79.58
0.07	0.00	0.08	0.00	9.00	0.00	10.48	79.58
0.08	0.00	0.09	0.00	10.48	0.00	12.21	79.58
0.09	0.00	0.11	0.00	12.21	0.17	14.22	79.76
0.11	0.00	0.13	0.00	14.22	0.42	16.57	80.17
0.13	0.00	0.15	0.00	16.57	0.79	19.31	80.96
0.15	0.00	0.17	0.00	19.31	1.15	22.49	82.11
0.17	0.00	0.20	0.00	22.49	1.38	26.20	83.50
0.20	0.00	0.23	0.00	26.20	1.44	30.53	84.94
0.23	0.00	0.27	0.00	30.53	1.36	35.56	86.30
0.27	0.00	0.31	0.00	35.56	1.18	41.43	87.49
0.31	0.00	0.36	0.00	41.43	0.96	48.27	88.44
0.36	0.00	0.42	0.00	48.27	0.72	56.23	89.16
0.42	0.00	0.49	0.01	56.23	0.52	65.51	89.68
0.49	0.06	0.58	0.06	65.51	0.37	76.32	90.05
0.58	2.04	0.67	2.10	76.32	0.26	88.91	90.31
0.67	8.37	0.78	10.47	88.91	0.18	103.58	90.50
0.78	36.42	0.91	46.89	103.58	0.11	120.67	90.61
0.91	26.95	1.06	73.84	120.67	0.05	140.58	90.66
1.06	5.21	1.24	79.05	140.58	0.01	163.77	90.68
1.24	0.47	1.44	79.52	163.77	0.00	190.80	90.68
1.44	0.06	1.68	79.58	190.80	0.00	222.28	90.68
1.68	0.01	1.95	79.58	222.28	0.00	258.95	90.68
1.95	0.00	2.28	79.58	258.95	0.16	301.68	90.84
2.28	0.00	2.65	79.58	301.68	0.38	351.46	91.22
2.65	0.00	3.09	79.58	351.46	0.73	409.45	91.95
3.09	0.00	3.60	79.58	409.45	1.31	477.01	93.27
3.60	0.00	4.19	79.58	477.01	2.19	555.71	95.46
4.19	0.00	4.88	79.58	555.71	2.72	647.41	98.18
4.88	0.00	5.69	79.58	647.41	1.51	754.23	99.70
5.69	0.00	6.63	79.58	754.23	0.30	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:

03 Feb 10

ตาราง ข 21 ผลของขนาดอนุภาคที่ความเร็วรอบ 40 rpm เวลา 5 นาที



ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
 อาคารสถาบัน 2 จุฬาลงกรณ์ ซอย 62 ถนนพญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร 2188029-32, 2188101 โทรสาร 2540211  
 Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University  
 Building 2-3 Chula Soi 62 Phaya-Thai Rd. Phatumwan Bangkok 10330 Tel. 2188029-32, 2188101 Fax. 2540211

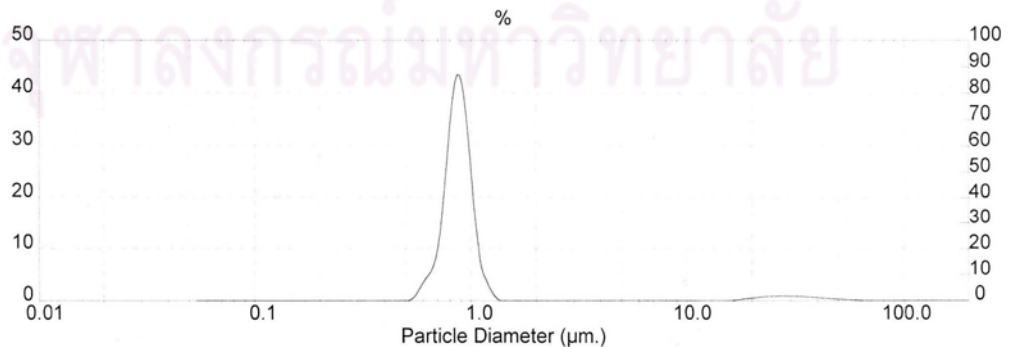
**Result: Analysis Report**

Sample Details		
Sample ID: 40 rpm 5 min	Run Number: 3	Measured: Mon Feb 1 2010 10:10AM
Sample File: CHULA12	Record Number: 1244	Analysed: Mon Feb 1 2010 10:10AM
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\		Result Source: Analysed
Sample Notes: 40 rpm 5 min wet analysis system dispersing medium : water		

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: MS1	Obscuration: 12.1 %
Presentation: 3OHD	[Particle R.I. = ( 1.5295, 0.1000);	Dispersant R.I. = 1.3300]	Residual: 2.614 %
Analysis Model: Polydisperse			
Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0019 %Vol	Density = 1.000 g / cub. cm	Specific S.A. = 6.6539 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 0.73 um	D (v, 0.5) = 0.88 um	D (v, 0.9) = 1.07 um
D [4, 3] = 2.48 um	D [3, 2] = 0.90 um	Span = 3.834E-01	Uniformity = 1.927E+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	0.00	7.72	94.92
0.06	0.00	0.07	0.00	7.72	0.00	9.00	94.92
0.07	0.00	0.08	0.00	9.00	0.00	10.48	94.92
0.08	0.00	0.09	0.00	10.48	0.00	12.21	94.92
0.09	0.00	0.11	0.00	12.21	0.00	14.22	94.92
0.11	0.00	0.13	0.00	14.22	0.00	16.57	94.92
0.13	0.00	0.15	0.00	16.57	0.28	19.31	95.20
0.15	0.00	0.17	0.00	19.31	0.62	22.49	95.82
0.17	0.00	0.20	0.00	22.49	0.84	26.20	96.66
0.20	0.00	0.23	0.00	26.20	0.91	30.53	97.57
0.23	0.00	0.27	0.00	30.53	0.84	35.56	98.41
0.27	0.00	0.31	0.00	35.56	0.66	41.43	99.07
0.31	0.00	0.36	0.00	41.43	0.45	48.27	99.52
0.36	0.00	0.42	0.00	48.27	0.28	56.23	99.80
0.42	0.03	0.49	0.03	56.23	0.15	65.51	99.94
0.49	0.36	0.58	0.38	65.51	0.06	76.32	100.00
0.58	4.34	0.67	4.73	76.32	0.00	88.91	100.00
0.67	13.72	0.78	18.45	88.91	0.00	103.58	100.00
0.78	41.93	0.91	60.37	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	29.10	1.06	89.47	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	5.13	1.24	94.60	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	0.31	1.44	94.92	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	0.00	1.68	94.92	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	0.00	1.95	94.92	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	0.00	2.28	94.92	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	0.00	2.65	94.92	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	0.00	3.09	94.92	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	0.00	3.60	94.92	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	0.00	4.19	94.92	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	0.00	4.88	94.92	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	0.00	5.69	94.92	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	0.00	6.63	94.92	754.23	0.00	878.67	100.00





ตาราง ข 22 ผลของขนาดอนุภาคที่ความเร็วรอบ 40 rpm เวลา 20 นาที



ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
 อาคารสถาน 2 จุฬาลงกรณ์ ซอย 62 ถนนพญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร 2188029-32, 2188101 โทรสาร 2540211  
 Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University  
 Building 2-3 Chula Soi 62 Phaya-Thai Rd. Phatumwan Bangkok 10330 Tel. 2188029-32, 2188101 Fax. 2540211

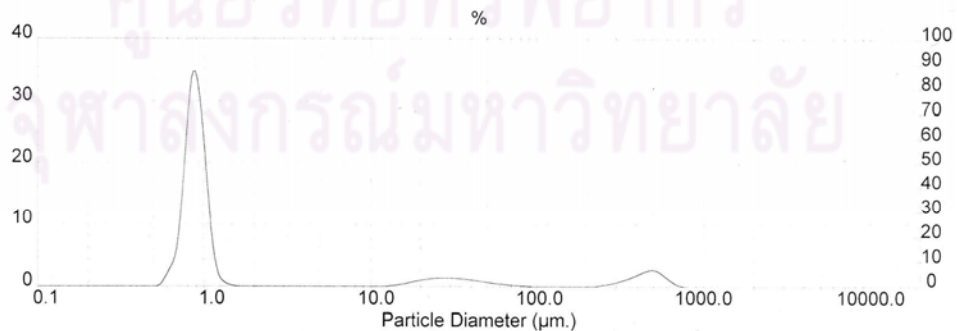
**Result: Analysis Report**

Sample Details		
Sample ID: 40 rpm 20 min	Run Number: 20	Measured: Mon Feb 1 2010 10:45AM
Sample File: CHULA12	Record Number: 1316	Analysed: Mon Feb 1 2010 10:46AM
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\		Result Source: Analysed
Sample Notes: 40 rpm 20 min wet analysis system dispersing medium : water		

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: MS1	Obscuration: 11.6 %
Presentation: 3OHD	[Particle R.I. = ( 1.5295, 0.1000);	Dispersant R.I. = 1.3300]	Residual: 3.087 %
Analysis Model: Polydisperse			
Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0022 %Vol	Density = 1.000 g / cub. cm	Specific S.A. = 5.5163 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 0.76 um	D (v, 0.5) = 0.92 um	D (v, 0.9) = 73.76 um
D [4, 3] = 48.82 um	D [3, 2] = 1.09 um	Span = 7.913E+01	Uniformity = 5.204E+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	80.00
0.06	0.00	0.07	0.00	7.72	0.00	9.00	80.00
0.07	0.00	0.08	0.00	9.00	0.00	10.48	80.00
0.08	0.00	0.09	0.00	10.48	0.00	12.21	80.00
0.09	0.00	0.11	0.00	12.21	0.19	14.22	80.19
0.11	0.00	0.13	0.00	14.22	0.42	16.57	80.61
0.13	0.00	0.15	0.00	16.57	0.77	19.31	81.38
0.15	0.00	0.17	0.00	19.31	1.12	22.49	82.50
0.17	0.00	0.20	0.00	22.49	1.34	26.20	83.84
0.20	0.00	0.23	0.00	26.20	1.40	30.53	85.24
0.23	0.00	0.27	0.00	30.53	1.32	35.56	86.56
0.27	0.00	0.31	0.00	35.56	1.15	41.43	87.71
0.31	0.00	0.36	0.00	41.43	0.92	48.27	88.63
0.36	0.00	0.42	0.00	48.27	0.68	56.23	89.31
0.42	0.01	0.49	0.01	56.23	0.46	65.51	89.77
0.49	0.13	0.58	0.14	65.51	0.28	76.32	90.05
0.58	2.68	0.67	2.82	76.32	0.15	88.91	90.20
0.67	10.77	0.78	13.59	88.91	0.06	103.58	90.26
0.78	33.47	0.91	47.06	103.58	0.01	120.67	90.27
0.91	26.00	1.06	73.06	120.67	0.00	140.58	90.27
1.06	6.11	1.24	79.17	140.58	0.00	163.77	90.27
1.24	0.70	1.44	79.88	163.77	0.00	190.80	90.27
1.44	0.11	1.68	79.99	190.80	0.00	222.28	90.27
1.68	0.01	1.95	80.00	222.28	0.19	258.95	90.46
1.95	0.00	2.28	80.00	258.95	0.48	301.68	90.94
2.28	0.00	2.65	80.00	301.68	0.92	351.46	91.86
2.65	0.00	3.09	80.00	351.46	1.56	409.45	93.42
3.09	0.00	3.60	80.00	409.45	2.32	477.01	95.74
3.60	0.00	4.19	80.00	477.01	2.56	555.71	98.30
4.19	0.00	4.88	80.00	555.71	1.42	647.41	99.72
4.88	0.00	5.69	80.00	647.41	0.28	754.23	100.00
5.69	0.00	6.63	80.00	754.23	0.00	878.67	100.00



ตาราง ข 23 ผลของขนาดอนุภาคที่ความเร็วรอบ 40 rpm เวลา 40 นาที

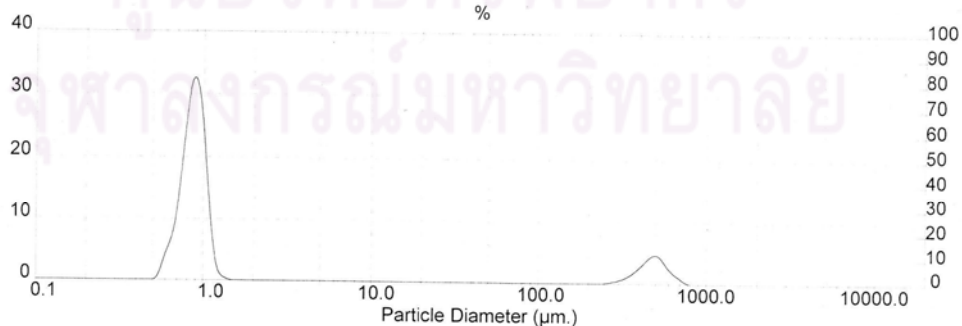
**Result: Analysis Report**

Sample Details		
Sample ID: 40 rpm 40 min	Run Number: 9	Measured: Mon Feb 1 2010 10:02AM
Sample File: CHULA12	Record Number: 1232	Analysed: Mon Feb 1 2010 10:02AM
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\		Result Source: Analysed
Sample Notes: 40 rpm 40 min		
wet analysis system		
dispersing medium : water		

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: MS1	Obscuration: 11.1 %
Presentation: 3OHD	[Particle R.I. = ( 1.5295, 0.1000);	Dispersant R.I. = 1.3300]	Residual: 4.016 %
Analysis Model: Polydisperse			
Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0020 %Vol	Density = 1.000 g / cub. cm	Specific S.A. = 5.9798 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 0.71 um	D (v, 0.5) = 0.91 um	D (v, 0.9) = 441.20 um
D [4, 3] = 73.31 um	D [3, 2] = 1.00 um	Span = 4.864E+02	Uniformity = 8.009E+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	85.02
0.06	0.00	0.07	0.00	7.72	0.00	9.00	85.02
0.07	0.00	0.08	0.00	9.00	0.00	10.48	85.02
0.08	0.00	0.09	0.00	10.48	0.00	12.21	85.02
0.09	0.00	0.11	0.00	12.21	0.00	14.22	85.02
0.11	0.00	0.13	0.00	14.22	0.00	16.57	85.02
0.13	0.00	0.15	0.00	16.57	0.00	19.31	85.02
0.15	0.00	0.17	0.00	19.31	0.00	22.49	85.02
0.17	0.00	0.20	0.00	22.49	0.00	26.20	85.02
0.20	0.00	0.23	0.00	26.20	0.00	30.53	85.02
0.23	0.00	0.27	0.00	30.53	0.00	35.56	85.02
0.27	0.00	0.31	0.00	35.56	0.00	41.43	85.02
0.31	0.00	0.36	0.00	41.43	0.00	48.27	85.02
0.36	0.00	0.42	0.00	48.27	0.00	56.23	85.02
0.42	0.05	0.49	0.05	56.23	0.00	65.51	85.02
0.49	0.56	0.58	0.61	65.51	0.00	76.32	85.02
0.58	5.38	0.67	5.98	76.32	0.00	88.91	85.02
0.67	14.43	0.78	20.42	88.91	0.00	103.58	85.02
0.78	30.73	0.91	51.15	103.58	0.00	120.67	85.02
0.91	27.18	1.06	78.33	120.67	0.00	140.58	85.02
1.06	6.17	1.24	84.50	140.58	0.00	163.77	85.02
1.24	0.51	1.44	85.01	163.77	0.00	190.80	85.02
1.44	0.01	1.68	85.02	190.80	0.00	222.28	85.02
1.68	0.00	1.95	85.02	222.28	0.06	258.95	85.08
1.95	0.00	2.28	85.02	258.95	0.34	301.68	85.42
2.28	0.00	2.65	85.02	301.68	0.91	351.46	86.33
2.65	0.00	3.09	85.02	351.46	2.04	409.45	88.37
3.09	0.00	3.60	85.02	409.45	3.78	477.01	92.15
3.60	0.00	4.19	85.02	477.01	4.58	555.71	96.73
4.19	0.00	4.88	85.02	555.71	2.38	647.41	99.12
4.88	0.00	5.69	85.02	647.41	0.88	754.23	100.00
5.69	0.00	6.63	85.02	754.23	0.00	878.67	100.00



ตาราง ข 24 ผลของขนาดอนุภาคที่ความเร็วรอบ 50 rpm เวลา 5 นาที



ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
 อาคารสถานี 2 จุฬาลงกรณ์ ซอย 62 ถนนพญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร 2188029-32, 2188101 โทรสาร 2540211  
 Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University  
 Building 2-3 Chula Soi 62 Phaya-Thai Rd. Phatumwan Bangkok 10330 Tel. 2188029-32, 2188101 Fax. 2540211

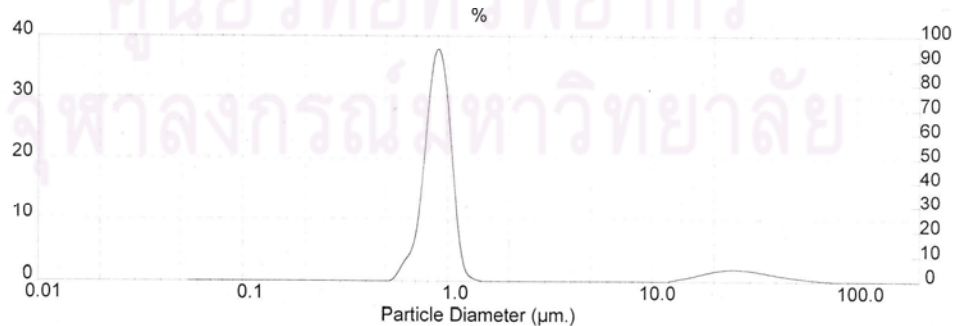
**Result: Analysis Report**

Sample Details		
Sample ID: 50 rpm 5 min	Run Number: 5	Measured: Mon Feb 1 2010 9:46AM
Sample File: CHULA12	Record Number: 1220	Analysed: Mon Feb 1 2010 9:46AM
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\		Result Source: Analysed
Sample Notes: 50 rpm 5 min wet analysis system dispersing medium : water		

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: MS1	Obscuration: 11.6 %
Presentation: 3OHD	[Particle R.I. = ( 1.5295, 0.1000);	Dispersant R.I. = 1.3300]	Residual: 2.398 %
Analysis Model: Polydisperse			
Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0020 %Vol	Density = 1.000 g / cub. cm	Specific S.A. = 6.0026 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 0.76 um	D (v, 0.5) = 0.92 um	D (v, 0.9) = 19.66 um
D [4, 3] = 4.50 um	D [3, 2] = 1.00 um	Span = 2.062E+01	Uniformity = 4.027E+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	0.00	7.72	87.37
0.06	0.00	0.07	0.00	7.72	0.00	9.00	87.37
0.07	0.00	0.08	0.00	9.00	0.00	10.48	87.37
0.08	0.00	0.09	0.00	10.48	0.00	12.21	87.37
0.09	0.00	0.11	0.00	12.21	0.37	14.22	87.74
0.11	0.00	0.13	0.00	14.22	0.77	16.57	88.51
0.13	0.00	0.15	0.00	16.57	1.30	19.31	89.81
0.15	0.00	0.17	0.00	19.31	1.74	22.49	91.55
0.17	0.00	0.20	0.00	22.49	1.94	26.20	93.49
0.20	0.00	0.23	0.00	26.20	1.86	30.53	95.35
0.23	0.00	0.27	0.00	30.53	1.58	35.56	96.93
0.27	0.00	0.31	0.00	35.56	1.18	41.43	98.11
0.31	0.00	0.36	0.00	41.43	0.84	48.27	98.95
0.36	0.00	0.42	0.00	48.27	0.56	56.23	99.51
0.42	0.02	0.49	0.02	56.23	0.33	65.51	99.84
0.49	0.20	0.58	0.22	65.51	0.16	76.32	100.00
0.58	3.36	0.67	3.58	76.32	0.00	88.91	100.00
0.67	10.40	0.78	13.98	88.91	0.00	103.58	100.00
0.78	34.26	0.91	48.24	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	32.01	1.06	80.24	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	6.59	1.24	86.83	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	0.52	1.44	87.35	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	0.02	1.68	87.37	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	0.00	1.95	87.37	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	0.00	2.28	87.37	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	0.00	2.65	87.37	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	0.00	3.09	87.37	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	0.00	3.60	87.37	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	0.00	4.19	87.37	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	0.00	4.88	87.37	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	0.00	5.69	87.37	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	0.00	6.63	87.37	754.23	0.00	878.67	100.00



ตาราง ข 25 ผลของขนาดอนุภาคที่ความเร็วรอบ 50 rpm เวลา 20 นาที



ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
 อาคารสถาบัน 2 จุฬาลงกรณ์ ซอย 62 ถนนพญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร 2188029-32, 2188101 โทรสาร 2540211  
 Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University  
 Building 2-3 Chula Soi 62 Phaya-Thai Rd. Phatumwan Bangkok 10330 Tel. 2188029-32, 2188101 Fax. 2540211

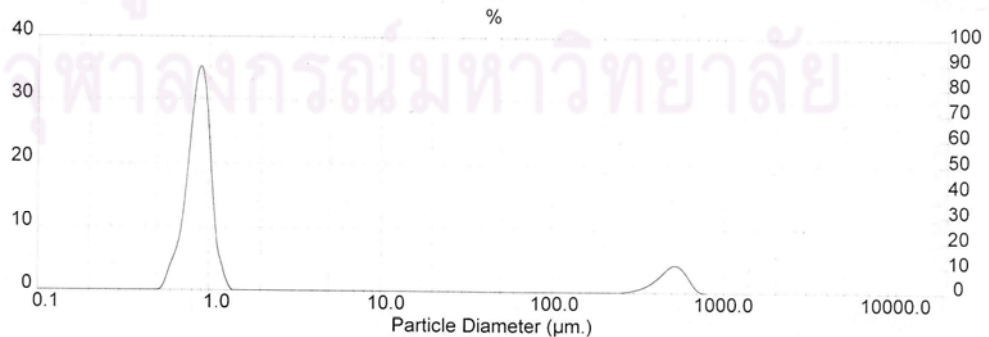
**Result: Analysis Report**

Sample Details		
Sample ID: 50 rpm 20 min	Run Number: 4	Measured: Mon Feb 1 2010 10:00AM
Sample File: CHULA12	Record Number: 1228	Analysed: Mon Feb 1 2010 10:00AM
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\		Result Source: Analysed
Sample Notes: 50 rpm 20 min		
wet analysis system		
dispersing medium : water		

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: MS1	Obscuration: 10.9 %
Presentation: 3OHD	[Particle R.I. = ( 1.5295, 0.1000);	Dispersant R.I. = 1.3300]	
Analysis Model: Polydisperse			Residual: 3.418 %
Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0019 %Vol	Density = 1.000 g / cub. cm	Specific S.A. = 6.0763 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 0.72 um	D (v, 0.5) = 0.90 um	D (v, 0.9) = 437.93 um
D [4, 3] = 67.86 um	D [3, 2] = 0.99 um	Span = 4.851E+02	Uniformity = 7.443E+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	86.52
0.06	0.00	0.07	0.00	7.72	0.00	9.00	86.52
0.07	0.00	0.08	0.00	9.00	0.00	10.48	86.52
0.08	0.00	0.09	0.00	10.48	0.00	12.21	86.52
0.09	0.00	0.11	0.00	12.21	0.00	14.22	86.52
0.11	0.00	0.13	0.00	14.22	0.00	16.57	86.52
0.13	0.00	0.15	0.00	16.57	0.00	19.31	86.52
0.15	0.00	0.17	0.00	19.31	0.00	22.49	86.52
0.17	0.00	0.20	0.00	22.49	0.00	26.20	86.52
0.20	0.00	0.23	0.00	26.20	0.00	30.53	86.52
0.23	0.00	0.27	0.00	30.53	0.00	35.56	86.52
0.27	0.00	0.31	0.00	35.56	0.00	41.43	86.52
0.31	0.00	0.36	0.00	41.43	0.00	48.27	86.52
0.36	0.00	0.42	0.00	48.27	0.00	56.23	86.52
0.42	0.04	0.49	0.04	56.23	0.00	65.51	86.52
0.49	0.48	0.58	0.52	65.51	0.00	76.32	86.52
0.58	5.14	0.67	5.66	76.32	0.00	88.91	86.52
0.67	14.20	0.78	19.86	88.91	0.00	103.58	86.52
0.78	32.52	0.91	52.39	103.58	0.00	120.67	86.52
0.91	27.94	1.06	80.33	120.67	0.00	140.58	86.52
1.06	5.76	1.24	86.09	140.58	0.00	163.77	86.52
1.24	0.43	1.44	86.52	163.77	0.00	190.80	86.52
1.44	0.01	1.68	86.52	190.80	0.00	222.28	86.52
1.68	0.00	1.95	86.52	222.28	0.01	258.95	86.53
1.95	0.00	2.28	86.52	258.95	0.22	301.68	86.75
2.28	0.00	2.65	86.52	301.68	0.64	351.46	87.39
2.65	0.00	3.09	86.52	351.46	1.49	409.45	88.88
3.09	0.00	3.60	86.52	409.45	3.03	477.01	91.91
3.60	0.00	4.19	86.52	477.01	4.39	555.71	96.30
4.19	0.00	4.88	86.52	555.71	3.15	647.41	99.44
4.88	0.00	5.69	86.52	647.41	0.56	754.23	100.00
5.69	0.00	6.63	86.52	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:

P.  
 03 Feb 10 15

ตาราง ข 26 ผลของขนาดอนุภาคที่ความเร็วรอบ 50 rpm เวลา 40 นาที



ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
 อาคารสถาบัน 2 จุฬาลงกรณ์ ซอย 62 ถนนพญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร 2188029-32, 2188101 โทรสาร 2540211  
 Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University  
 Building 2-3 Chula Soi 62 Phaya-Thai Rd. Phatumwan Bangkok 10330 Tel. 2188029-32, 2188101 Fax: 2540211

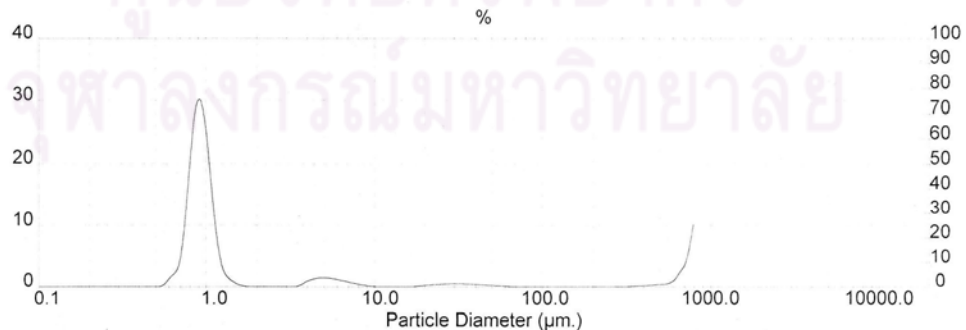
**Result: Analysis Report**

Sample Details		
Sample ID: 50 rpm 40 min	Run Number: 2	Measured: Mon Feb 1 2010 10:33AM
Sample File: CHULA12	Record Number: 1286	Analysed: Mon Feb 1 2010 10:33AM
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\		Result Source: Analysed
Sample Notes: 50 rpm 40 min wet analysis system dispersing medium : water		

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: MS1	Obscuration: 11.3 %
Presentation: 3OHD	[Particle R.I. = ( 1.5295, 0.1000);	Dispersant R.I. = 1.3300]	Residual: 2.000 %
Analysis Model: Polydisperse			
Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0023 %Vol	Density = 1.000 g / cub. cm	Specific S.A. = 4.9202 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 0.79 um	D (v, 0.5) = 0.98 um	D (v, 0.9) = 783.23 um
D [4, 3] = 133.50 um	D [3, 2] = 1.22 um	Span = 7.972E+02	Uniformity = 1.351E+02

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	0.74	7.72	78.91
0.06	0.00	0.07	0.00	7.72	0.37	9.00	79.28
0.07	0.00	0.08	0.00	9.00	0.12	10.48	79.39
0.08	0.00	0.09	0.00	10.48	0.01	12.21	79.40
0.09	0.00	0.11	0.00	12.21	0.00	14.22	79.40
0.11	0.00	0.13	0.00	14.22	0.00	16.57	79.40
0.13	0.00	0.15	0.00	16.57	0.13	19.31	79.53
0.15	0.00	0.17	0.00	19.31	0.31	22.49	79.84
0.17	0.00	0.20	0.00	22.49	0.45	26.20	80.29
0.20	0.00	0.23	0.00	26.20	0.54	30.53	80.83
0.23	0.00	0.27	0.00	30.53	0.54	35.56	81.37
0.27	0.00	0.31	0.00	35.56	0.48	41.43	81.86
0.31	0.00	0.36	0.00	41.43	0.38	48.27	82.23
0.36	0.00	0.42	0.00	48.27	0.25	56.23	82.49
0.42	0.00	0.49	0.00	56.23	0.16	65.51	82.65
0.49	0.08	0.58	0.08	65.51	0.00	76.32	82.65
0.58	1.73	0.67	1.81	76.32	0.00	88.91	82.65
0.67	6.81	0.78	8.63	88.91	0.00	103.58	82.65
0.78	26.55	0.91	35.17	103.58	0.00	120.67	82.65
0.91	26.85	1.06	62.03	120.67	0.00	140.58	82.65
1.06	9.22	1.24	71.24	140.58	0.00	163.77	82.65
1.24	1.64	1.44	72.88	163.77	0.00	190.80	82.65
1.44	0.40	1.68	73.28	190.80	0.00	222.28	82.65
1.68	0.06	1.95	73.34	222.28	0.00	258.95	82.65
1.95	0.00	2.28	73.34	258.95	0.00	301.68	82.65
2.28	0.00	2.65	73.34	301.68	0.08	351.46	82.73
2.65	0.00	3.09	73.34	351.46	0.20	409.45	82.93
3.09	0.00	3.60	73.34	409.45	0.30	477.01	83.24
3.60	0.77	4.19	74.11	477.01	0.47	555.71	83.71
4.19	1.41	4.88	75.52	555.71	1.02	647.41	84.73
4.88	1.48	5.69	77.00	647.41	3.36	754.23	88.09
5.69	1.17	6.63	78.16	754.23	11.91	878.67	100.00



ตาราง ข 27 ผลของปริมาณDAHP ต่อการลดปริมาณแมกนีเซียมออกไซด์ในน้ำยางสด

DAHP(g)	แมกนีเซียมที่เหลือ(ppm)
155.5000	35
77.7500	123
51.8333	253



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ส่วนที่ 2

ตาราง ข 28 ผลของการเติมปริมาตรไดอะฟิลเตรชัน ที่ความเร็วรอบเยื่อแผ่น 600 rpm ต่อเพอร์มิเอชันฟลักซ์ และเปอร์เซ็นต์การกักเก็บ

%DRC เริ่มต้น 19%

ปริมาตรไดอะฟิลเตรชัน	ผลต่างเวลา (นาที)	เวลา (นาที)	เพอร์มิเอชันฟลักซ์ (ลิตร/เมตร <sup>2</sup> . ชั่วโมง)	นน. น้ำยาง (กรัม)	นน. น้ำยางสด(กรัม)	นน. แห่งรวม (กรัม)	% DRC เพอร์มิเอต	% การกักเก็บ
1	4.0	4.0	1041.67	10.2352	10.1463	4.4401	5.7107	69.94
2	5.0	9.0	833.33	10.3231	10.1322	4.2823	4.1854	77.97
3	5.5	14.5	757.58	10.2131	10.2110	4.2498	3.6191	80.95
4	5.5	20.0	757.58	10.7251	10.1320	4.2388	3.6236	80.93

ตาราง ข 29 ผลของการเติมปริมาตรไดอะฟิลเตรชัน ที่ความเร็วรอบเยื่อแผ่น 900 rpm ต่อเพอร์มิเอชันฟลักซ์ และเปอร์เซ็นต์การกักเก็บ

%DRC เริ่มต้น 19%

ปริมาตรไดอะฟิลเตรชัน	ผลต่างเวลา (นาที)	เวลา (นาที)	เพอร์มิเอชันฟลักซ์(ลิตร/เมตร <sup>2</sup> . ชั่วโมง)	นน. น้ำยาง (กรัม)	นน. น้ำยางสด(กรัม)	นน. แห่งรวม (กรัม)	% DRC เพอร์มิเอต	% การกักเก็บ
1	2.7	2.7	1543.21	10.2567	10.1523	4.4342	5.6190	70.43
2	3.8	6.5	1096.49	10.3784	10.1242	4.2623	3.9997	78.95
3	4.8	11.3	868.06	10.1843	10.1452	4.2014	3.3996	82.11
4	5.0	16.3	833.33	10.1410	10.0871	4.1209	2.8380	85.06
5	5.0	21.3	833.33	10.1929	10.5872	4.3121	2.8350	85.08

ตาราง ข 30 ผลของการเติมปริมาตรไดอะฟิลาเตรชัน ที่ความเร็วรอบเยื่อแผ่น 1200 rpm ต่อเพอร์มิเอชันฟลักซ์ และเปอร์เซ็นต์การกักเก็บ

ปริมาตรไดอะฟิลาเตรชัน	ผลต่างเวลา (นาที)	เวลา (นาที)	เพอร์มิเอชันฟลักซ์ (ลิตร/เมตร <sup>2</sup> . ชั่วโมง)	นน.น้ำยาง (กรัม)	นน.น้ำยางสด(กรัม)	นน.แห้งรวม (กรัม)	% DRC เพอร์มิเอต	% การกักเก็บ
1	1.0	1.0	4166.67	10.2342	10.2314	4.2662	3.6961	80.55
2	1.3	2.3	3205.13	10.2543	10.2542	4.2524	3.4698	81.74
3	1.6	3.9	2604.17	10.5736	10.3562	4.2423	2.9029	84.72
4	2.0	5.9	2083.33	10.2483	10.1495	4.1401	2.7643	85.45
5	2.5	8.4	1666.67	10.5426	10.3625	4.2122	2.6032	86.30
6	2.8	11.2	1488.10	10.4212	10.4513	4.2231	2.4144	87.29
7	3.2	14.4	1302.08	10.6349	10.4197	4.2042	2.3010	87.89
8	3.6	18.0	1157.41	10.4234	10.2693	4.1351	2.2331	88.25
9	4.5	22.5	925.93	10.1247	10.2954	4.1232	2.0835	89.03
10	4.5	27.0	925.93	10.7542	10.1995	4.0998	2.0828	89.04

ตาราง ข 31 ผลของการเติมปริมาตรไดอะฟิลาเตรชัน ที่ความเร็วรอบเยื่อแผ่น 600 rpm ต่อความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่เหลือในถังป้อน

ปริมาตร	เวลา (นาที)	นน.น้ำยาง (กรัม)	EDTA(มิลลิลิตร)	ความเข้มข้นของแมกนีเซียม(ppm)
1	4.0	3.63	1.7	247.50
2	9.0	4.22	1.7	212.89
3	14.5	3.83	1.4	193.18
4	20.0	3.65	1.3	188.23



ตาราง ข 32 ผลของการเติมปริมาตรไดอะฟิเตรชั่น ที่ความเร็วรอบเยื่อแผ่น 900 rpm ต่อความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่เหลือในถังป้อน

ปริมาตร	เวลา (นาที)	นน.น้ำยาง (กรัม)	EDTA(มิลลิลิตร)	ความเข้มข้นของแมกนีเซียม(ppm)
1	2.7	3.24	1.5	244.67
2	6.5	3.32	1.3	206.93
3	11.3	4.03	1.4	183.59
4	16.3	3.83	1.3	179.38
5	21.3	4.07	1.3	168.80

ตาราง ข 33 ผลของการเติมปริมาตรไดอะฟิเตรชั่น ที่ความเร็วรอบเยื่อแผ่น 1200 rpm ต่อความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่เหลือในถังป้อน

ปริมาตร	เวลา (นาที)	นน.น้ำยาง (กรัม)	EDTA(มิลลิลิตร)	ความเข้มข้นของแมกนีเซียม(ppm)
1	1.0	3.54	1.6	238.86
2	2.3	3.59	1.5	220.81
3	3.9	3.40	1.3	202.07
4	5.9	3.94	1.4	187.78
5	8.4	3.72	1.2	170.48
6	11.2	3.59	1.1	161.93
7	14.2	3.77	1.1	154.20
8	17.7	3.74	1.0	141.30
9	22.2	4.09	1.0	129.21
10	26.7	4.36	1.0	121.21

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข 34 ผลของความเร็รรอบต่อค่าความต้านทานรวม ความต้านทานในเยื่อแผ่นและความต้านทานที่ผิวเยื่อแผ่น

ความเร็รรอบของเยื่อแผ่น (รอบต่อนาที)	ความต้านทานรวม $R_T \times 10^{11}$ (1/m)	ความต้านทานในเยื่อแผ่น $R_f \times 10^{11}$ (1/m)	ความต้านทานของที่ผิวของเยื่อแผ่น $R_c \times 10^{11}$ (1/m)
600	2.6	1.18	1.28
900	1.85	0.74	1.03
1200	1.3	0.53	0.65

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ค

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

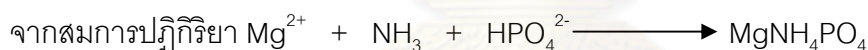
ภาคผนวก ค 1 ดุลปริมาณ  $Mg^{2+}$  จากสมการปฏิกิริยา

Basis: น้ำยางสด 12 กิโลกรัม

- มีความเข้มข้นของ  $Mg^{2+}$  เริ่มต้นเท่ากับ 600 ppm หมายความว่า  
 น้ำยางสด  $10^6$  กรัม จะมี  $Mg^{2+}$  อยู่ 600 กรัม  
 ถ้าน้ำยางสด 12000 กรัม จะมี  $Mg^{2+}$  อยู่  $\frac{12000 \times 600}{10^6} = 7.2$  กรัม
  - ความเข้มข้นของ  $Mg^{2+}$  ที่เหลือเท่ากับ 35 ppm หมายความว่า  
 น้ำยางสด  $10^6$  กรัม จะมี  $Mg^{2+}$  อยู่ 35 กรัม  
 ถ้าน้ำยางสด 12000 กรัม จะมี  $Mg^{2+}$  อยู่  $\frac{12000 \times 35}{10^6} = 0.42$  กรัม
- ดังนั้น  $Mg^{2+}$  ทำปฏิกิริยาไป =  $Mg^{2+}$  เริ่มต้น -  $Mg^{2+}$  ที่เหลือ  
 =  $7.2 - 0.42$   
 = 6.78 กรัม

มวลโมเลกุลของ  $Mg^{2+}$  คือ 24.31

ดังนั้น  $Mg^{2+}$  ทำปฏิกิริยาไป =  $6.78/24.31 = 0.2789$  โมล



พบว่าต้องมีสไลด์จ์เกิดขึ้น 0.2789 โมล ด้วย

มวลโมเลกุลของสไลด์จ์ คือ 137.31

ดังนั้น ต้องมีสไลด์จ์เกิดขึ้น =  $137.31 \times 0.2789 = 38.3$  กรัม

แต่จากผลการทดลอง ยกตัวอย่างที่ 50 rpm ที่เวลา 40 นาที พบว่า

- มีสไลด์จ์เกิดขึ้น 0.2308 กรัม จากน้ำยางตัวอย่าง 50 กรัม หมายความว่า  
 น้ำยางสด 50 กรัม จะมีปริมาณสไลด์จ์อยู่ 0.2308 กรัม  
 ถ้าน้ำยางสด 12000 กรัม จะมีปริมาณสไลด์จ์อยู่  $\frac{12000 \times 0.2308}{50} = 55.392$  กรัม

จากสมการปฏิกิริยาข้างต้น ต้องมีสไลด์จ์ที่เกิดขึ้น 38.3 กรัม แต่จากการทดลองมีมีสไลด์จ์เกิดขึ้น 55.4 กรัมแสดงว่ามีอนุภาคยางบางส่วนมาเกาะกับสไลด์จ์ทำให้มีปริมาณมากขึ้น

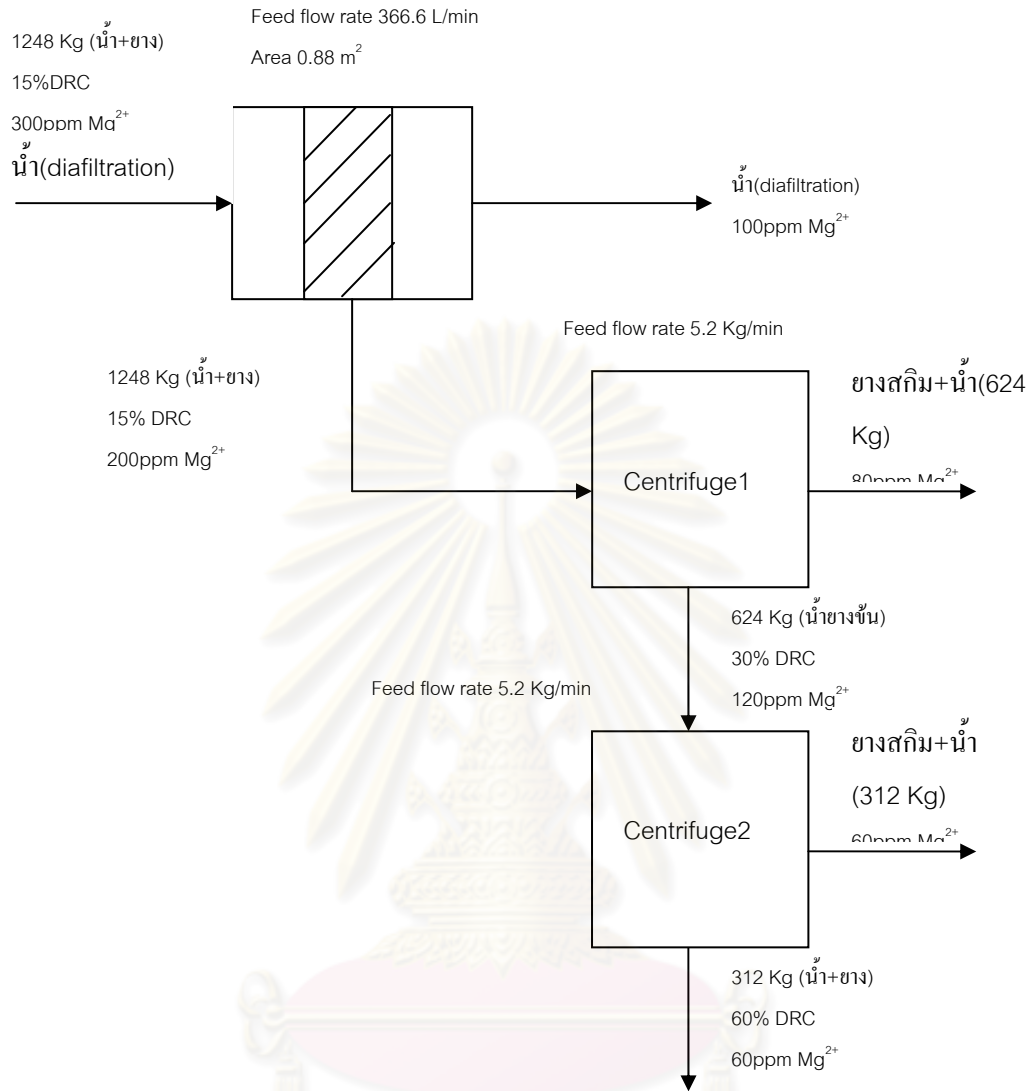
ภาคผนวก ค 2 การเปรียบเทียบอัตราการผลิตน้ำยางชั้นของ 3 วิธี คือ

1. วิธีดั้งเดิมของโรงงาน (ใช้สารละลาย DAHP ตกตะกอนแมกนีเซียมในน้ำยางสด กวนด้วยตัวกวนรูปตัวที ที่ความเร็วรอบ 30 rpm เป็นเวลา 40 นาที)
2. วิธีของโรงงาน โดยเปลี่ยนตัวกวน และกวนที่ภาวะที่เหมาะสม (ใช้สารละลาย DAHP ตกตะกอนแมกนีเซียมในน้ำยางสด กวนด้วยตัวกวนชนิด High Efficiency Impeller ที่ความเร็วรอบ 50 rpm เป็นเวลา 40 นาที)
3. กระบวนการไดอะฟิลเตรชันร่วมกับการกรองชนิดเยื่อแผ่นหมุนได้ (ไม่ใช้สารละลาย DAHP ในการตกตะกอนแมกนีเซียม)

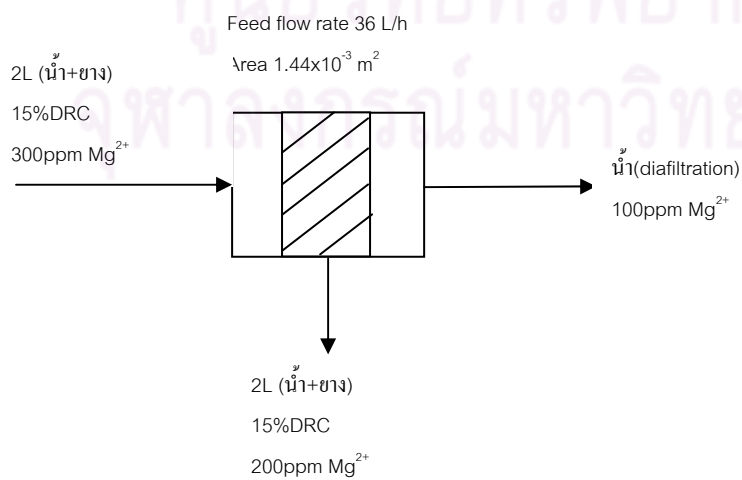
Basis : เครื่องเซนตริฟิวส์ 1 เครื่องสามารถรับน้ำยางสดได้ 70 กิโลกรัม

วิธีที่ 1 น้ำยางสดถูกส่งเข้าบ่อพักน้ำยางสด เดิม DAHP กวนที่ความเร็วรอบ 30 rpm เป็นเวลา 40 นาที ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 8 ชั่วโมงเพื่อตกตะกอน แล้วเข้าเครื่องเซนตริฟิวส์ 1 เครื่อง ด้วยอัตราการไหลของสายป้อน 5.2 กิโลกรัม/นาที โดยหยุดพักเครื่องเซนตริฟิวส์ทุก 2 ชั่วโมง เพื่อล้างตะกอนที่แบ่งที่ไปอุดตันเครื่องเซนตริฟิวส์ โดยใช้เวลาในการล้างตะกอนที่แบ่ง 1 ชั่วโมง ดังนั้นเวลารวมตลอดกระบวนการ คือ 11 ชั่วโมง 40 นาที ได้น้ำยางชั้น 312 กิโลกรัมต่อเครื่อง แต่โรงงานมีเครื่องเซนตริฟิวส์ 20 เครื่อง จึงได้น้ำยางชั้นทั้งหมด 6240 กิโลกรัม หรือ 6 ตัน 240 กิโลกรัม อัตราการเกิดผลิตภัณฑ์ คือ 0.45 กิโลกรัมต่อนาทีต่อเซนตริฟิวส์ 1 เครื่อง

วิธีที่ 2 น้ำยางสดถูกส่งเข้าบ่อพักน้ำยางสด เดิม DAHP กวนที่ความเร็วรอบ 50 rpm เป็นเวลา 40 นาที ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 8 ชั่วโมงเพื่อตกตะกอน แล้วเข้าเครื่องเซนตริฟิวส์ ด้วยอัตราการไหลของสายป้อน 5.2 กิโลกรัม/นาที โดยหยุดพักเครื่องเซนตริฟิวส์ทุก 3 ชั่วโมง 34 นาที เพื่อล้างตะกอนที่แบ่งที่ไปอุดตันเครื่องเซนตริฟิวส์ ใช้เวลาในการล้าง 1 ชั่วโมง ดังนั้นเวลารวมตลอดกระบวนการ คือ 13 ชั่วโมง 14 นาที ได้น้ำยางชั้นทั้งหมด 556.4 กิโลกรัม แต่โรงงานมีเครื่องเซนตริฟิวส์ 20 เครื่อง จึงได้น้ำยางชั้นทั้งหมด 11128 กิโลกรัม หรือ 11 ตัน 128 กิโลกรัม อัตราการเกิดผลิตภัณฑ์ คือ 0.7 กิโลกรัมต่อนาทีต่อเซนตริฟิวส์ 1 เครื่อง



จากการทดลองในระดับแลปสเกลจะได้ดังรูป



ต้องการเหลือแมกนีเซียมประมาณ 200 ppm ก่อนเข้าเครื่อง centrifuge

จากตาราง ข 33 พบว่าต้องใช้ปริมาณไดอะฟิลเตรชันประมาณ 4 ปริมาตรไดอะฟิลเตรชัน และใช้เวลาในการทำไดอะฟิลเตรชัน 5 นาที

$$\text{Flux ที่ได้คือ } 2083 \frac{L}{m^2 \cdot h} \times 5 \text{ min} \times \frac{1h}{60 \text{ min}} \times 1.44 \times 10^{-3} m^2 = 0.24 L$$

เริ่มต้นน้ำยางสด 2 L ได้ flux 0.24 L

$$\text{เริ่มต้นน้ำยางสด } 1248 \text{ Kg} = \frac{1248 \text{ Kg}}{980 \frac{\text{Kg}}{m^3}} = 1273.5 L \text{ ได้ flux } \frac{1273.5 \times 0.24}{2} = 152.8 L$$

$$\text{แต่ flux ต้องได้ } 2083 \frac{L}{m^2 \cdot h}$$

$$\text{ดังนั้น } 2083 \frac{L}{m^2 \cdot h} = \frac{152.8 L}{0.083 h(X)} : X \text{ คือ พื้นที่ตัวกรอง (m}^2\text{),}$$

เวลาในการทำไดอะฟิลเตรชันคือ 5 นาที = 0.083 h

จากสมการจะได้พื้นที่ตัวกรองที่ใช้ คือ 0.88 m<sup>2</sup>

$$\text{ดังนั้นพื้นที่ตัวกรองเพิ่มขึ้น } \frac{0.88 m^2}{1.44 \times 10^{-3} m^2} = 611 \text{ เท่า}$$

อัตราการไหลของสายป้อนคือ 36 L/h x 611 = 21996 L/hr = 366.6 L/min

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า

วิธีที่ 3 น้ำยางสดถูกส่งเข้าบ่อพักน้ำยางสด ไหลผ่านเข้าเครื่องกรองชนิดเยื่อแผ่นหมุนได้ซึ่งมีพื้นที่ตัวกรอง 0.88 ตารางเมตร โดยใช้กระบวนการไดอะฟิลเตรชัน ด้วยอัตราการไหลของสายป้อน 366.6 ลิตรต่อนาที ความเร็วรอบเยื่อแผ่นเท่ากับ 1200 รอบต่อนาที ความดันคร่อมเยื่อแผ่น 0.3 บาร์ แล้วเข้าเครื่องเซนตริฟิวส์ ด้วยอัตราการไหลของสายป้อน 5.2 กิโลกรัม/นาที ดังนั้นเวลารวมตลอดกระบวนการ คือ 4 ชั่วโมง 5 นาที ได้น้ำยางข้น 312 กิโลกรัม อัตราการเกิดผลิตภัณฑ์ คือ 1.27 กิโลกรัมต่อนาทีต่อเซนตริฟิวส์ 1 เครื่อง



ภาคผนวก ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## ตัวอย่างการคำนวณ

### ส่วนที่ 1 การใช้สารเคมี DAHP ในการตกตะกอนแมกนีเซียม

ตัวกวนแบบใหม่(High efficiency impeller) ที่ความเร็วรอบ 50 rpm เวลา 40 นาที  
กำหนดให้

หาปริมาณแมกนีเซียมเริ่มต้น

กำหนดให้ น้ำยาสดมี %TSC เริ่มต้น 31.54 %

ความเข้มข้นของสารละลาย EDTA (N) = 0.0049 mol/L

ปริมาตรของสารละลาย EDTA ที่ใช้ (V) = 5 ml

น้ำหนักน้ำยาดตัวอย่าง (W) = 3.19 g

จากภาคผนวก ก สมการที่ (3)

$$\text{ปริมาณของ Mg}^{2+} \text{ ต่อน้ำหนักของ TSC (ppm)} = \frac{(N \times V) \times 24.31 \times 100,000}{W \times (\%TSC)}$$

แทนค่าในสมการจะได้

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณของ Mg}^{2+} \text{ เริ่มต้น} &= \frac{(0.0049 \times 5) \times 24.31 \times 100,000}{3.19 \times 31.54} \\ &= 591.97 \text{ ppm} \end{aligned}$$

หาปริมาณ DAHP ที่เติม

จากภาคผนวก ก สมการที่ (4)

$$\text{ปริมาณ DAHP ที่เติม} = 0.02716 \times (X - 170) \times W_T$$

X = ปริมาณของ  $\text{Mg}^{2+}$  เริ่มต้น

$W_T$  = น้ำหนักน้ำยาสดที่ใช้ (ตัน) กำหนดให้ 0.012 ตัน

แทนค่าในสมการจะได้

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณ DAHP ที่เติม} &= 0.02716 \times (591.97 - 170) \times 0.012 \\ &= 0.1375 \text{ Kg} \end{aligned}$$

หาปริมาณแมกนีเซียมที่เหลืออยู่

ที่ความเร็วรอบ 50 rpm เวลา 40 นาที

จากการไตเตรทหาจุดยุติต้องใช้สารละลาย EDTA = 0.3 ml

น้ำหนักน้ำยาดตัวอย่าง (W) = 3.34 g

จากภาคผนวก ก สมการที่ (3)

$$\text{ปริมาณของ Mg}^{2+} \text{ ที่เหลืออยู่} = \frac{(0.0049 \times 0.3) \times 24.31 \times 100,000}{3.34 \times 31.54}$$

$$= 33.92 \text{ ppm}$$

หาปริมาณสัลไฟด์ที่เกิดขึ้น

จากภาคผนวก ก สมการที่ (5)

$$\text{ปริมาณสัลไฟด์(ppm)} = (\text{น้ำหนักสัลไฟด์ที่อบแห้งแล้ว} / \text{น้ำหนักน้ำยาดตัวอย่าง}) \times 1000000$$

$$\text{น้ำหนักสัลไฟด์ที่อบแห้งแล้ว} = 0.2308 \text{ g}$$

$$\text{น้ำหนักน้ำยาดตัวอย่าง} = 50.72 \text{ g}$$

แทนค่า จะได้

$$\text{ปริมาณสัลไฟด์(ppm)} = (0.2308 / 50.72) \times 1000000$$

$$= 4,550.47 \text{ ppm}$$

## ส่วนที่ 2 การใช้กระบวนการไตอะฟิลเตรชันร่วมกับการกรองชนิดเยื่อแผ่นหมุนได้

ที่ภาวะการกรอง ที่ความเร็วรอบเยื่อแผ่น 1200 รอบต่อนาที ความดันคร่อมเยื่อแผ่น 0.3 บาร์ อัตราการไหลของสายป้อน 36 ลิตรต่อชั่วโมง และระยะห่างระหว่างผิวหน้าของเยื่อแผ่นกับผนังด้านในของทรงกระบอกชั้นนอก 0.008 เมตร กำหนดให้

ความหนืดของน้ำยาง	=12	เซนติพอยส์
ความหนาแน่นของน้ำยาง	=980	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
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)

$$= 1.44 \times 10^{-3} \text{ ตารางเมตร}$$

2. ค่าความต้านทาน จากสมการ

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

$$R_t = R_m + R_c + R_i$$

ความดันคร่อมเยื่อแผ่น	= 0.3	บาร์
ความหนืดของน้ำ 1 เซนต์โพยส์	= $1 \times 10^{-3}$	กิโลกรัม/เมตร.วินาที
เพอร์มิเอชันฟลักซ์ก่อนขุดเค้ก( $R_i$ )	= 833.33	ลิตร/ตารางเมตร.ชั่วโมง
เพอร์มิเอชันฟลักซ์หลังขุดเค้ก( $R_{mi}$ )	= 1666.67	ลิตร/ตารางเมตร.ชั่วโมง

แทนค่าที่กำหนดให้ตามสมการ

ความต้านทานก่อนทำการขุดเค้ก

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

$$R_i = \frac{0.3 \times 10^5 \times 1000 \times 3600}{833.33 \times 1 \times 10^{-3}}$$

$$R_i = 1.3 \times 10^{11} \text{ 1/m}$$

ความต้านทานหลังทำการขุดเค้ก

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

$$R_{mi} = \frac{0.3 \times 10^5 \times 1000 \times 3600}{1666.67 \times 1 \times 10^{-3}}$$

$$R_{mi} = 0.65 \times 10^{11} \text{ 1/m}$$

โดย  $R_{mi} = R_m + R_i$ 

$$(R_m = 0.12 \times 10^{11} \text{ 1/m})$$

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

$$R_i = 0.65 \times 10^{11} - 0.12 \times 10^{11}$$

$$R_i = 0.53 \times 10^{11} \text{ 1/m}$$

จากสมการ

$$R_t = R_m + R_c + R_i$$

$$R_c = 0.65 \times 10^{11} \text{ 1/m}$$

สามารถสรุปได้ว่า

$$R_t = 1.3 \times 10^{11} \text{ 1/m}$$

$$R_m = 0.12 \times 10^{11} \text{ 1/m}$$

$$R_c = 0.65 \times 10^{11} \text{ 1/m}$$

$$R_i = 0.53 \times 10^{11} \text{ 1/m}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก จ

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**บทความที่ได้รับการตีพิมพ์**

International conference

Arnop Meesupree, Lim Chin Hock and Chirakarn Muangnapoh, "Sludge Formation and Removal in Concentrated Latex Industry", 16 th 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:



## Sludge Formation and Removal in Concentrated Latex Industry

Arnop Meesupree<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

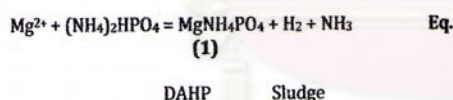
\*E-mail: nueng\_engineer@hotmail.com

**ABSTRACT:** Fresh natural rubber is major raw material of concentrating process of natural rubber latex by centrifugation. High magnesium content in fresh natural rubber has an impact to the quality of concentrated latex. Therefore, it is necessary to remove some amount of magnesium from fresh natural rubber by reacting with Diammonium hydrogen phosphate (DAHP) resulting in sludge formation. The aim of this research is to investigate the suitable condition of DAHP consumption and sludge formation. On the other hand, this should improve energy consumption of centrifuge in sludge removal process. In this study, high-efficiency impeller regarding to both axial and radial mixing has been carried out in 12 kilograms of fresh natural rubber in a rectangular model mixing tank. Firstly, two parameters; impeller speeds (30, 40, 50 and 60 rpm) and mixing times (5, 10, 20, 30 and 40 minute) were investigated. The experimental results show that low residual magnesium concentration in fresh rubber was observed at high impeller speed. At each mixing speed, the more mixing time was proceeded the less residual magnesium concentration in fresh rubber was also observed. Moreover, we found that the stability of rubber particle is still good at the whole range of the experiments. In conclusion, at 50 rpm and 40 minute gave the lowest residual magnesium concentration (35 ppm) comparing to the factory did (120 ppm) in non-well mixed rectangular tank. It can be concluded that a half of DAHP consumption could be reduced in order to maintain magnesium concentration at 120 ppm (factory specification). Moreover, higher speed promotes bigger sludge size which leads to increase two times centrifuge efficiency.

**Keywords:** natural rubber, magnesium removal, DAHP, sludge, rubber latex

### INTRODUCTION

Natural rubber (NR) produced from rubber tree *Hevea Brasiliensis* is one of the major exportation product of Thailand (Blackley et al., 1997). Fresh natural rubber latex composes of 30-40% rubber fraction and non-rubber content called serum such as protein, mineral ions and water (Kovutikulrangsie, S., 2004). Mineral ions such as high magnesium content in fresh natural rubber has an impact to the quality of concentrated latex, therefore, in the first stage, it is necessary to remove some amount of magnesium from fresh natural rubber by reacting with Diammonium hydrogen phosphate (DAHP) resulting in sludge formation. The reaction between magnesium ions and DAHP solution as shown in Eq. (1) is taken place in rectangular pond. After sludge sedimentation in the pond, the concentrated latex is traditionally produced using centrifuge.



Huge energy and washing water consumption in centrifugal operation due to the frequently sludge clogging is challenged to solve this problems (Thai Rubber Latex Corporation (Thailand) Public Company Limited). From mass balance around centrifuge, we found that sludge formation is prolonged in centrifuge due to the incomplete reaction of DAHP in the non-well mixing pond. Therefore, high-efficiency impeller regarding to both axial and radial mixing has been carried out in order to improve the mixing capability.

The aim of this work is to study the effect of mixing speeds and times on sludge formation using Diammonium hydrogen phosphate (DAHP). On the other hand, this should improve energy consumption of centrifuge in sludge removal process.

### MATERIALS AND METHODS

#### Materials

##### Batch Reactor Apparatus

A Rectangular shape mixing type reactor with length, width and depth of 40, 28 and 17 cm, respectively was used in this study. The impeller for mixing and cover including the holes for fresh natural rubber sampling are installed at the top. In this study, high-efficiency impeller regarding to both axial and radial mixing has been used. Figure 1. shows the batch reactor apparatus.

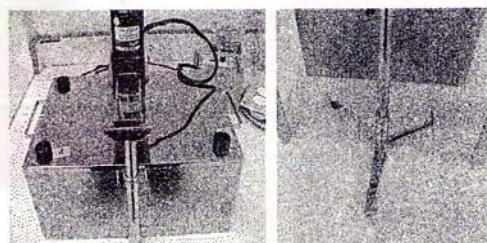


Figure 1. Batch Reactor Apparatus

Fresh natural rubber was kindly obtained from Thai Rubber Latex Corporation (THAILAND) PCL. All chemicals such as Diammonium hydrogenphosphate (DAHP), ammonia solution, ethanol, magnesium sulfate ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) commercial grade were purchased from Aldrich.

#### Methods

12 kilograms of fresh natural rubber was carried out in the rectangular model mixing tank at the room temperature. After that an amount of DAHP calculated from Eq. (2) was added into the tank.



$$\text{Amount of DAHP} = 0.02716 \times (X - 170) \times W_T \quad (2)$$

where:

X is amount of initial magnesium per initial TSC (total solid content) (ppm)

$W_T$  is weight of total fresh natural rubber used (kg)

The mixture was stirred at the impeller speed of 30, 40, 50 and 60 rpm. The samples were drawn out at three different positions in order to determine the uniformity of residual magnesium concentration in the pond. Consequently, all taken samples were analyzed for residual magnesium concentration Eq. (3) and formed sludge Eq. (4) at the mixing times of 5, 10, 20, 30 and 40 minute, respectively. The stability of rubber particle was also determined.

$$\text{Magnesium concentration (ppm)} = \frac{(N \times V) \times 24.31 \times 100,000}{W \times (\%TSC)} \quad (3)$$

where:

N is concentration of EDTA (mol/l); V is volume of EDTA used (ml); W is weight of the sample (g); %TSC is percent by mass of Total solid content in fresh natural rubber

$$\text{Sludge concentration (ppm)} = (\text{weight of dry sludge} / \text{weight of the sample}) \times 1,000,000 \quad (4)$$

Particle size of sludge is measured using LS Particle Size Analyzer (The Beckman Coulter LS 13 320 Series).

## RESULTS AND DISCUSSION

### Effect of mixing speed and mixing time on residual magnesium and sludge concentration

The experimental results show the residual magnesium concentration (Figure 2.) and sludge concentration (Figure 3.) in fresh rubber at impeller speed 30, 40, 50 and 60 rpm when mixing times was proceeded. At each of mixing times and mixing speeds, the distribution of the residual magnesium concentration at the first and the third positions (tank curb) are higher than the magnesium concentration on the second position (the middle of the tank) owing to the use of non-well mixed rectangular tank (factory type) ( data not shown). In addition, low residual magnesium concentration (Sastry, C.A,et al., 2000) in fresh rubber was observed at high impeller speed. At each mixing speed, the more mixing time was proceeded the less residual magnesium concentration in fresh rubber was also observed. Regarding to the sludge formation at each mixing speed during the reaction proceeded, it was found that the highest sludge concentration is at 50 rpm. It is in line with the result of the lowest residual magnesium concentration at 50 rpm.

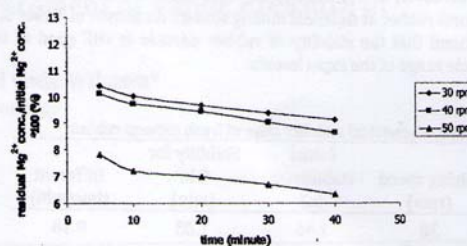


Figure 2. Effect of mixing speeds and mixing times on ratio of  $C_{Mg^{2+}}$  to  $C_{Mg^{2+}}$

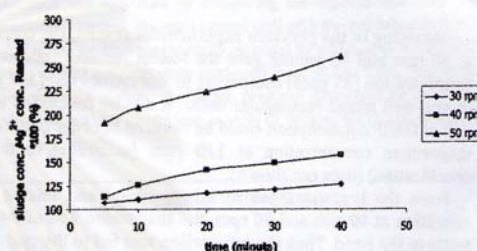


Figure 3. Effect of mixing speeds and mixing times on ratio of  $C_{\text{sludge}}$  to  $C_{Mg^{2+}}$ , reacted

### Effect of mixing time and mixing speed on sludge particle size

The particle sizes of sludge were analyzed to support the formation of sludge at different times and speeds. Table 1 and Table 2 illustrate the bigger sludge particle size was observed whereas times and speeds were increased. To compare the sludge formation from fresh natural rubber and magnesium solution, it is interestingly finding that rubber colloid particle might adhere to the sludge to form bigger size. These finding will lead to modify the method of sludge removal in the future.

Table 1. Effects of mixing times on sludge particle size at 30 rpm

time(min)	mean particle size(micron)
5	1.778
20	5.319
40	10.39

Table 2. Effects of mixing speeds on sludge particle size at 40 minute

mixing speed(rpm)	mean of the particle size(micron)
30	10.39
50	11.62
50(control) <sup>a</sup>	10.45

<sup>a</sup> magnesium solution

Moreover, it is necessary to investigate the stability of fresh natural rubber at different mixing speeds. As shown in Table 3, it is found that the stability of rubber particle is still good at the whole range of the experiments.

**Table 3. Mechanical stability time of fresh natural rubber**

Mixing speed (rpm)	Initial stability(m in)	Stability for 8 hr (min)	Different time(min)
30	1.46	1.28	0.18
40	1.35	1.09	0.26
50	1.48	1.18	0.30
60	1.46	1.02	0.44

Regarding to the previous experimental results, the condition at 50 rpm and 40 minute gave the lowest residual magnesium concentration (35 ppm) comparing to the factory did (120 ppm) in non-well mixed rectangular tank. It can be concluded that a half of DAHP consumption could be reduced in order to maintain magnesium concentration at 120 ppm (according to factory specification) (data not shown).

From the best condition of mixing speed and mixing time operation at 40 min and 50 rpm, the suspension was allowed to settle in the pond. Then the top portion was fed to the centrifuge in order to study the energy consumption. The result shows that energy consumption at new condition gave energy consumption two times less than the factory did.

#### CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

From the experimental results, it can be concluded and recommended as follows:

1. The residual magnesium concentration in the solution decreased when the time and mixing speed were increased.
2. In case of sludge formation, the increasing of time and mixing speed promote the higher sludge concentration with bigger particle size. The suitable condition was at 50 rpm and 40 minute which gave lower residual

magnesium concentration (35 ppm) than the factory did (120 ppm). A half of DAHP consumption could be reduced in order to maintain magnesium concentration at 120 ppm (factory specification). Moreover, the higher speed promotes bigger sludge size which leads to increase two times centrifuge efficiency.

3. The factory method of sludge removal should be modified ie:by using filtration process. However, one should be careful on the viscosity and stability of fresh natural rubber.

#### 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-OSMEP505E017.

#### REFERENCES

- Blackley, D.C. (1997). Polymer latexes: Science and technology. (2nd Ed.). New York: Chapman & Hall.
- Kovuttikulrangsie, S.,(2004). Natural Rubber Productions, Faculty of Science and Technology, Prince of Songkla University.
- Sastry, C.A., Agamuthu P and subbiah R.M., Remove of zinc from rubber thread manufacturing industry wastewater using chemical precipitant/flocculant. Environmental Progress (Vo1.19, N o.4), winter 2000, Kuala Lumpur, Malaysia, 299-304.
- Thai Rubber Latex Corporation (Thailand) Public Company Limited. Manual of Natural Rubber and Sludge formation. <http://www.lennotech.com/elements-and-water/magnesium-and-water.htm>
- <http://www.thaitexgroup.com>
- <http://blog.tourismthailand.org/EugeneTang/?p=3493>



Mr. Arnop Meesupree was born on 20 October, 1985. Now he is Master student at Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand.

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายอานพ มีสุปรีย์ เกิดวันที่ 20 ตุลาคม 2528 จังหวัดสงขลา ศึกษาในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลายที่โรงเรียนมหาวิทยาลัยราชภัฏจังหวัดสงขลา สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ในปีการศึกษา 2550 และศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2551



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย