

ผลของขนาดอนุภาคซิลิกาเกิดต่ออย่างธรรมชาติวัลคาไนซ์



นาย บุรินทร์ ชุณพาณิชย์

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-17-6079-5

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECTS OF PARTICLE SIZE OF SILICATES ON NATURAL RUBBER VULCANIZATE



Mr Burin Chunhapanich

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science in Chemical Technology

Department of Chemical Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2004

ISBN 974-17-6079-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์                      ผลของขนาดอนุภาคซิลิกาเกิดต่ออย่างธรรมชาติวัลคาไนซ์  
โดย    นายบูรินทร์ ชุณหพาณิชย์  
สาขาวิชา                                      เคมีเทคนิค  
อาจารย์ที่ปรึกษา                              อ.ดร. เพียรพรรค ทศกร

---

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร.เปี่ยมศักดิ์ เมนะเสวต)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิทิตสานต์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(อ.ดร. เพียรพรรค ทศกร)

..... กรรมการ  
(ศาสตราจารย์ ดร.ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ)

..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ งามประเสริฐสิทธิ์)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บูรินทร์ ชุณหพาณิชย์ : ผลของขนาดอนุภาคซิลิเกตต่ออย่างธรรมชาติวัลคาไนซ์

(EFFECTS OF PARTICLE SIZE OF SILICATES ON NATURAL RUBBER VULCANIZATE)

อ. ที่ปรึกษา : อ.ดร.เพียรพรรค ทศกร 73 หน้า. ISBN 974-17-6079-5.

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาผลของขนาดอนุภาคอะลูมิเนียมซิลิเกตที่มีผลต่อความแข็งแรงของยางวัลคาไนซ์ เพื่อหาขนาดอนุภาคอะลูมิเนียมซิลิเกตเพื่อใช้ผลิตยางรูปพรรณที่มีความหนาแน่นน้อย แต่ยังคงความแข็งแรงไว้ กาวแก้ว (สารละลายโซเดียมซิลิเกต 40%) มีอัตราส่วนระหว่างโซเดียมออกไซด์ต่อซิลิกอนไดออกไซด์ เป็น 1 ต่อ 3 ถูกใช้เป็นสารตัวเติม เนื่องจากมีปริมาณซิลิกอนไดออกไซด์ที่ใช้ทำปฏิกิริยาสูง อะลูมิเนียมซิลิเกตถูกเตรียมโดยปฏิกิริยาระหว่างกาวแก้วที่ความเข้มข้น 10, 20, 30, 40, 60, 80 และ 100% กับสารละลายสารส้ม ที่ pH ต่างๆดังนี้ คือ 2.98, 3.08, 3.15 และ 3.28 ตามลำดับ ในน้ำยางพริวัลคาไนซ์ ผลิตภัณฑ์จะถูกทำให้แห้ง ถูกบีบอัด และวิเคราะห์ขนาดอนุภาคอะลูมิเนียมซิลิเกต ค่าความต้านทานแรงดึง และค่าความแข็งแรง พบว่าน้ำยางชั้นที่มีความเข้มข้นของกาวแก้วน้อย และความเป็นกรดของสารละลายสารส้มต่ำ มีขนาดอนุภาคอะลูมิเนียมซิลิเกตอยู่ในช่วง 50-75 นาโนเมตร ค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้น เมื่อขนาดอนุภาคอะลูมิเนียมซิลิเกตเล็กกว่า 200 นาโนเมตร ความต้านทานแรงดึงมีค่าสูงขึ้นเมื่อขนาดอนุภาคอะลูมิเนียมซิลิเกตเล็กกว่า 250 นาโนเมตร เมื่อน้ำยางพริวัลคาไนซ์ถูกแช่แข็ง จากนั้นน้ำแข็งถูกทำให้ละลาย ยางเริ่มแห้ง จะถูกนำไปวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เพื่อผลิตยางรูปพรรณ ซึ่งมีค่าความแข็งแรงสูงสุด 39 IRHD ที่ความหนาแน่น 0.87 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่อนำพอลิเมอร์เติมในช่องว่างของยางรูปพรรณในที่นี้ใช้ เมททิลเมทาไครเลตกับเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ พบว่ายางวัลคาไนซ์มีค่าความแข็งแรงสูงถึง 67 IRHD

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา..เคมีเทคนิค.....

สาขาวิชา..เคมีเทคนิค.....

ปีการศึกษา..2547.....

ลายมือชื่อนิสิต.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

## 4572355223 : MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY

KEY WORD: SODIUMSILICATE / NATURAL RUBBER

BURIN CHUNHAPANICH : EFFECTS OF PARTICLE SIZE OF SILICATES ON  
NATURAL RUBBER VULCANIZATE. THESIS ADVISOR :PIENPAK  
TASKORN, Ph.D., 73 pp. ISBN 974-17-6079-5.

The objectives of this research cover investigation the effect of particle size of aluminium silicate on the physical properties of rubber vulcanizate, determination of particle size of aluminium silicate for the production of porous, low density rubber with applicable strength. Water glass (40% sodium silicate solution) with sodium oxide and silicon dioxide ratio of 1:3 was selected owing to high quantity of silicon dioxide for reaction. Aluminium silicate was formed in situ by reacting water glass at concentrations of 10, 20, 30, 40, 60, 80 and 100% with alum solutions at the pH values of 2.98, 3.08, 3.15 and 3.28 respectively in compound NR latex. The products were dried, compressed and analyzed for particle sizes of aluminium silicate, tensile strength and Shore A hardness. It was found that by compounding latex concentrate at low concentration of water glass and low pH of alum solution the particle size of aluminium silicate was 50-75 nm. Higher hardness was observed when particle size was smaller than 200 nm. Tensile strength was high when the particle size was smaller than 250 nm. When the compound was frozen in a mold, thawed, dried and vulcanized (temperature 150°C, time 1 hour) to produce a porous rubber medium, its hardness decreased (maximum hardness 39 IRHD) with its density. When the pores were filled with methyl methacrylate which polymerized, using benzoyl peroxide, while the rubber was vulcanized the hardness was increased to 67 IRHD.

Department...Chemical Technology..... Student's signature.....

Field of study...Chemical Technology.. Advisor's signature.....

Academic year...2004.....

## กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.เพ็ชรพรค ทัศกร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา ความรู้ แนะนำแนวทางการทำวิจัย ตลอดจนให้ความเห็นในการปรับปรุงงานวิจัยให้สำเร็จ โดยสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.ภัทรพรณ ประศาสน์สารกิจ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ชราพงษ์ วิทิตสานต์ และรองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ งามประเสริฐสิทธิ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ความเห็น ความรู้ และคำแนะนำแนวทางการทำวิทยานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่เอื้อเฟื้อทุนในการทำวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีเทคนิคทุกท่าน รุ่นพี่ เพื่อนๆ และรุ่นน้องนิสิตที่ช่วยเหลือให้คำแนะนำ ตั้งแต่เริ่มทำวิจัยจนกระทั่งเสร็จสิ้นการวิจัย

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้คำสอน อบรมเลี้ยงดู ให้การสนับสนุน และเป็นกำลังใจให้เสมอมา



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญรูป.....	ฎ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
2. เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
ความรู้ทั่วไปของน้ำยางธรรมชาติ.....	4
น้ำยางข้น.....	10
การเตรียมสารเคมีที่ใช้กับน้ำยาง.....	12
การแยกด้วยเยื่อแผ่น.....	19
น้ำยางวัลคาไนซ์.....	23
สารส้ม.....	25
สารตัวเติม.....	26
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	29
3. เครื่องมือแล้ววิธีการทดลอง.....	31
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	31
สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	32
การดำเนินงานวิจัย.....	32
การเติมพอลิเมอร์ในยางรูปท่อน.....	35
4. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	37
หาสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างน้ำยางข้นกับกาวแก้ว.....	37
ศึกษาการตกตะกอนของอนุภาคอะลูมิเนียมซิลิเกตขนาดต่างๆ.....	39
ทดสอบสมบัติเชิงกลของผลิตภัณฑ์.....	46
ศึกษาสมบัติของยางรูปท่อน.....	50
5. สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ.....	58
รายการอ้างอิง.....	61

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก.....	63
ภาคผนวก ก.....	64
ภาคผนวก ข.....	65
ภาคผนวก ค.....	67
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	73



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 ตัวอย่างส่วนประกอบน้ำยางสด.....	5
2.2 แสดงส่วนประกอบของอิมัลชัน.....	13
2.3 แสดงการเตรียมคิสเพอร์ชัน.....	15
ก.1 สมบัติของน้ำยางธรรมชาติเข้มข้นชนิดแอมโมเนียต่ำ.....	64
ข.1 แสดงปริมาณแก๊สไนโตรเจนซึมผ่านยางรูปนูน.....	65
ค.1 สมบัติทางกายภาพด้านความต้านทานแรงดึงที่ปริมาณโซเดียมซัลไฟด์เพิ่มขึ้น.....	67
ค.2 สมบัติทางกายภาพด้านความแข็งที่ปริมาณโซเดียมซัลไฟด์เพิ่มขึ้น.....	67
ค.3 สมบัติทางกายภาพด้านความต้านทานแรงดึงที่ความเข้มข้นของโซเดียมซัลไฟด์.....	68
ค.4 สมบัติทางกายภาพด้านความแข็งที่ความเข้มข้นของโซเดียมซัลไฟด์ต่าง ๆ กัน.....	68
ค.5 สมบัติทางกายภาพด้านความต้านทานแรงดึงที่ความเข้มข้นของโซเดียมซัลไฟด์ และค่าความเป็นกรดต่าง ๆ กัน.....	68
ค.6 สมบัติทางกายภาพด้านความต้านทานแรงดึงที่มีต่อขนาดอนุภาคอะลูมิเนียมเกิด.....	69
ค.7 สมบัติทางกายภาพด้านความแข็งที่ความเข้มข้นของโซเดียมซัลไฟด์ และค่าความเป็นกรดต่าง ๆ กัน.....	69
ค.8 สมบัติทางกายภาพด้านความแข็งที่มีต่อขนาดอนุภาคอะลูมิเนียมเกิด.....	70
ค.9 สมบัติทางกายภาพด้านความหนาแน่นของยางไม่วัลคาไนซ์ที่ความเข้มข้นของโซเดียมซัลไฟด์ และค่าความเป็นกรดต่าง ๆ กันของยางรูปนูน.....	70
ค.10 สมบัติทางกายภาพด้านความหนาแน่นของยางวัลคาไนซ์ที่ความเข้มข้นของโซเดียมซัลไฟด์ และค่าความเป็นกรดต่าง ๆ กันของยางรูปนูน.....	71
ค.11 สมบัติทางกายภาพด้านสภาพซึมผ่านของแก๊สไนโตรเจนในยางรูปนูน.....	71
ค.12 สมบัติทางกายภาพด้านความแข็งเทียบกับความหนาแน่นของยางรูปนูน.....	71
ค.13 สมบัติทางกายภาพด้านความแข็งของยางรูปนูนเทียบกับปริมาณอะลูมิเนียมซัลไฟด์.....	72

## สารบัญรูป

รูปประกอบ	หน้า
2.1 ลักษณะของเครื่องบอลมิด.....	17
2.2 ลักษณะภายในของเครื่องคอลลอยด์มิด.....	18
2.3 ลักษณะของเครื่องแอมพริฟายด์.....	18
2.4 ลักษณะของเครื่องอุตราอุตราโซนิกมิด.....	19
3.1 แสดงวัตถุคิบ และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	32
4.1 ค่าความต้านทานแรงดึงต่างเมื่อปริมาณอะลูมิเนียมซัลเฟตเพิ่มขึ้น.....	37
4.2 แสดงขนาดอนุภาคอะลูมิเนียมซัลเฟตที่ 7.58 phr.....	38
4.3 แสดงค่าความแข็ง เมื่อปริมาณอะลูมิเนียมซัลเฟตสูงขึ้น.....	38
4.4 ขนาดของอนุภาคอะลูมิเนียมซัลเฟตความเข้มข้น 100% ของ อะลูมิเนียมซัลเฟตที่ 7.58 phr.....	39
4.5 ขนาดของอนุภาคอะลูมิเนียมซัลเฟตความเข้มข้น 80% ของ อะลูมิเนียมซัลเฟตที่ 7.58 phr.....	39
4.6 ขนาดของอนุภาคอะลูมิเนียมซัลเฟตความเข้มข้น 60% ของกาวแก้วที่ 7.58 phr.....	40
4.7 ขนาดของอนุภาคอะลูมิเนียมซัลเฟตความเข้มข้น 40% ของกาวแก้วที่ 7.58 phr.....	40
4.8 ขนาดของอนุภาคอะลูมิเนียมซัลเฟตความเข้มข้น 20% ของ กาวแก้วที่ 7.58 phr.....	40
4.9 ขนาดอนุภาคอะลูมิเนียมซัลเฟตที่ความเข้มข้นของกาวแก้วต่างๆ โดย pH ของสารส้มเป็น 3.28.....	41
4.10 ขนาดของอนุภาคอะลูมิเนียมซัลเฟตความเข้มข้น 30% ของกาวแก้วที่ 50 phr และ pH ของสารส้ม 3.28.....	42
4.11 ขนาดของอนุภาคอะลูมิเนียมซัลเฟตความเข้มข้น 30% ของ โซเดียมซัลเฟตที่ 50 phr และ pH ของสารส้ม 3.15.....	42
4.12 ขนาดของอนุภาคอะลูมิเนียมซัลเฟตความเข้มข้น 30% ของโซเดียมซัลเฟตที่ 50 phr และ pH ของสารส้ม 3.08.....	42
4.13 ขนาดของอนุภาคอะลูมิเนียมซัลเฟตความเข้มข้น 30% ของโซเดียมซัลเฟตที่ 50 phr และ pH ของสารส้ม 2.98.....	42
4.14 ขนาดของอนุภาคอะลูมิเนียมซัลเฟตความเข้มข้น 20%	

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปประกอบ	หน้า
ของโซเดียมซัลไฟด์ที่ 50 phr และ pH ของสารส้ม 3.28 .....	43
4.15 ขนาดของอนุภาคอะลูมิเนียมซัลไฟด์ความเข้มข้น 20% ของโซเดียมซัลไฟด์ที่ 50 phr และ pH ของสารส้ม 3.15 .....	43
4.16 ขนาดของอนุภาคอะลูมิเนียมซัลไฟด์ความเข้มข้น 20% ของ โซเดียมซัลไฟด์ที่ 50 phr และ pH ของสารส้ม 3.08 .....	43
4.17 ขนาดของอนุภาคอะลูมิเนียมซัลไฟด์ความเข้มข้น 20% ของ โซเดียมซัลไฟด์ที่ 50 phr และ pH ของสารส้ม 2.98 .....	43
4.18 ขนาดของอนุภาคอะลูมิเนียมซัลไฟด์ความเข้มข้น 10% ของโซเดียมซัลไฟด์ที่ 50 phr และ pH ของสารส้ม 3.28 .....	44
4.19 ขนาดของอนุภาคอะลูมิเนียมซัลไฟด์ความเข้มข้น 10% ของ โซเดียมซัลไฟด์ที่ 50 phr และ pH ของสารส้ม 3.15 .....	44
4.20 ขนาดของอนุภาคอะลูมิเนียมซัลไฟด์ความเข้มข้น 10% ของ โซเดียมซัลไฟด์ที่ 50 phr และ pH ของสารส้ม 3.08 .....	44
4.21 ขนาดของอนุภาคอะลูมิเนียมซัลไฟด์ความเข้มข้น 10% ของ โซเดียมซัลไฟด์ที่ 50 phr และ pH ของสารส้ม 2.98 .....	44
4.22 ขนาดอนุภาคอะลูมิเนียมซัลไฟด์ที่ pH ของสารส้มต่างๆ โดยความเข้มข้นเป็น 30 % ของกาวแก้วที่ 50 phr .....	45
4.23 ขนาดอนุภาคอะลูมิเนียมซัลไฟด์ที่ pH ของสารส้มต่างๆ โดยความเข้มข้นเป็น 20 % ของกาวแก้วที่ 50 phr .....	46
4.24 ขนาดอนุภาคอะลูมิเนียมซัลไฟด์ที่ pH ของสารส้มต่างๆ โดยความเข้มข้นเป็น 10 % ของกาวแก้วที่ 50 phr .....	46
4.25 ค่าความต้านทานแรงดึงเมื่อความเข้มข้นของกาวแก้วลดลง.....	47
4.26 ผลของความต้านทานแรงดึงเมื่อความเข้มข้นของกาวแก้ว และ pH ของสารส้มเปลี่ยน.....	48
4.27 ค่าความต้านทานแรงดึงที่ขนาดอนุภาคของอะลูมิเนียมซัลไฟด์ที่ขนาดต่างๆ.....	48
4.28 ค่าความแข็งเมื่อความเข้มข้นของกาวแก้วลดลง.....	49
4.29 ผลของความแข็งเมื่อความเข้มข้นของกาวแก้ว และ pH ของสารส้มเปลี่ยน.....	50
4.30 ค่าความต้านทานแรงดึงที่ขนาดอนุภาคของอะลูมิเนียมซัลไฟด์มีขนาดเล็กลง.....	50

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปประกอบ	หน้า
4.31 แสดงค่าความหนาแน่นของยางไม้วัลคาไนซ์เทียบกับ ความเข้มข้นของกาวแก้วที่ 50 phr และค่าความเป็นกรดของสารส้ม.....	51
4.32 ค่าความหนาแน่นของยางไม้วัลคาไนซ์เทียบกับความเข้มข้น ของกาวแก้วที่ 50 phr และค่าความเป็นกรดของสารส้ม.....	52
4.33 ค่าสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สไนโตรเจนที่ความหนาแน่นต่างๆ.....	53
4.34 ยางรูปนูนที่นำมาทดสอบสภาพให้ซึมผ่านของแก๊ส.....	53
4.35 ค่าความแข็งเทียบกับความหนาแน่นโดยใช้อะลูมิเนียมซลิเกต 7.58 phr.....	54
4.36 ค่าความแข็งเทียบกับปริมาณของอะลูมิเนียมซลิเกต.....	54
4.37 ยางรูปนูนที่ใช้ในการทดสอบค่าความแข็ง.....	55
4.38 ลักษณะรูปนูนของยางที่ผสมกาวแก้ว 0 phr.....	56
4.39 ลักษณะรูปนูนของยางที่ผสมกาวแก้ว 10 phr.....	56
4.40 ลักษณะรูปนูนของยางที่ผสมกาวแก้ว 20 phr.....	56
4.41 ลักษณะรูปนูนของยางที่ผสมกาวแก้ว 30 phr.....	56
4.42 ลักษณะรูปนูนของยางที่ผสมกาวแก้ว 40 phr.....	56
4.43 ลักษณะรูปนูนของยางที่ผสมกาวแก้ว 50 phr.....	56

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในอนาคตผลิตภัณฑ์ต่างๆจะเข้ามาจากอย่างมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งพวกเฟอร์นิเจอร์ และวัสดุก่อสร้างที่ทำมาจากไม้หรือปูนซีเมนต์ จะถูกแทนที่ด้วยวัสดุที่ทำมาจากยาง เนื่องจากไม้เป็นวัสดุที่หายากและมีราคาแพง ส่วนปูนซีเมนต์มีกระบวนการผลิตที่ยุ่งยากและซับซ้อนรวมทั้งมีลักษณะเป็นฝุ่นสามารถฟุ้งกระจายอยู่ในอากาศได้ ส่งผลให้เป็นมลพิษทางอากาศสำหรับผู้ที่นำมาใช้งาน จากปัญหาดังกล่าว จึงเปลี่ยนวัสดุที่ใช้มาเป็นยางธรรมชาติ ซึ่งเป็นวัสดุที่หาได้ง่าย ราคาไม่แพง และมีอยู่มากภายในประเทศ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักขึ้นกับขนาดของสารตัวเติม รวมถึงวิธีการผสมน้ำยางกับสารผสมต่างๆในรูปของเหลวแทนการผสมในรูปของแข็งด้วยเครื่องบดผสม เนื่องจากการผสมด้วยเครื่องบดผสมจะต้องใช้พลังงานในการบดผสมมาก อีกทั้งการกระจายตัวของสารตัวเติมต่างๆจะไม่ทั่วถึง ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้สมบัติเชิงกลของยางด้อยลง สารตัวเติมที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือกาวแก้ว เนื่องจากสามารถตกตะกอนเป็นซิลิเกตได้ มีราคาถูก และหาได้ง่ายภายในประเทศ จึงเหมาะที่จะใช้เป็นสารเสริมแรงพร้อมทั้งเป็นการลดต้นทุนของผลิตภัณฑ์ยางที่เสริมแรงด้วยซิลิเกต โดยทั่วไปการตกตะกอนซิลิเกตจะทำการตกตะกอนออกมาเป็นเม็ดแล้วจึงนำไปผสมกับยางแผ่นธรรมชาติ แต่ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการตกตะกอนซิลิเกตภายในน้ำยางขึ้นเพื่อลดขั้นตอนการผลิตต่างๆรวมทั้งดูลักษณะการกระจายตัวและทดสอบสมบัติที่ได้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของยางวัลคาไนซ์ให้เหมาะสมกับการใช้งาน

### 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

#### 1.2.1 ศึกษาการตกตะกอนของอนุภาคซิลิเกตในน้ำยางขึ้น

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อขนาดอนุภาคอะลูมิเนียมซิลิเกตในน้ำยางขึ้น โดยปัจจัยที่ศึกษา คือ ความเข้มข้นของกาวแก้ว และความเป็นกรดของสารส้ม

### 1.2.2 ศึกษาผลของขนาดอนุภาคอะลูมิเนียมซิลิเกตที่มีต่อความแข็งแรงของยางวัลคาไนซ์

อนุภาคอะลูมิเนียมซิลิเกตที่มีขนาดแตกต่างกัน มีผลต่อสมบัติกายภาพต่างๆ เช่น ความต้านทานแรงดึง ความแข็ง เป็นต้น

## 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

### 1.3.1 ได้สูตรและ เทคนิคในการผสมน้ำยางชั้นกับสารเสริมแรงกาวแก้ว

ในปัจจุบันการใช้ยางธรรมชาติในงานอุตสาหกรรม จะนำยางธรรมชาติมาผสมกับสารเคมี ซึ่งเป็นของแข็งในเครื่อง Internal Mixer แล้วนำไปบดผสมด้วยเครื่อง Two Roll Mill ซึ่งเป็นกรรมวิธีที่ใช้พลังงานในการบดผสมสูง จึงเกิดแนวความคิดที่จะทำการบดผสมสารเคมีที่อยู่ในรูปสารแขวนลอยในน้ำยาง ซึ่งเป็นกระบวนการที่ง่าย สะดวก และรวดเร็ว อีกทั้งยังลดต้นทุนการผลิตได้อีกด้วย

1.3.2 ได้ผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติที่มีสมบัติเหมาะสมในการนำไปใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง เช่น กระเบื้องยาง วัสดุบูรณคูชับเชื้อเพลิงแข็ง เป็นต้น

เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้มีน้ำหนักเบา แต่ยังคงความแข็งแรงอยู่ จึงเหมาะที่จะทำเป็นวัสดุก่อสร้างมวลเบาต่างๆ ได้ และใช้บรรจุก๊าซด้วยรูพรุนแบบเปิด

## 1.3 ขอบเขตและวิธีดำเนินการวิจัย

1.3.1. ค้นคว้าเอกสารในเรื่องต่อไปนี้

1.3.2. หาสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างกาวแก้วกับน้ำยางชั้นเพื่อให้ได้สมบัติเชิงกลของยางดีที่สุด โดยใช้น้ำยางชั้นต่อกาวแก้วดังนี้ 100:0, 100:10, 100:20, 100:30, 100:40 และ 100:50

1.3.3. ศึกษาการตกตะกอนของอนุภาคซิลิเกตขนาดต่างๆ ในน้ำยางชั้นที่สัดส่วนที่ดีที่สุด

1.3.2. ดังนี้

1. เปลี่ยนค่า pH ของระบบในช่วง 3-4 โดยใช้  $Al_2(SO_4)_3$

ในที่นี้ปรับเปลี่ยน pH ของสารละลายสารส้ม 4 ค่าดังนี้ คือ 2.98, 3.08, 3.15 และ 3.28

เพื่อศึกษาการตกตะกอนของอนุภาคอะลูมิเนียมซิลิเกต

## 2. เปลี่ยนความเข้มข้นของกาวแก้วตั้งแต่ 10 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์

โดยปรับความเข้มข้นของสารละลายกาวแก้วตั้งแต่ 10, 20, 30, 40, 60, 80 และ 100% ด้วยการเติมน้ำลงในกาวแก้ว

ทดสอบสมบัติเชิงกลของผลิตภัณฑ์ดังนี้

### 1. ความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength)

ศึกษาการยึดของยางผสมกาวแก้ว โดยวัดปริมาณแรงที่ใช้ดึงยางผสมจนขาดเพื่อดูความคงทนแข็งแรงเพียงพอต่อการนำไปใช้งานหรือไม่

### 2. ความพรุนของยางโดยการไหลผ่านของก๊าซ

ศึกษาการซึมผ่านของแก๊สไนโตรเจน เพื่อดูการกักเก็บของยางผสมว่าสามารถใช้เป็นเยื่อเลือกผ่านแก๊ส หรือมีความสามารถในการระบายแก๊ส

### 3. ค่าความแข็ง (Hardness)

ศึกษาการรับแรงกดอัดของยางผสม โดยวัดปริมาณแรงที่กดอัดลงมายังยางผสมสามารถทนแรงกดอัดได้มากพอที่จะนำไปใช้งานหรือไม่

1.3.5. ศึกษาการกระจายตัวของซิลิกาในยางวัลคาไนซ์ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope เพื่อดูขนาด และการกระจายตัวของอะลูมิเนียมซิลิเกตอนุภาคในยางผสม ว่ามีลักษณะการกระจายตัว และมีขนาดอย่างไร

### 1.3.6. วิเคราะห์ข้อมูล สรุปผลการทดลองและเขียนวิทยานิพนธ์

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับน้ำยางธรรมชาติ

##### 2.1.1 สมบัติและส่วนประกอบของน้ำยางสด

น้ำยางสด หมายถึง น้ำยางธรรมชาติที่กรี๊ดได้จากต้นยางพารา (*Hevea brasiliensis*) มีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวคล้ายนม มีความหนาแน่นระหว่าง 0.975-0.98 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีความเป็นกรด-เบส (pH) 6.5-7 ของเหลวนี้นี้ประกอบด้วยส่วนประกอบที่เป็นอนุภาคกลมเล็กๆของพอลิเมอร์ยาง (เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1-5 ไมครอน) จะเป็น Dispersion phase แขนงลอยกระจายอยู่ในตัวกลางที่เป็นน้ำ (Dispersion medium) อาจเรียกตัวกลางที่เป็นน้ำว่า ซีรัม (Serum)

น้ำยางจัดอยู่ในระบบคอลลอยด์ประเภท Hydrosol คืออนุภาคยางที่อยู่ใน Dispersion phase เป็นของแข็ง ตัวกลางหรือตัวทำละลายที่เป็นของเหลวเป็นน้ำ น้ำยางอยู่ในระบบคอลลอยด์ที่ค่อนข้างซับซ้อน น้ำยางสดธรรมชาติที่ได้จากการกรี๊ดต้นยางพารา มีองค์ประกอบที่สำคัญ 4 ส่วนคือ

- Rubber phase
- Bottom fraction
- Serum
- Frey waaling

เมื่อพิจารณาจากองค์ประกอบของน้ำยางที่มีทั้งยาง และสารที่ไม่ใช่ยางมากมายหลายชนิด ซึ่งองค์ประกอบของน้ำยางนั้นจะมีความแปรปรวนอย่างกว้างขวางและมีสาเหตุกระทบหลายประการด้วยกัน เช่น พันธุ์ยาง อายุยาง ฤดูกาลกรี๊ดยาง อาจแบ่งส่วนประกอบของน้ำยางอย่างกว้างๆ ได้ 2 ส่วนคือ

1. ส่วนที่เป็นยาง (Dry Rubber Content, DRC) เป็นส่วนของสารพวกไฮโดรคาร์บอนอันเป็นหน่วยของไอโซพรีน ที่เชื่อมต่อกันประมาณ 2,000-5,000 หน่วยต่อ 1 โมเลกุล



2. ส่วนที่ไม่ใช่ยาง (Non Rubber Content, NRC) ส่วนนี้เป็นส่วนประกอบอื่นๆทั้งหมดที่ไม่ใช่ยาง มีส่วนประกอบต่างๆหลายชนิด เช่นน้ำตาล โปรตีน ไขมัน คาโรทีนอยด์ กลีเซอรอล เอนไซม์ และสารประกอบไนโตรเจน เป็นต้น โปรตีน และไขมันส่วนใหญ่จะดูดซับอยู่บนผิวอนุภาคยาง ทำหน้าที่ห่อหุ้มอนุภาคยางไว้ ช่วยรักษาสภาพความคงตัวของน้ำยางขณะที่อยู่ในท่อน้ำยาง ให้อยู่ในสภาพแขวนลอย และบางส่วนละลายอยู่ในน้ำ

#### ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างส่วนประกอบน้ำยางสด

ส่วนประกอบ	ร้อยละ
ของแข็งทั้งหมด (Total Solid Content, TSC)	36
เนื้อยางแห้ง (Dry Rubber Content, DRC)	33
โปรตีน	1-1.5
เรซิน	1.25
เถ้า (สูงถึง)	1
น้ำตาล	1
น้ำ (ในปริมาณที่รวมแล้วเป็น)	100

ปริมาณเนื้อยางของน้ำยางธรรมชาติอาจแปรปรวนตั้งแต่ 25-45% ความแตกต่างระหว่างปริมาณที่เป็นของแข็งทั้งหมดในน้ำยางกับปริมาณเนื้อยางแห้งประมาณ 3% แต่ถ้าในกรณีน้ำยางที่ปั่นทำให้ขึ้นแล้ว ความแตกต่างดังกล่าวลดเหลือประมาณ 1.5% เท่านั้น

#### 2.1.2 การรักษาสภาพน้ำยางสด

ปัจจัยที่มีผลต่อความคงสถานะของเหลวของน้ำยาง ได้แก่

1. โปรตีน ส่วนหนึ่งของโปรตีนจะดูดซับอยู่รอบผิวของอนุภาคยางหรือฟอร์มชั้นห่อหุ้ม (Hydrated Protein Envelope) อนุภาคยางไว้ ชั้นห่อหุ้มนี้มีความสำคัญต่อสถานะความคงตัวเป็นของเหลวของน้ำยางเพราะชั้นโปรตีนนี้จะป้องกันไม่ให้แต่ละอนุภาคยางรวมตัวกัน อนึ่งเมื่อมีการสูญเสีย (Dehydrated) ในชั้นของโปรตีนที่ห่อหุ้มอนุภาคยางอยู่ ซึ่งอาจเกิดขึ้นโดยการเติมแอลกอฮอล์

หรือสารบางอย่างลงในน้ำยาง น้ำยางจะสูญเสียความคงตัวและเกิดการรวมของอนุภาคยางจับตัวเป็นก้อน โคลแอคกูลัม (Coagulum)

2. ประจุไฟฟ้าลบบรอบอนุภาคยาง ซึ่งจะก่อให้เกิดแรงผลักระหว่างอนุภาค ช่วยรักษาสถานะการกระจายตัวของอนุภาคยาง (Dispersion) ทำให้น้ำยางเป็นของเหลวอยู่ได้ ถ้าหากเกิดผลกระทบกระเทือนที่ทำให้ประจุไฟฟ้าลดลง อนุภาคยางก็จะรวมกันทำให้มีขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้น การเคลื่อนย้ายการกระจายตัวของอนุภาคก็จะค่อยๆลดลงจนในที่สุดจะเกิดเป็นก้อน โคลแอคกูลัม ในทางตรงกันข้าม ถ้าหากประจุลบที่อนุภาคยางเพิ่มขึ้น ความเสถียรของน้ำยางก็จะเพิ่มขึ้น

### การใช้สารเคมีรักษาสภาพน้ำยาง

เนื่องจากน้ำยางมีสารประกอบพวกน้ำตาลที่เป็นอาหารของของแบคทีเรียและยีสต์ ดังนั้นทันทีที่น้ำยางไหลออกจากต้นยาง แบคทีเรียในอากาศบนรอยกรีดยาง เปลือกต้นยาง และในถ้วยรับน้ำยาง จะลงปะปนกับน้ำยาง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงน้ำยางเป็นสารพวกกรด น้ำยางสดตอนไหลจากต้นมีสถานะเป็นเบสก็จะถูกเปลี่ยนสถานะเป็นกรดหากไม่มีการเติมสารเคมีรักษาสภาพน้ำยาง (Preservatives) สภาพความเป็นกรดจะทำลายจะทำลายชั้นโปรตีนที่ห่อหุ้มอนุภาคยางอยู่ ทำให้น้ำยางเสียดความคงสถานะเป็นของเหลวเหนียวและจับตัวเป็นเม็ดเล็กๆที่เรียกว่า “เม็ดพริก” มีกลิ่นเหม็นของสารบูดเน่าภายในเวลาไม่กี่ชั่วโมงนับจากการไหลออกจากต้นยาง การจับตัวดังกล่าวเรียกว่า “การจับตัวที่เกิดเองตามธรรมชาติ” (Natural or Spontaneous Coagulation) ซึ่งจะเกิดช้าหรือเร็วเพียงใดขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น สภาพแวดล้อม อุณหภูมิ และสมบัติความคงตัวของน้ำยางแต่ละพันธุ์ เป็นต้น อย่างไรก็ตามเมื่อน้ำยางเกิดเสียดสถานะความคงเป็นของเหลวไปแล้วก็เกิดการแยกส่วนเป็นก้อน โคลแอคกูลัมกับส่วนที่เป็นน้ำ คือ ซีรัม และมีกลิ่นบูดเน่าเหม็น ดังนั้นเพื่อป้องกันมิให้น้ำยางจับเป็นก้อนก่อนเวลาที่ต้องการหรือเพื่อน้ำยางอยู่ในสภาพของเหลวที่ต้องการ จึงจำเป็นต้องเติมสารเคมีรักษาสภาพของน้ำยาง

สารเคมีที่จะเป็นตัวรักษาให้น้ำยางคงสถานะเป็นของเหลวควรมีสมบัติดังต่อไปนี้

- ควรทำลายหรือกีดขวางปฏิกิริยาของแบคทีเรียได้
- ควรส่งเสริมสถานะการเป็นสารคอลลอยด์ของน้ำยาง โดยการเพิ่มประจุและเพิ่มพลังงานระหว่างอนุภาคยางกับส่วนที่เป็นน้ำ (Rubber-Water Interface) และขณะที่น้ำยางออกจากต้นยาง ขึ้น

ของสารโปรตีนที่ห่อหุ้มอนุภาคของยูมีฤทธิ์เป็นเบส ฉะนั้นสารที่รักษาสภาพน้ำยางจึงควรเพิ่ม pH ให้กับน้ำยาง

- ควรเป็นสารที่ทำให้พวกอนุภาคของโลหะหนักไม่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งจะทำได้โดยการเกิดปฏิกิริยา หรือโดยการทำให้เกิดการตะกอนเป็นเกลือที่ไม่ละลายน้ำก็ได้ ความต้องการทำให้อนุภาคของโลหะไม่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยานั้นมีเหตุผล 2 ประการ คือ ประการแรกอนุภาคของโลหะเป็นตัวการสำคัญในการเจริญอยู่ได้ของพวกจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุให้น้ำยางจับตัวกันเอง และประการที่สองอนุภาคดังกล่าวโดยเฉพะอนุภาคของแมกนีเซียมก่อให้เกิดการเสียดสภาพของน้ำยาง

- นอกจากคุณสมบัติดังกล่าวข้างต้นแล้ว สารรักษาสภาพของน้ำยาง ควรมีสมบัติที่ไม่เป็นพิษต่อทั้งคน และทั้งเนื้อยาง ไม่ควรทำให้สีของน้ำยางหรือสีของยางที่แห้งแล้วเปลี่ยนแปลง ไม่ควรมีกลิ่นรุนแรงและไม่ควรก่อให้เกิดปัญหายุ่งยากต่อกระบวนการนำน้ำยางไปแปรรูปเพื่อใช้ในงาน และประการสุดท้ายคือควรมีราคาถูก และขนย้ายได้สะดวก

สารเคมีที่ใช้รักษาสภาพน้ำยางอาจแบ่งได้เป็น 3 พวก คือ

### 1. แอมโมเนีย

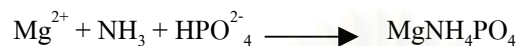
แอมโมเนีย เป็นสารเคมีที่นิยมใช้รักษาสภาพน้ำยางกันมาช้านาน และปัจจุบันก็ยังอยู่ในความนิยมของวงการอุตสาหกรรมยาง Johnson and Norvis ได้บันทึกผลการใช้แอมโมเนียรักษาหน้ายางเป็นครั้งแรกในปี พ.ศ. 2396 และนับจากนั้นมาแอมโมเนียก็ได้ชื่อว่า เป็นสารมาตรฐานสำหรับการรักษาสภาพน้ำยาง ซึ่งในการผลิตน้ำยางชั้น แอมโมเนียถูกใช้ทุกขั้นตอนของกระบวนการผลิต ปริมาณประมาณ 0.2% ของแอมโมเนียต่อน้ำหนักยาง พอเพียงที่จะรักษาสภาพน้ำยางไว้ได้ในระยะเวลาช่วงสั้น (ประมาณ 1-3 วัน หลังกรีด) และปริมาณประมาณ 0.7% แอมโมเนียต่อน้ำยาง พอเพียงที่จะรักษาสภาพน้ำยางไว้ได้ในช่วงเวลานาน (เป็นเวลาหลายๆเดือน)

แอมโมเนียทำหน้าที่ต่างๆในน้ำยาง พอสรุปได้ดังต่อไปนี้

ก. ทำหน้าที่เป็นตัวทำลายแบคทีเรีย (Bactericide) แอมโมเนียจะให้ประสิทธิภาพในการทำลายแบคทีเรียได้ดีมากถ้าหากเติมลงในน้ำยางในปริมาณเกินกว่า 0.35% ต่อน้ำหนักยาง ทั้งนี้ที่น้ำยางถูกกรีดออกจากต้น

ข. แอมโมเนียเป็นเบส จึงช่วยส่งเสริมความเป็นเบสของซีรัม ซึ่งก่อให้เกิดผลการส่งเสริมสถานะของน้ำยางอยู่ได้

ค. แอมโมเนียจะตกตะกอนอนุมูลอิสระของโลหะ แอมโมเนียสามารถหยุดปฏิกิริยาอนุมูลของโลหะบางชนิดได้โดยการเกิดเป็นแอมมีน (Ammine) และเกิดตะกอนไฮโดรเพอโรกไซด์ที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble Hydroperoxides) กับพวกอนุมูลของแมกนีเซียม และแอมโมเนียยังสามารถเกิดเป็นตะกอนแมกนีเซียม แอมโมเนียฟอสเฟต เมื่อมีอนุมูลฟอสเฟตอยู่ในน้ำยาง



ตะกอนที่เกิดขึ้นนี้ จะตกอยู่ก้นถังน้ำยางในรูปของตะกอน (Sludge) ที่รวมเอาพวกดิน ทราย สิ่งสกปรก พวกเปลือกไม้ใบไม้ตกตะกอนลงไปด้วย

ง. แอมโมเนียจะก่อร่างเป็นสบู่ของแอมโมเนีย โดยรวมตัวกับกรดไขมันที่ได้จากไฮโดรไลซ์สารพวกไลปิด สบู่แอมโมเนียมีสมบัติช่วยรักษาความคงตัวของน้ำยาง

จ. แอมโมเนียไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ นอกเสียจากสูดแอมโมเนียเข้าไปมาก หรือนอกเสียจากว่าผิวหนังถูกสารละลายแอมโมเนียเข้มข้น แอมโมเนียเป็นสารเป็นสารที่ระเหยง่ายจึงสามารถกำจัดออกได้ง่ายเมื่อต้องการกำจัด และไม่เหลือผลตกค้างอยู่ในเนื้อยางถึงแม้ว่าแอมโมเนียจะได้ทำการเปลี่ยนแปลงสารพวกไมโซไซกันน้ำยางก็ตาม และแอมโมเนียมีก่อกำเนิดสีในน้ำยางหรือในน้ำยางที่แห้งแล้วมากนัก อย่างไรก็ตามแอมโมเนียมีข้อเสียเกี่ยวกับกลิ่นจุนรุนแรง และเนื่องจากการเก็บรักษาแอมโมเนียไม่สะดวกจึงเป็นผลให้แอมโมเนียมีราคาแพง นอกจากนี้แอมโมเนียก่อกำเนิดปัญหาเกี่ยวกับกระบวนการผลิตบางอย่าง เช่น ก่อกำเนิดลักษณะครีมแข็ง (thickening) เมื่อมีการเติมพวกซิงค์ออกไซด์ในกระบวนการผลิต สำหรับกลไกการเกิดครีมแข็งดังกล่าวยังไม่เป็นที่เข้าใจกัน แต่สันนิษฐานว่าอาจเนื่องมาจากปฏิกิริยาที่ถูกกระตุ้นด้วยความร้อน (Heat-Sensitizing Reaction) ของสารซิงค์ออกไซด์ แอมโมเนีย และอนุมูลของแอมโมเนีย นอกจากนี้แอมโมเนียยังขัดขวางการเกิดเจล (Gelation) ของน้ำยาง แบบที่ใช้สารโซเดียมซิติโคฟลูออไรด์ จึงเกิดความจำเป็นที่ต้องลดปริมาณแอมโมเนียให้ต่ำก่อนหน้าการผลิตยางพองน้ำโดยกระบวนการซิติโคฟลูออไรด์ วิธีที่นิยมไล่แอมโมเนีย คือ วิธีระบายอากาศ (Aeration)

## 2. แอมโมเนียร่วมกับสารอื่น

สารอื่นที่ใช้รักษาน้ำยางร่วมกับแอมโมเนียถือเป็นสารช่วย (Secondary Preservation) เช่น

ก. โซเดียม เพนตะคลอโรโรไทโอฟินอล (SPP, Sodium Pentachloro Thiophenol) 0.2% กับ แอมโมเนีย 0.2% ต่อน้ำหนักยาง น้ำยางที่ใช้สารนี้รักษาสภาพมีข้อดีเกี่ยวกับการคงสภาพเป็นน้ำยาง คือ มีความคงตัวเครื่องกลสูง แต่สีของน้ำยางแห้งที่ได้จากน้ำยางซึ่งมีโซเดียมเพนตะคลอโรโรไทโอฟินอลอยู่ด้วย จะมีสีคล้ำกว่าน้ำยางที่มีเกลือของแอมโมเนีย นอกจากนี้อนุมูลของเพนตะคลอโรโรไทโอฟินอลมีความสามารถหยุดปฏิกิริยาอนุมูลของโลหะหนักบางชนิดได้ แต่ข้อเสียของสารพวกเพนตะคลอโรโรไทโอฟินอล คือ มีกลิ่นเหม็น เป็นพิษ การสูดหายใจเอาไอของสารนี้เข้าไป จะเป็นอันตรายต่อร่างกาย และผิวหนังด้วย น้ำยางที่ใช้สารนี้รักษาสภาพจึงถูกห้ามนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้กับอาหารและนอกจากนี้ น้ำที่ใช้ล้างยางพวกที่มีสารนี้อยู่ด้วยจะเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ

ข. ซิงค์ไดอัลคิลไดไทโอคาร์บาเมต (Zinc Dialkyl Dithiocarbamate, ZDC) ปริมาณ 0.1-0.2% ของกรดลอริกพร้อมกับแอมโมเนีย 0.2% ต่อน้ำหนักยาง การเติมกรดลอริกเพื่อให้เกิดอนุมูลลบลดเรตในซีรัมที่เป็นเบสของน้ำยาง ซึ่งจะช่วยให้ส่งเสริมสภาพน้ำยางในระดับเดียวกับที่ใช้แอมโมเนียปริมาณปกติคือ 0.7% ต่อน้ำหนักยาง ปฏิกิริยาการเกิดวัลคาไนซ์ของน้ำยางที่มี ZDC จะถูกกระทบกระเทือนบ้างเล็กน้อย และยางที่แห้งแล้วมักเปลี่ยนสีเมื่อเสื่อมสภาพ

ค. อะมิโนฟินอล-อีดีทีเอ (Aminophenol-EDTA) เช่น Tridimethyl Aminoethyl Phenol เมื่อใช้รวมกันกับ 0.2% ของแอมโมเนียจะช่วยทำลายแบคทีเรีย

ง. กรดบอริก (Boric Acid) ปริมาณ 0.2% กับ 0.2% ของแอมโมเนีย และ 0.05% ของกรดบอริก เป็นสารช่วยที่อยู่ความนิยมนมาก เนื่องจากสีของยางที่แห้งแล้วจากน้ำยางระบบที่มีกรดบอริกช่วยรักษานั้น ไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเสื่อมสภาพ และกรดบอริกไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ อีกทั้งยังมีราคาถูก และขนย้ายได้ง่ายเพราะอยู่ในรูปของแข็ง

### 3. สารเคมีอื่นๆ

สารเคมีอื่นๆ ได้แก่

ก. พอร์มาลดีไฮด์ เดิมพอร์มาลดีไฮด์ 0.15-0.2% ลงในถังรวมน้ำยางทันทีที่กรีดยางได้ ถ้าเติมได้เร็วเพียงใดก็จะช่วยฆ่าแบคทีเรียได้เร็วเพียงนั้น น้ำยางที่ใช้ระบบการรักษาดังกล่าวนี้มีความคงตัวสูง

ข. โซเดียมซัลไฟด์ เป็นสารรักษาสภาพน้ำยางในช่วงเวลาสั้นๆ โดยเติมสารนี้ลงในถ้วยรองรับน้ำยางหรือถังรับน้ำยาง โดยเฉพาะเมื่อนำน้ำยางไปทำยางเครพสีจางแนะนำให้ใช้โซเดียมซัลไฟด์ 0.05% ต่อน้ำหนักยางทั้งหมด โดยเติมในรูปของสารละลายเจือจาง 3% หยด 2-3 หยดลงในถ้วยน้ำยางแล้วเติมส่วนที่เหลือลงในถังรับน้ำยาง

ก. โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ สารนี้ปกติจะใช้รักษาน้ำยางชั้นที่ผลิตโดยวิธีระเหยน้ำ เนื่องจากโปแตสเซียมมีสภาพเป็นเบสจึงทำลายพวกจุลินทรีย์ได้ดี และนอกจากนี้ยังให้ผลช่วยความคงตัวของน้ำยางด้วย อีกทั้งยังไม่มีปัญหาเกี่ยวกับการเกิดคริมแข็งเมื่อเติม ZnO ลงในน้ำยาง

ง. สารปฏิชีวนะ (Antibiotics) โดยใช้สารนี้ 0.001% โดยน้ำหนัก ลงในน้ำยางในรูปของอิมัลชัน หรือ ดิสเพอร์ชันหรือรูปของโลหะ เบส หรือเกลือแอมโมเนีย ซึ่งปรากฏว่าระบบการรักษาน้ำยางดังกล่าวนี้ให้ผลกับน้ำยางในช่วงเวลาสั้นๆ ได้ดีมาก และยังไม่ทำให้น้ำยางเปลี่ยนแปลงสีอีกด้วย

### การรวบรวมน้ำยางสด

น้ำยางสดเมื่อถึงโรงงานผลิตน้ำยางชั้น จะผ่านการกรองตะแกรงขนาด 80 เมช. ลงสู่ถังรวม และนำตัวอย่างน้ำยางทดสอบหาปริมาณเนื้อยางแห้ง หากน้ำยางสดนั้นมีปริมาณเนื้อยางแห้งน้อยกว่า 25% จะไม่นำไปผลิตน้ำยางชั้น เมื่อทราบปริมาณน้ำยางแห้งว่าเหมาะสมแล้วจึงรีบผ่านก๊าซแอมโมเนียสู่น้ำยางประมาณเกินกว่า 0.4% ของน้ำยาง แล้วจึงปล่อยให้ น้ำยางได้ตกตะกอนพวกสิ่งแปลกปลอมจนวันรุ่งขึ้น หากทราบว่าน้ำยางนั้นๆ มีปริมาณแมกนีเซียมสูง ก็ให้เติม Diammonium Hydrogen Phosphate เพื่อให้มีปฏิริยาการเกิด Magnesium Ammonium Phosphate ซึ่งจะตกตะกอนลงก้นถังขณะที่ไว้ข้ามคืน ตะกอนเหล่านี้จะถูกแยกออกจากน้ำยาง (น้ำยางสดก่อนนำไปปั่นควรมีแมกนีเซียมน้อยกว่า 50 ppm เมื่อปั่นขึ้นแล้วควรมีแมกนีเซียมไม่เกิน 20 ppm) และนำตัวอย่างน้ำยางนี้ไปทดสอบหาจำนวนกรดไขมันระเหยได้ เพื่อให้แน่ใจว่าน้ำยางนี้ยังได้รับการรักษาสภาพพอเพียงที่จะนำไปผลิตน้ำยางชั้นได้ น้ำยางที่มีการรักษาสภาพดีพอจะต้องมีจำนวนกรดไขมันระเหยได้ไม่เกิน 0.05 และน้ำยางที่มีจำนวนกรดไขมันระเหยได้สูง จะไม่ใช่ผลิตเป็นน้ำยางชั้น

## 2.2 น้ำยางชั้น

น้ำยางสามารถนำไปแปรรูปเป็นยางวัตถุดิบขั้นต้น (Crude Rubber) ได้หลายชนิด ขึ้นอยู่กับว่า จะต้องนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายประเภทใด น้ำยางชั้นก็จัดว่าเป็นยางวัตถุดิบขั้นต้นชนิดหนึ่ง นอกจากน้ำยางชั้นแล้วยังมียางประเภทอื่นๆ อีกเช่นกัน ยางแผ่น ยางแผ่นรมควัน ยางแผ่นฟุ้งแห้ง ยางเครพ และยางแท่ง เป็นต้น

แต่ไม่ว่าการที่นำน้ำยางมาแปรสภาพให้เป็นอะไรต่อไปก็ตาม จะต้องกรองน้ำยางเอาฝุ่นผง และสิ่งสกปรกออกเสียก่อน มิฉะนั้นสิ่งที่ได้จากการแปรสภาพไปนั้น จะไม่อยู่ในมาตรฐาน แม้ว่าจะยังจำหน่ายได้ก็ตาม แต่เมื่อมีสิ่งสกปรกเจือปนแล้ว ย่อมถือว่าเป็นสินค้าชั้นเลว ราคาจะต่ำลง

น้ำยางข้น หมายถึง น้ำยางที่ผ่านการไล่น้ำออกไปบางส่วนเพื่อให้มีเนื้อยางแห้งเพิ่มเป็นร้อยละ 60 ของน้ำหนักยางทั้งหมด ปัจจุบันความต้องการน้ำยางข้นเพิ่มมากขึ้น จึงได้ปรับปรุงวิธีผลิตน้ำยางข้น ให้มีสมบัติที่ดีขึ้น ผลิตภัณฑ์ซึ่งใช้น้ำยางข้นเป็นวัตถุดิบได้แก่ ผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม (Dipping) แบบหล่อ (Casting) แบบพ่น (Spraying) แบบใช้แม่แบบ (Molding) และแบบทา (Spreading) เป็นต้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำยางข้นได้แก่ ตุ๊กตาที่กลวง กาว สีทา ถู่มือ ลูกโป่ง ยางฟองน้ำ (Latex Foam Rubber) และที่นอน เป็นต้น ดังนั้นการปรับปรุงสมบัติของน้ำยางข้นจึงมีความสำคัญมาก

น้ำยางสดจากสวนยังไม่เหมาะจะนำไปใช้งานในอุตสาหกรรม เนื่องจาก มีร้อยละของเนื้อยางต่ำ ดังนั้นจึงมีวิธีผลิตน้ำยางข้นเพื่อแยกส่วนที่ไม่ใช่ยางออกไป ทำให้อายุของเนื้อยางสูงขึ้นและง่ายต่อการเก็บรักษา

การผลิตน้ำยางข้นในทางการค้าแบ่งออกเป็น 4 วิธีคือ

1. วิธีทำให้เกิดครีม
2. วิธีใช้เครื่องหมุนเหวี่ยง
3. วิธีทำให้น้ำระเหย
4. วิธีการแยกด้วยไฟฟ้า

แต่จะขอกกล่าวเพียงวิธีการเดียว ซึ่งเป็นวิธีในการผลิตน้ำยางข้นสำหรับใช้ในการทดลองนี้คือ วิธีใช้เครื่องหมุนเหวี่ยง

วิธีใช้เครื่องหมุนเหวี่ยง เป็นวิธีที่นิยมมากในปัจจุบัน น้ำยางข้นที่ได้สามารถนำไปผลิตผลิตภัณฑ์ยางสำเร็จรูปได้แทบทุกชนิด เครื่องหมุนเหวี่ยงที่ใช้เรียกว่า Latex Separator หรือ Latex Concentrator เป็นการหมุนเหวี่ยงเพื่อแยกยางที่เบากว่า (ความถ่วงจำเพาะ 0.92) ออกจากของเหลวที่หนักกว่า (ความถ่วงจำเพาะ 1.02) ความหมุนเหวี่ยงที่ใช้มีหลักการทำงานดังนี้ เมื่อน้ำยางสดซึ่งใส่แอมโมเนียมา

แล้วจะไหลผ่านท่อเข้าไปในถ้วยปั่นแยก และถูกเหวี่ยงขึ้นข้างบน และไหลออกตามช่องทางตอนบนของเครื่อง ส่วนที่ได้นี้เรียกว่า น้ำยางข้น ส่วนของเหลวที่เหลือรวมทั้งของแข็งที่ไม่ใช่ยาง จะถูกแยกออกจากช่องทางด้านล่าง ของเหลวที่ผ่านช่องนี้เรียกว่า หางน้ำยาง (Skim Rubber) โดยวิธีนี้ น้ำยางจะถูกแยกออกเป็น 2 ทาง ทางหนึ่งเป็นน้ำยางข้นที่มีจำนวนของแข็งทั้งหมดประมาณร้อยละ 61.5 และมีเนื้อยางแห้งร้อยละ 60 อีกทางหนึ่งเป็นน้ำที่มียางแห้งปนอยู่ราวร้อยละ 3-5 ส่วนประกอบของเครื่องหมุนเหวี่ยงจะสัมผัสกับน้ำยางโดยตรง จึงต้องมีความต้านทานการกัดกร่อนของแอมโมเนีย ควรทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม ไม่ควรใช้โลหะทองแดง ทองเหลือง ทองสัมฤทธิ์ และแมงกานีส เพราะมีผลทำให้น้ำยางเสื่อมคุณภาพเร็วขึ้น

## 2.3 การเตรียมสารเคมีที่ใช้กับน้ำยาง

สารเคมีต่างๆ ที่จะผสมลงในน้ำยางเพื่อการผลิตวัตถุดิบสำเร็จรูปนั้น จำเป็นต้องเตรียมให้อยู่ในสถานะของเหลวเสียก่อน เพราะถ้าหากนำสารเคมีแห้งๆ ไปใส่ลงในน้ำยางโดยตรง จะไม่ได้ของผสมที่เหมาะสมในการทำผลิตภัณฑ์ สารเคมีจะตกตะกอน หรืออาจจะเกิดเป็นก้อนขึ้นในน้ำยาง และน้ำยางจะเกิดการจับตัวขึ้นในไม่ช้า จึงต้องเตรียมสารเคมีนั้นเป็นสารละลาย เตรียมเป็นคิสเปอร์ชัน หรืออิมัลชัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับธรรมชาติหรือสารนั้นๆ ว่าจะสามารถเตรียมเป็นสถานะใดได้ สารเพิ่มความคงตัวหรือสารพวกช่วยความเสถียรส่วนใหญ่ละลายน้ำ จึงเหมาะจะเตรียมเป็นสารละลาย และเติมในสถานะสารละลายเจือจางลงในน้ำยาง สารพวกน้ำมันหรือของเหลวที่ไม่สามารถละลายน้ำ ก็จะต้องเตรียมเป็นอิมัลชัน ส่วนสารพวกของแข็งทั้งหลายที่ไม่ละลายน้ำ จะต้องเตรียมเป็นคิสเปอร์ชัน

### 2.3.1 หลักการสำคัญในการพิจารณาเติมสารละลาย อิมัลชัน หรือ คิสเปอร์ชันลงในน้ำยาง

1. ขนาดของอนุภาคของสารที่กระจายในคิสเปอร์ชัน และขนาดของของเหลวในอิมัลชัน จะต้องเล็กพอๆกับขนาดของอนุภาคยางที่ใช้ แต่หลักการพิจารณาข้อนี้เกี่ยวกับการแปรรูปน้ำยางเป็นผลิตภัณฑ์ ว่าต้องการผลิตอะไร เช่น การผลิตยางฟองน้ำ ใช้อนุภาคสารที่มีขนาดใหญ่กว่ากรณีการผลิตผลิตภัณฑ์ประเภทจุ่ม

2. ระบบความคงตัวของคิสเปอร์ชันและของอิมัลชัน ควรเหมือนกับระบบความคงตัวของน้ำยางที่ใช้ เพราะไม่เช่นนั้นอาจเกิดปัญหาที่มีปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดผลน้ำยางจับตัวได้



3. ควรปรับระดับความเป็น กรด-เบส ของสารละลาย คิสเพอร์ชัน และอิมัลชัน ให้เท่ากับ ระดับความเป็นกรด-เบสของน้ำยงที่ใช้

### 2.3.2 การเตรียมสารละลาย อิมัลชัน และคิสเพอร์ชัน

#### 1. การเตรียมสารละลาย

สารเคมีที่ใช้ในสูตรน้ำยงและสามารถเตรียมเป็นสารละลายได้ จะเป็นพวกสารต่างๆ ดังนี้

- ก. เบส เช่น โปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ สารละลายแอมโมเนีย
- ข. สารละลายเคซีน (Casein)
- ค. สารละลายของพวกซัลเฟต (Sulfate) และซัลโฟเนต (Sulphonate)
- ง. สารเร่งชนิดละลายน้ำได้ เช่น โซเดียมไดบิวทิลไดโทโอคาร์บามาต

#### 2. การเตรียมอิมัลชัน

สารเคมีที่มีสถานะเป็นของเหลวบางชนิดไม่ละลายน้ำ ได้แก่ สารเร่งปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ และสารป้องกันการเสื่อมเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันบางชนิด สารเหล่านี้ต้องเตรียมเป็นอิมัลชัน โดยวิธีการและอุปกรณ์ที่เหมาะสม เช่น ใช้เครื่องผสม (Homogenizer) ที่สามารถปั่นและเกิดแรงเฉือนอย่างสูง ตัวอย่างการเตรียม 50% อิมัลชัน ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงส่วนประกอบของอิมัลชัน

ส่วนประกอบ	น้ำหนัก
สารของเหลว	50
สารละลาย 20% โปแทสเซียมโอเลเอต	7.5
น้ำ	42.5

ให้ผสมสารของเหลวกับน้ำโดยใช้สาร Surface Active Solution แล้วผ่านเข้าไปในเครื่องปั่นที่มีความเร็วสูง เช่น เครื่อง Silverson Homogenizer หรือ Colloid Mill ด้วยแรงเฉือนของ

เครื่องจันททำให้สารละลายกระจายในน้ำมีขนาดเล็ก (5-20 นาโนเมตร) ถ้ากรณีของสารมีความหนืดสูงมาก ควรอุ่นให้ร้อน 60-70°C ก่อนการปั่น

### 3. การเตรียมคิสเพอร์ชัน

สารเคมีชนิดของแข็งจะต้องเตรียมเป็นคิสเพอร์ชัน ก่อนเติมลงในน้ำยาง โดยทั่วไปวิธีการเตรียมคิสเพอร์ชันสำหรับใช้งานน้ำยาง ขั้นแรกคือ การผสมสารที่เป็นผงกับน้ำ และใส่สารช่วยการกระจายหรือทำให้เกิดคิสเพอร์ชัน (Dispersing Agent) ตัวอย่างเช่น Dervan No.1 หรือ วัลตามอล (Vultamol) จากนั้นจึงบดของผสมนี้ด้วยเครื่องมือบดย่อยสาร เพื่อบดย่อยสารให้เล็กลง

ในการเตรียมคิสเพอร์ชัน นอกจากสารหลักดังกล่าวแล้ว ยังมีสารอื่นๆที่ใช้เฉพาะในกรณีที่มีการเตรียมคิสเพอร์ชันมีปัญหา ได้แก่

ก. สารปรับสภาพความเป็นกรด-เบส ใช้ในกรณีที่สารเคมีบางตัวเป็นกรด จะต้องทำให้มีฤทธิ์เป็นเบสเหมือนน้ำยางก่อนที่จะเติมลงในน้ำยาง เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำยางเกิดการจับตัว ได้แก่ โพลีเอทิลีนไฮดรอกไซด์ และแอมโมเนีย

ข. สารเพิ่มความคงตัว ใส่เพื่อให้สารเคมีมีสภาพผิวคล้ายกับน้ำยาง ทำให้เข้ากับน้ำยางได้ดี ได้แก่ เคซีน ซึ่งใส่อยู่ในรูปของสารละลายแอมโมเนีย และในบางครั้งใช้สารเคมีที่เป็นกลาง ได้แก่ วัลคาสแทป แอล ดับบลิว (Vulcastap LW)

ค. สารเพิ่มความหนืด ใส่เพื่อให้สารผสมมีความหนืดสูงขึ้น ได้แก่ เมทิลเซลลูโลส (Methyl Cellulose) คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxy Methyl Cellulose)

ง. สารป้องกันการเกิดฟอง ใส่เพื่อลดการเป็นฟองในการบดจะทำให้การบดมีประสิทธิภาพสูงสุด ได้แก่ ซิลิโคน อิมัลชัน (Silicone Emulsion)

จ. สารป้องกันการตกตะกอนแข็ง ใส่เพื่อป้องกันการเกิดเป็นตะกอนแข็งของสารเคมี ได้แก่ เบนโทไนท์ เคลย์ (Bentonite Clay)

ฉ. การเตรียมคิสเพอร์ชันของสารเคมีนั้น สัดส่วนโดยน้ำหนักของสารหลักที่ต้องการเตรียมควรเป็นสัดส่วนธรรมดาต่างๆ เพื่อความสะดวกในการคำนวณ และมักจะใส่สารเพิ่มความหนืดหรือป้องกันการตกตะกอนแข็งลงไปด้วย ซึ่งสูตรการผสม 50% คิสเพอร์ชันแสดงได้ดังตารางที่ 2.3

### ตารางที่ 2.3 แสดงการเตรียมคิสเพอร์ชัน

สารต่างๆ	น้ำหนัก(กรัม)
สารเคมี (Ingredient)	50.0
สารช่วยการกระจาย (Dispersing Agent)	1.0
เบนโทไนท์ เคลย์ (Bentonite Clay)	1.0
น้ำ	48.0

#### หลักการสำคัญในการเตรียมคิสเพอร์ชัน

ก. สัดส่วนโดยน้ำหนักของสารหลักที่ต้องการควรเป็นสัดส่วนธรรมดาต่างๆ เช่น 2/3, 1/2, 1/3, 1/4 ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการคำนวณเปลี่ยนน้ำหนักของสารหลักให้เป็นน้ำหนักของคิสเพอร์ชันที่ได้

ข. วิธีการโดยทั่วไป ในการเตรียมสารผสม (Dispersion Slurry) เพื่อจะรวมสารละลายของตัวกลางทำให้เกิดคิสเพอร์ชัน (Dispersion Agents) และสารช่วยความคงตัว (Stabilizers) กับน้ำเข้าด้วยกันก่อนแล้วจึงเติมลงในสารที่เป็นผงแห้งแล้วทำการกวนด้วยความเร็วสูง

ค. ในการเตรียมซัลเฟอร์คิสเพอร์ชัน มักมีปัญหาเกี่ยวกับความยุ่งยากที่จะทำให้ซัลเฟอร์แตกกระจาย แล้วมีปัญหาซัลเฟอร์มักรวมตัวกันและตกตะกอนอย่างรวดเร็วหลังจากที่ได้ทำคิสเพอร์ชันไปแล้ว ดังนั้นในการเตรียมซัลเฟอร์คิสเพอร์ชัน ควรใช้สารตัวกลางทำให้เกิดคิสเพอร์ชัน ปริมาณค่อนข้างมากคือ 2 ถึง 2.5 ส่วน ต่อ 100 ส่วนของซัลเฟอร์และควรใช้สารช่วยความคงตัวอย่างน้อย 1 ส่วน สารช่วยความคงตัวอาจใช้พวกเคซีน และยังพบว่าเมื่อทำการบด ซัลเฟอร์คิสเพอร์ชัน ให้ได้อนุภาคที่ละเอียดสำหรับสารผลิตพวกยางยืด หรือพวกงานจุ่มแบบพิมพ์จะใช้เวลาค่อนข้างนาน ความจำเป็นอีกประการหนึ่งในการเตรียม ซัลเฟอร์คิสเพอร์ชัน คือการเติม “Thickener” เพื่อช่วยลดหรือชะลอการตกตะกอนโดยแนะนำให้ใช้เบนโทไนท์เคลย์ การเติม “Thickener” แนะนำให้เติมภายหลังการเสร็จสิ้นการบดทำคิสเพอร์ชัน

ง. การเตรียมคิสเพอร์ชันของสารเร่งปฏิกิริยาวัลคาไนซ์อาจเตรียมให้เข้มข้นได้ถึง 50% แต่ยกเว้นกรณีการเตรียมสารกลุ่ม ไดโทโอคาบาเมต หากเข้มข้นระดับนี้มักเกิดการรวมตัวและตกตะกอนได้ อย่างไรก็ตามเพื่อความสะดวกมักเตรียมคิสเพอร์ชันของสารเร่งปฏิกิริยาวัลคาไนซ์

เข้มข้น 33% และใช้สารพวกไฮโดรคอลลอยด์ เช่น 1% ของเมทิลเซลลูโลสช่วยเสริมความคงตัวของคิสเพอร์ชันและเพื่อช่วยป้องกันการตกตะกอน

จ. การเตรียม ZnO คิสเพอร์ชัน อาจเตรียมโดยใช้บอลมิลหรือคอลลอยด์มิล หรือ อัลตราโซนิกมิลก็ได้ มักเตรียมให้ได้คิสเพอร์ชันที่ละเอียดมาก โดยวิธีการของบอลมิลเมื่อต้องการใช้งานพวกจุ่มแบบพิมพ์หรือผลิตพวกยางยืด และใช้สบู่ของแอมโมเนียมเป็นตัวการให้เกิดคิสเพอร์ชัน อย่างไรก็ตามควรต้องระวังการเกิด ZnO รวมตัวอันเนื่องมาจากปฏิกิริยานุผลของซิงค์แอมโมเนียมกับอนุผลของสบู่

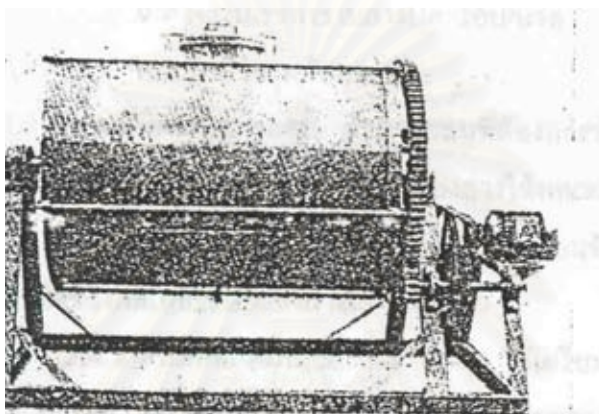
ฉ. การทำคิสเพอร์ชันของสารป้องกันการเสื่อม เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันมักมีปัญหายุ่งยากอันเนื่องด้วยสถานะการเป็นพวกเรซินของสารนี้ จึงได้มีการคิดค้นหาวิธีการต่างๆ เพื่อแก้ปัญหาต่างๆ นั้น การใช้สารที่มีขนาดอนุภาคเล็กมาเป็นตัวพา (Carrier) ซึ่งในบรรดาสารที่เป็นตัวนำพาดังกล่าว เคลอิโอโนเคลย์เป็นสารที่ใช้ได้ผลดีที่สุด โดยใช้เคลอิโอโนเคลย์ปริมาณที่เท่ากับปริมาณของสารป้องกันการเสื่อมเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน คือใช้ถึง 50% และยังใช้สารตัวกลางทำให้เกิดคิสเพอร์ชันและใช้สารช่วยความคงตัวในปริมาณค่อนข้างสูงกว่าปกติ การเกิดคิสเพอร์ชันของสารป้องกันการเสื่อมเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นไปได้ดังต่อไปนี้คือ เมื่อสารป้องกันการเสื่อมเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดการแตกกระจายออก อนุภาคละเอียดของเคลย์จะฉาบรอบๆ อนุภาคสารป้องกันการเสื่อมเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันซึ่งการฉาบดังกล่าวทำให้ไม่มีการรวมตัวระหว่างอนุภาคสารป้องกันการเสื่อมเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ได้แล้วแตกกระจายต่อไปอีก

ช. การเตรียมคิสเพอร์ชันของสารเพิ่ม เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต และเคลอิโอไนต์เคลย์มักเตรียมเข้มข้น 67% และในบางกรณีอาจเตรียมเข้มข้นถึง 75% ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคและการกระจายของอนุภาคของสารเพิ่ม เนื่องด้วยในงานผลิตภัณฑ์บางชนิดต้องการใช้ปริมาณสารเพิ่มมากขึ้น จึงแนะนำให้เตรียมคิสเพอร์ชัน โดยใช้น้ำผสมเพียงเล็กน้อย อนึ่งสารเพิ่มทั่วไป มักมีขนาดอนุภาคละเอียด ซึ่งจะเกิดจับเป็นก้อนได้ง่าย จำเป็นต้องเตรียมเป็นคิสเพอร์ชัน

#### 4. เครื่องมือที่ใช้ในการบดย่อยอนุภาคของสาร แบ่งได้ดังนี้

4.1 บอลมิล (Ball Mill) เป็นเครื่องบดย่อยสารที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในงานน้ำยาง ส่วนสำคัญของเครื่องประกอบด้วย ลูกกลิ้งยาวเรียงขนานคู่กัน 1 คู่ ลูกกลิ้งลูกหนึ่งจะต่อกับมอเตอร์ซึ่งจะลุดให้ลูกกลิ้งหมุนขณะใช้งานและหม้อบรรจุสารที่ต้องการทำคิสเพอร์ชัน (Ball Mill Pot) จะวางนอนอยู่บนระหว่างลูกกลิ้งยาง หม้อดังกล่าวซึ่งมีลักษณะเป็นหม้อทรงกระบอก อาจทำด้วยสแตนเลส

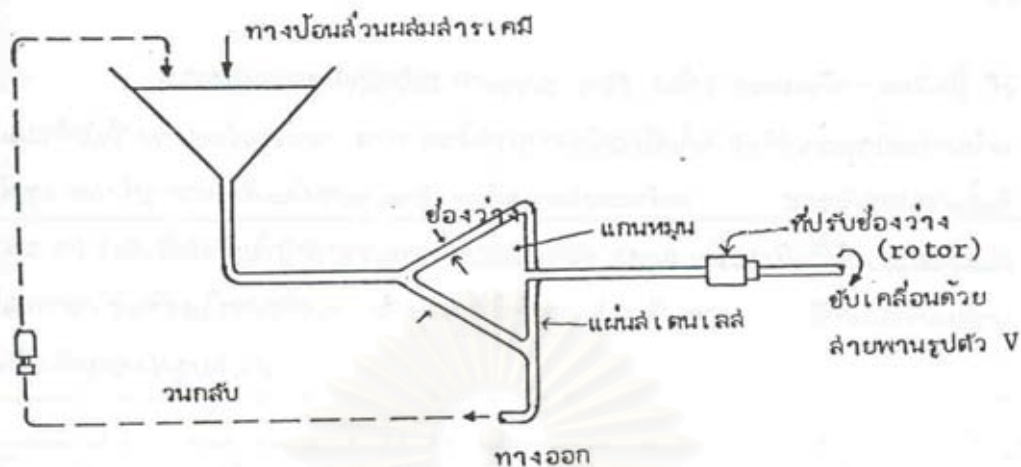
หรือด้วยกระเบื้อง ภายในบรรจุลูกหินบดหรือสารที่เป็นตัวบด (Grinding Material) ซึ่งทำจากเหล็ก (Steel Ball) หรือจากกระเบื้อง (Porcelain Ball) โดยทั่วไปจะใส่ลูกบดในปริมาณ 45-50% ของปริมาตรทั้งหมด และใส่สารเคมีที่จะบดกับน้ำให้พอท่วมลูกบด หรือให้ปริมาตรของลูกหินบด สารเคมี และน้ำ รวมกันประมาณสามในสี่ของปริมาตรของหม้อ โดยให้มีเนื้อที่ว่าง เพื่อจะได้บดสารอย่างมีประสิทธิภาพ ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ลักษณะของเครื่องบอลมิล

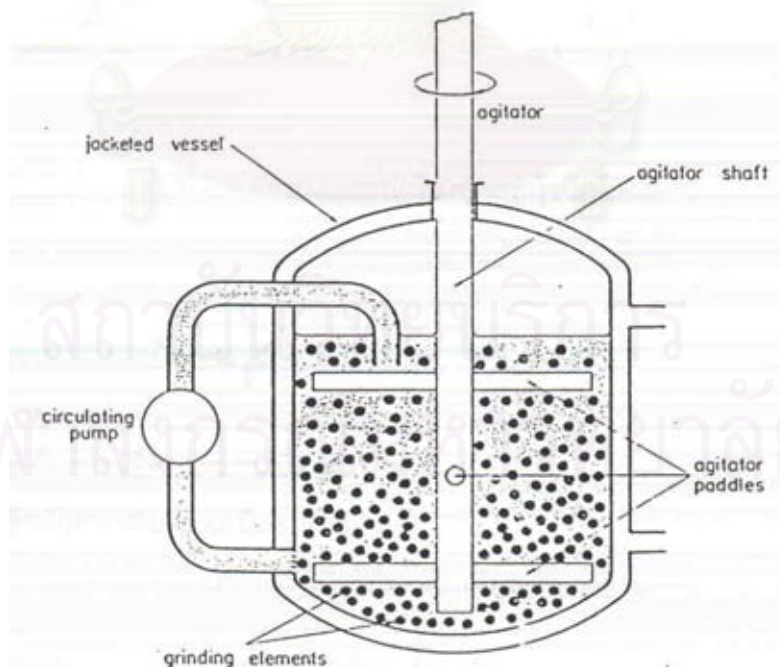
ประสิทธิภาพของบอลมิล ขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญ คือ ขนาดของหม้อบด ความเร็วที่ใช้ในการบด ชนิดของสารที่ใช้ทำลูกหินบด ขนาดของลูกหินบด ปริมาณลูกหินบดที่บรรจุในหม้อ ปริมาณสารผสม และความหนืดของสารผสม

4.2 คอลลอยด์มิล (Colloid Mill) ใช้เตรียมคอลลอยด์ของสารพวก ZnO คาโอไลไนต์ เคลย์ เป็นต้น เครื่องประเภทนี้อาศัยการบดย่อยสารด้วยแรงเสียดทานความเร็วสูงมาก เครื่องประกอบด้วยแผ่นหิน 2 แผ่นที่วางชิดกัน แผ่นหนึ่งอยู่กับที่ ส่วนอีกแผ่นหมุนด้วยความเร็วสูง สารที่ถูกบดจะถูกส่งผ่านตลอดระยะห่างระหว่างแผ่นหินทั้งสองนี้ จะทำให้สารที่เกาะกันอยู่แตกจากกัน ระยะห่างระหว่างแผ่นหินทั้งสอง เป็นตัวควบคุมประสิทธิภาพในการบด เครื่องมือประเภทนี้ให้ผลผลิตที่เร็วมาก แต่ต้องให้สารผ่านเครื่องบดนี้หลายครั้ง จึงจะบดได้ละเอียดตามต้องการลักษณะของเครื่องคอลลอยด์มิลดังแสดงในรูปที่ 2.2



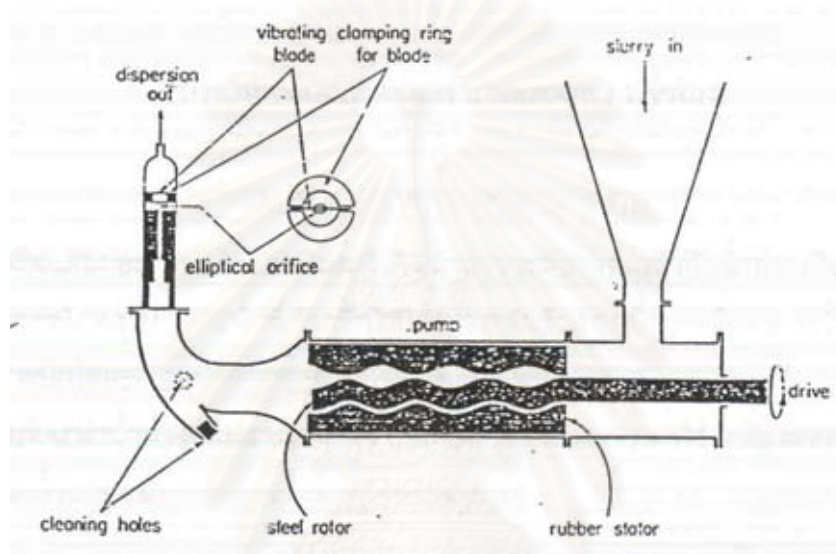
รูปที่ 2.2 ลักษณะภายในของเครื่องคอลลอยด์มิล

4.3 แอททริชันมิล (Attrition Mill) มีหลักการบด โดยสารผสมที่ต้องการบดทำคิสเพอร์ชัน และสารที่ใช้เป็นตัวบดจะถูกกววนอย่างแรงด้วยแท่งแก้วกววน พร้อมๆกันก็มีการสูบของผสมให้ไหลวน สารที่ใช้เป็นตัวบดนิยมใช้ลูกหิน และภาชนะบรรจุสารนิยมทำจากพวกกระเบื้องหรือพวกสแตนเลส ข้อได้เปรียบของเครื่องบดชนิดนี้คือ สามารถใช้เตรียมคิสเพอร์ชันชนิดละเอียดมากๆ มีความเข้มข้นสูงได้ในเวลาอันรวดเร็ว อย่างไรก็ตามเครื่องแอททริชันมิลจะมีราคาแพงกว่าบอลมิลมาก ลักษณะของเครื่องแอททริชันมิลดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ลักษณะของเครื่องแอททริชันมิล

4.4 อัลตราโซนิกมิล (Ultrasonic Mill) หลักการของเครื่องบดชนิดนี้ ใช้หลักการสั่นสะเทือนด้วยความเร็วสูงมาก สารผสมที่ต้องการเตรียมเป็นคิสเพอร์ชันจะถูกป้อนเข้าเครื่องด้วยความเร็วสูง และไปกระทบกับแผ่นสแตนเลส จะเกิดการสั่นสะเทือน และเกิดช่องว่างขึ้นที่แผ่นสแตนเลส ความดันที่เกิดขึ้นทำให้อนุภาคของสารแตกกระจายออก เครื่องชนิดนี้ทำงานได้รวดเร็วมาก แต่ไม่สามารถใช้เตรียมคิสเพอร์ชันจากสารผสมที่มีอนุภาคค่อนข้างหยาบ ลักษณะเครื่องอัลตราโซนิกมิลดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ลักษณะของเครื่องอัลตราโซนิกมิล

## 2.4 การแยกด้วยเยื่อแผ่น

เป็นกระบวนการที่ใช้เยื่อแผ่นเพื่อแยกสาร หรือเพิ่มความเข้มข้น หรือทำให้สารบริสุทธิ์ขึ้น สำหรับสารละลาย หรือแก๊สผสม กระบวนการเยื่อแผ่นสังเคราะห์ถูกค้นพบมานานกว่า 30 ปีแล้ว และมีการพัฒนาขึ้นเป็นลำดับ จนปัจจุบันมีการใช้กระบวนการเยื่อแผ่นหลายกระบวนการในอุตสาหกรรมต่างๆ โดยอาจนำไปใช้แทนกระบวนการอื่นๆ หรือใช้เสริมในกระบวนการเดิม หลักการสำคัญของกระบวนการเยื่อแผ่นคือ จะต้องมีความดันที่ทำให้ของผสม หรือสารละลายไหลผ่านเยื่อแผ่น หรือเกิดการแยก เช่น ผลต่างของความเข้มข้น หรือผลต่างของความดัน ถ้าจะให้คำจำกัดความ อาจอธิบายได้ว่าเยื่อแผ่นคือ ตัวกลางซึ่งอาจเป็นฟิล์มบางๆ หรือหยดขนาดเล็กลงๆ ที่ทำหน้าที่กั้นระหว่าง 2 เฟส โดยทั่วไป เยื่อแผ่นเป็นของแข็งและอาจเป็นของเหลว ลักษณะที่สำคัญที่สุดของเยื่อแผ่นคือ มีสมบัติในการเลือกผ่านสารหนึ่งมากกว่าสารอื่น (Semi-Permeable / Permselective) การเลือกผ่านสารเป็นผลมา

จากโครงสร้างทางเคมี หรือทางกายภาพของเยื่อแผ่น ซึ่งอาจพิจารณาได้จากผลของเยื่อแผ่นต่อสารนั้นๆ หรือจากขนาดรูพรุน หรือจากการมีประจุของเยื่อแผ่น เป็นต้น เยื่อแผ่นที่ใช้งานอยู่ทั้งหมดเป็นเยื่อแผ่นที่มีการสังเคราะห์ หรือผลิตขึ้น ไม่ใช่เยื่อแผ่นตามธรรมชาติ

#### 2.4.1 ข้อดีของกระบวนการเยื่อแผ่น

กระบวนการเยื่อแผ่นมีข้อได้เปรียบกระบวนการแยกอื่นๆ ตัวอย่างเช่น

1. เป็นการแยกตามขนาดของโมเลกุล รูปร่าง หรือชนิดของประจุ ซึ่งทำให้สามารถดำเนินการที่อุณหภูมิต่ำ (ยกเว้นการกลั่นผ่านเยื่อแผ่น) จึงเหมาะสมสำหรับแยกสารที่อาจเสื่อมสภาพเพราะความร้อนได้

2. กระบวนการเยื่อแผ่นส่วนใหญ่ใช้พลังงานในการแยกค่อนข้างต่ำเพราะ สามารถแยกได้โดยไม่ต้องเปลี่ยนเฟส ตัวอย่างเช่น กระบวนการแยกเกลือของน้ำกร่อย หรือน้ำทะเลถ้าใช้ออสโมซิสกลับ หรืออิเล็กโทรไลซิส จะมีข้อได้เปรียบทางด้านพลังงานมากกว่าในการกลั่น หรือการต้มระเหย ทำให้ค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องถูกกว่าวิธีอื่นๆ

3. ไม่ก่อให้เกิดของเหลือทิ้งเพราะ กระบวนการเยื่อแผ่นทำให้สามารถแยกผลิตภัณฑ์ที่ต้องการได้ สามารถใช้ประโยชน์ได้ทั้งส่วนที่ซึมผ่านคือ น้ำจืด ส่วนสารละลายเกลือเข้มข้นสามารถนำไปต้มระเหย ตกผลึก เพื่อผลิตเกลือ หรือ บำบัดน้ำทิ้งบางชนิดที่ได้น้ำสะอาดกลับไปใช้ในกระบวนการ และได้ผลิตภัณฑ์เข้มข้นซึ่งใช้ประโยชน์ต่อไปได้

4. สามารถขยายขนาดจากระดับต้นแบบให้เป็นระดับอุตสาหกรรมได้ไม่ยาก เนื่องจากชุดเยื่อแผ่นมีลักษณะเป็นชุด (Modular) หรือหน่วยที่เรียกว่า โมดูล และสามารถนำหน่วยย่อยๆ มาต่อกันเพื่อเพิ่มพื้นที่ในการแยก

5. สามารถดำเนินการแบบกะ หรือแบบต่อเนื่อง ตลอดจนติดตั้งระบบควบคุมการทำงานแบบอัตโนมัติได้ไม่ยาก อีกทั้งการเดิน – หยุดเครื่องในแต่ละครั้ง สามารถทำได้ทันที ไม่ต้องใช้เวลานาน

6. มีขนาดกะทัดรัดไม่เปลืองพื้นที่เพราะ ชุดอุปกรณ์เยื่อแผ่นมีการออกแบบให้มีพื้นที่ในการกรองต่อหน่วยปริมาตรของอุปกรณ์สูง



7. มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ไม่ต้องซ่อมแซม เนื่องจากไม่มีกลไกที่เคลื่อนไหว ซึ่งเป็นสาเหตุของการสึกกร่อน หรือพังได้ง่าย ทำให้ค่าซ่อมบำรุงต่ำ

#### 2.4.2 ชนิดของเยื่อแผ่น

การแบ่งชนิดของเยื่อแผ่นนั้น ยังไม่มีการแบ่งที่ชัดเจนลงไปว่าจะแบ่งในลักษณะใด ซึ่งจะขึ้นอยู่กับเกณฑ์ในการแบ่งของแต่ละบุคคลว่าจะมองสมบัติทางด้านใดเป็นหลัก แต่อย่างไรก็ตามเราอาจแบ่งชนิดของเยื่อแบบกว้างๆ ออกเป็น 5 ชนิด ดังนี้

##### 1. เยื่อแผ่นรูพรุนจุลภาค (Isotropic Microporous Membranes)

เยื่อรูพรุนจะเป็นโครงสร้าง และทำหน้าที่เหมือนกันกับการกรองโดยปกติทั่วไปคือมันจะมีโครงสร้างแข็งที่เป็นช่องว่างอยู่อย่างมากโดยจะกระจายแบบสุ่ม และมีรูที่เชื่อมต่อกัน อย่างไรก็ตามตามขนาดรูที่แตกต่างกันของเยื่อเหล่านี้ปกติจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอย่างหนึ่งที่เล็กที่สุด โดยเล็กกว่าอนุภาค จะถูกกันออกไปทั้งหมด แต่ถ้าขนาดอนุภาคเล็กกว่าขนาดรูที่ใหญ่ที่สุด แต่ใหญ่กว่ารูที่มีขนาดเล็กที่สุดอนุภาคนั้นจะถูกกันทิ้งออกไปเพียงบางส่วน ตามการกระจายของขนาดรูของเยื่อ ส่วนอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดของรูที่เล็กที่สุดจะสามารถผ่านทะลุเยื่อชนิดนี้ได้ ดังนั้นการแยกตัวถูกละลายโดยเยื่อรูพรุนนี้หลักการจะเป็นหน้าที่ของโมเลกุล และการกระจายของขนาดรู โดยทั่วไปก็คือว่าโมเลกุลที่มีขนาดแตกต่างกันเพียงเท่านั้นที่จะสามารถมีผลในการแยกโดยเยื่อรูพรุน ตัวอย่างเช่น ในกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน และไมโครฟิลเตรชัน

##### 2. เยื่อแผ่นแบบแน่น (Nonporous Dense Membranes)

เยื่อแบบแน่นเป็นแผ่นฟิล์มที่มีเนื้อทึบ ซึ่งการซึมผ่านจะอาศัยการถ่ายโอนโดยการแพร่ภายใต้แรงขับเคลื่อน ความเข้มข้น หรือเกรเดียนต์ศักย์ทางไฟฟ้า การแยกสารที่มีองค์ประกอบจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับอัตราการถ่ายโอนที่เกิดขึ้นในเยื่อ ซึ่งอธิบายได้ด้วยค่าสภาพแพร่ได้ และสภาพละลายได้ด้วยความแตกต่างของความเข้มข้นในวัสดุที่นำมาผลิตเยื่ออย่างไรก็ตามโดยปกติเยื่อแบบนี้มีโครงสร้างเยื่อเป็นแบบไม่สมมาตรเพื่อทำให้ฟลักซ์มีค่าดีขึ้น

### 3. เยื่อประจุไฟฟ้า (Electrically Charged Membranes)

เยื่อประจุไฟฟ้าสามารถเป็นได้ทั้งเยื่อแบบแน่น หรือแบบรูพรุน แต่โดยทั่วไปส่วนใหญ่จะเป็นแบบรูพรุน โดยที่ผนังของรูจะมีประจุของไอออนบวก หรือลบ ยึดติดอยู่ โดยมีหลักการดังนี้คือ การกีดกันไอออนที่มีประจุชนิดเดียวกันกับประจุที่ติดอยู่กับเยื่อออกไป แต่อย่างไรก็ตาม ก็ยังมีความสำคัญน้อยกว่าถ้าเทียบผลของขนาดรูพรุน

### 4. เยื่อไม่สมมาตร (Asymmetric Membranes)

อัตราการถ่ายโอนของสารต่างๆ ผ่านเยื่อชนิดนี้จะเป็นสัดส่วนกลับ กับความหนาแน่นของเยื่อ อัตราการถ่ายโอนที่สูงเป็นข้อดีของกระบวนการแยกด้วยเยื่อสำหรับความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ดังนั้นจึงต้องผลิตเยื่อที่มีความบางมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เยื่อไม่สมมาตรประกอบด้วยชั้นผิวที่มีความบางมากๆ ครอบคลุมรับด้วยตัวรองรับที่เป็นรูพรุน หรือเป็นแบบเนื้อแน่น ที่มีความหนามากกว่าชั้นผิว และตัวรองรับอาจเป็นวัสดุชนิดเดียวกัน หรือต่างชนิดก็ได้ สมบัติการแยก และอัตราการซึมผ่านจะขึ้นอยู่กับชั้นผิว ส่วนตัวรองรับจะทำหน้าที่เพียงช่วยในทางกลเท่านั้น ข้อดีของเยื่อชนิดนี้คือ จะมีปริมาณ พลังสูง ทำให้เกือบทั้งหมดของเยื่อที่ใช้ในทางการค้าเป็นเยื่อชนิดนี้

### 5. เยื่อเซรามิก โลหะ และของเหลว (Ceramic Metal and Liquid Membranes)

จากการอธิบายความหมายที่ผ่านมา เยื่อจะผลิตจากวัสดุพอลิเมอร์ประเภทอินทรีย์สาร ซึ่งเยื่อที่ใช้ในทางการค้าจะเป็นวัสดุประเภทพอลิเมอร์เป็นส่วนใหญ่ อย่างไรก็ตามความสนใจในการผลิตเยื่อจากวัสดุอื่นๆ เพิ่มมากขึ้น เยื่อเซรามิก เป็นเยื่อรูพรุนจุลภาคระดับพิเศษ ซึ่งนำมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน และไมโครฟิลเตรชัน ในกรณีที่ต้องการวัสดุที่ทนทานต่อตัวทำละลาย และเสถียรภาพความร้อน เยื่อโลหะแน่น เช่น เยื่อพัลลาเดียมถูกนำมาใช้ในการแยกแก๊สไฮโดรเจนจากแก๊สผสมและนำมาใช้เป็นตัวรองรับหรือกรณีฟิล์มของเหลวอิมัลซิฟายด์ก็นำมาใช้ในกระบวนการถ่ายโอนเพื่อให้เกิดการเชื่อมต่อ และมีความสะดวกมากยิ่งขึ้น

## 2.5 น้ำยางวัลคาไนซ์

น้ำยางคงรูป หรือน้ำยางวัลคาไนซ์ หรือน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ (Prevulcanized Latex) หมายถึง น้ำยางที่โมเลกุลยางเกิดพันธะเชื่อมขวาง (Crosslinked) อันเนื่องมาจากการให้ความร้อนกับน้ำยางที่ได้ผสมสารเคมีที่จำเป็นแล้ว

น้ำยางผสมสารเคมี (Compounded Latex) หมายถึงน้ำยางที่ได้ผสมสารเคมีต่างๆแล้ว และส่วนใหญ่จะมีสารเคมีช่วยเร่งปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ (Accelerator) โดยปกติจะทำการผสมสารเคมีกับน้ำยางแล้ว บ่มหรือเก็บไว้ (Maturation) ก่อนการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ เนื่องด้วยน้ำยางผสมสารเคมีส่วนใหญ่จะผสมสารช่วยเร่งปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ไว้ด้วย ดังนั้นขณะการบ่ม หรือเก็บน้ำยางจึงอาจเกิดปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ โมเลกุลยางเกิดพันธะเชื่อมขวางขึ้นได้ ซึ่งการเกิดยางคงรูป จะมากน้อยเพียงใดนั้นขึ้นกับภาวะการเก็บน้ำยาง และความว่องไวของสารช่วยเร่งปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ สำหรับการทำน้ำยางวัลคาไนซ์ อาจพิจารณาว่าเป็นวิธีการพิเศษวิธีหนึ่งของการบ่มน้ำยางผสมสารเคมี

### 2.5.1 การผลิตน้ำยางวัลคาไนซ์

วิธีการผลิตน้ำยางวัลคาไนซ์มีหลักการที่สำคัญ คือ ผสมสารเคมีที่จำเป็นในการเกิดวัลคาไนซ์ ซึ่งได้แก่สารในระบบวัลคาไนซ์ (Vulcanizing System : Sulfur, Accelerator, Activator) กับน้ำยางที่ได้ผ่านการเติมสารช่วยความคงตัวเป็นของเหลว แล้วให้ความร้อนประมาณ 50-70°C หรืออาจเตรียมน้ำยางวัลคาไนซ์โดยไม่ใช้สารซัลเฟอร์คือระบบ Sulfurless หรืออาจเตรียมน้ำยางวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 28-30°C โดยใช้สารเร่งปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ที่ว่องไวมาก เช่น Sodium or Zinc Salt of Dibutylthiocarbamates นอกจากนี้ น้ำยางวัลคาไนซ์ยังอาจทำได้โดยให้ความร้อนกับน้ำยางที่ได้ผสมสารอินทรีย์เพอร์ออกไซด์

### 2.5.2 วิธีทดสอบน้ำยางวัลคาไนซ์

เนื่องจากน้ำยางที่วัลคาไนซ์แล้ว มีลักษณะที่มองด้วยสายตาไม่ค่อยแตกต่างไปจากน้ำยางชั้นธรรมดา ดังนั้นวิธีที่จะตรวจสอบว่าน้ำยางเป็นน้ำยางวัลคาไนซ์หรือไม่นั้นจึงจำเป็นต้องอาศัยวิธี

ทดสอบในห้องปฏิบัติการ และวิธีที่จะกล่าวดังต่อไปนี้ยังสามารถใช้ตรวจสอบระดับสถานะของการคงรูป (Degree of Vulcanization) ของน้ำยางผสมสารเคมี

### 1. ทดสอบโดยใช้คลอโรฟอร์ม (Chloroform Test)

หลักการวิธีนี้ คือ ทำให้น้ำยางจำนวนเล็กน้อยจับตัวด้วยการหยดคลอโรฟอร์ม หรือคาร์บอนเตตระคลอไรด์ (Carbontetrachloride) ปริมาณที่เท่ากับปริมาณของน้ำยาง ลักษณะก่อนยางที่จับตัวจะบ่งแสดงสถานะของการคงรูป นั่นคือ น้ำยางที่ยังไม่คงรูปจะให้ก้อนยางจับตัวมีลักษณะจับเป็นก้อนอ่อน และยืดได้ (ลักษณะคล้ายเต้าหู้อ่อน เช่นเดียวกับก้อนยางที่ได้จากการทำน้ำยางสดจับตัวด้วยกรดขณะการทำยางแผ่น) น้ำยางที่คงรูปอย่างสมบูรณ์แล้วจะให้ก้อนยางจับตัวที่มีลักษณะร่วนเป็นผงหรือเป็นเม็ด และถ้าน้ำยางอยู่ในสถานะคงรูปบ้าง แต่ยังไม่สมบูรณ์ก็จะได้ก้อนยางจับตัวที่มีลักษณะก้ำกึ่งระหว่าง 2 ลักษณะที่กล่าวมา

### 2. ทดสอบการบวมของยาง (Equilibrium Swelling)

วิธีนี้ทดสอบโดยการทำให้น้ำยางผสมที่ทำให้แห้งเป็นฟิล์มบางๆ แล้วแช่อยู่ในตัวทำละลายยาง เช่น เบนซีน (Benzene), โทลูอิน (Toluene) หรือน้ำมันเชื้อเพลิง น้ำยางที่มีการคงรูปอย่างสมบูรณ์จะบวมในตัวทำละลายน้อย ในทางตรงกันข้ามกับน้ำยางที่สถานะการคงรูปเพียงเล็กน้อยก็จะบวมมาก และกรณียางที่ไม่คงรูปเลยจะละลายในตัวทำละลาย อนึ่งวิธีนี้จะต้องใช้เวลามาก เพราะต้องเสียเวลาทำแผ่นฟิล์มแห้งและเสียเวลาในการสังเกตการบวมของแผ่นฟิล์มในตัวทำละลาย

### 3. ทดสอบโดยใช้เครื่องดึงยาง (Tensile Test)

โดยการทำแผ่นฟิล์มแห้งจากน้ำยางคงรูปแล้วนำไปทดสอบการดึง หรือยืดตามความยาวกำหนด (Modulus) หรือดึงยางจนขาด (Tensile Strength) จากผลของค่าเหล่านี้จะประเมินหาระดับการคงตัวได้ อย่างไรก็ตามการทดสอบโดยหาแรงที่ดึงออกยาว 100% ของความยาวเดิม นาน 1 นาที (หรือคือ MR 100) เป็นวิธีที่ให้ผลในการตรวจสอบการคงรูปของยางที่น้ำเชื่อถือนามาก

### a. สารส้ม

Ammonium Alum และ Potassium Alum คือเกลือเชิงซ้อนของสารประกอบที่มี ธาตุอะลูมิเนียม และ ซัลเฟต เป็นส่วนประกอบหลัก หรือ รู้จักกันในนามว่าสารส้ม (Alum) หรือ ผลึกเกลือ มีสูตรทางเคมีทั่วไปคือ  $[M(1)M_2(111)(SO_4)_2 \cdot 12H_2O]$  ดังนั้นสารใดที่มีโครงสร้างของสูตรทางเคมี ที่กล่าวมา ก็คือสารส้มที่เรารู้จักและคุ้นเคยนั่นเอง

#### 2.6.1 ประเภทของสารส้ม

สารส้ม (Alum) มีรากศัพท์มาจากคำในภาษาละตินว่า Alumen แปลว่า สารทำให้หดตัว (Astringent) แต่ในปัจจุบัน สารส้มหมายถึงเกลือเชิงซ้อน(ผลึกเกลือ) ของสารประกอบที่มี ธาตุอะลูมิเนียม และ ซัลเฟต เป็นส่วนประกอบหลัก แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

1. เกลือซัลเฟตของอะลูมิเนียมหรืออะลูมิเนียมซัลเฟต  $[Al_2(SO_4)_3 \cdot xH_2O]$  ลักษณะ เป็นก้อนผงสีขาว
2. เกลือเชิงซ้อนของโพแทสเซียม หรือโพแทสเซียมอะลัม  $[Al_2(SO_4)_3 \cdot K_2SO_4 \cdot 24H_2O]$  ลักษณะ เป็นผลึกใสไม่มีสี
3. เกลือเชิงซ้อนของแอมโมเนียมหรือแอมโมเนียมอะลัม  $[Al_2(SO_4)_3 \cdot (NH_4)_2SO_4 \cdot 24H_2O]$  ลักษณะเป็นผลึกใสไม่มีสี อย่างไรก็ตามสารส้ม (Alum) ทั้ง 3 ประเภทดังกล่าว นำไปใช้ประโยชน์อย่างเดียวกัน การเติม Ammonium และ Potassium ลงไปก็เพื่อความประสงค์อื่น คือต้องการให้เป็นก้อนผลึกใสและบริสุทธิ์ ยิ่งขึ้นเนื่องจากอุตสาหกรรมหลายชนิด เช่น การผลิตกระดาษคุณภาพสูง และผสมทำผงฟู เป็นต้น ต้องการสารส้ม ที่มีความบริสุทธิ์ มากๆ

#### 2.6.2 ประโยชน์ของสารส้ม

สารส้มนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวางทั้งในอุตสาหกรรม และที่เกี่ยวข้องกับผิวหนังของคน กล่าวคือ

1. การใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม ส่วนมากจะใช้ในอุตสาหกรรมการประปา รองลงมา ได้แก่ อุตสาหกรรมกระดาษ ย้อมผ้า ฟอกหนัง ผสมเป็นยาดับเพลิง สารดับกลิ่น ฟอกสี และผสมทำผงฟูใช้ในการทำขนมปัง เป็นต้น

2. การใช้เกี่ยวข้องกับผิวหนัง ใช้ดับกลิ่นตัวได้ทุกส่วนของร่างกายตามที่ต้องการ โดยเฉพาะที่ใต้วงแขน (รักแร้) และเท้า สามารถระงับ กลิ่นได้ 100 % นานถึง 24 ชั่วโมง และหน่วงการเกิดกลิ่นได้ไม่ต่ำกว่า 10 ชั่วโมง ใช้ทาหลังโกนหนวดจะไม่ทำให้เกิดการระคายเคือง ช่วยห้ามเลือดและสมานบาดแผลที่เกิดจากมีดโกนบาด หรือ บาดแผลเล็กน้อย ใช้ทาที่ส้นเท้าจะรักษา และป้องกันส้นเท้าแตก ทาแก้คันตามผิวหนังเมื่อถูกยุงกัดหรือคันจากสาเหตุอื่น

### 2.6.3 สมบัติของสารส้ม

1. ไม่มีสีและกลิ่น ซึ่งเป็นสมบัติพิเศษ เหมาะสำหรับผู้ที่ชอบใช้น้ำหอม เพราะจะไม่มีกลิ่นไปรบกวนหรือหักล้างกลิ่นน้ำหอมที่ใส่อยู่ กล่าวคือ สารดับกลิ่นตัวส่วนมากจะผสมน้ำหอมลงไปด้วยทำให้ไปรบกวนกลิ่นของน้ำหอมราคาแพงที่ใส่อยู่

2. ไม่เปื้อนเสื้อผ้า เพราะไม่มีส่วนผสมของ คริม และน้ำมัน

3. ปลอดภัยกับร่างกาย กล่าวคือ ไม่อุดตันรูขน ไม่ซึมเข้าสู่ร่างกายเพราะตัวมันทำให้เกิดประจุลบจึงไม่สามารถที่ผ่านผนังเซลล์ได้ ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม และไม่ทำลายโอโซน

4. ไม่เสื่อมสภาพ มีความคงทนต่อสภาพแวดล้อมไม่เสื่อมสภาพที่อุณหภูมิห้อง

### 2.7 สารตัวเติม (Filler)

สารตัวเติม หมายถึง สารอื่นๆ ที่ไม่ใช่ยางที่ใส่ลงไปในยาง เพื่อลดต้นทุนในการผลิต หรือปรับปรุงสมบัติของยางให้ดีขึ้น เช่น เชม่าดำ แคลเซียมคาร์บอเนต และซิลิกา เป็นต้น

สารตัวเติมที่ใส่ลงไปในยาง เพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆ ดังนี้

- เพื่อลดต้นทุน
- เพื่อเปลี่ยนแปลงสมบัติของยาง
- เพื่อช่วยในกระบวนการผลิต
- ลดการพองตัวของยางในน้ำมัน
- เพิ่มอายุการใช้งานของยาง

### 2.7.1 การแบ่งชนิดของสารตัวเติม

สามารถแบ่งชนิดของสารตัวเติมตามการผลิตและตามลักษณะ คือ

1. สารตัวเติมที่มีตามธรรมชาติ หรือจากผลพลอยได้จากธรรมชาติ แล้วนำมาบดให้ละเอียด เช่น
  - แคลเซียมคาร์บอเนตจากหินปูน เปลือกหอย และชอล์ค
  - แคลเซียมและแมกนีเซียมซิลิเกตจากแป้งทัลคัม
  - ซิลิกาอสัณฐาน (Amorphous Silica)
2. สารตัวเติมตามธรรมชาติที่ร่อนแยกความละเอียด เช่น คาโอลิน เป็นต้น
3. สารตัวเติมที่ได้จากวิธีการตกตะกอน เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต ไฮดรตซิลิกา โซเดียมอะลูมิเนียมซิลิเกต แคลเซียมซิลิเกต และไฮดรตอะลูมิเนียมออกไซด์ เป็นต้น
4. สารตัวเติมที่อยู่ในรูปของเขม่า หรือผงฝุ่น เช่นเขม่าดำ ซิงค์ออกไซด์ และแมกนีเซียมออกไซด์
5. สารตัวเติมประเภทที่ทำปฏิกิริยาที่ผิว (Surface Modified Products) เป็นผลิตภัณฑ์ที่นำสารตัวเติมมาทำปฏิกิริยาที่ผิว เพื่อให้สารตัวเติมนั้นเกาะติดแน่นกับยาง ซึ่งทำให้ยางมีสมบัติทางกายภาพดีขึ้น เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต แป้งทัลคัม เป็นต้น
  - i. สารละลายโซเดียมซิลิเกตหรือกาวแก้ว

เป็นสารตัวเติมที่อยู่ในรูปคอลลอยด์ โดยมีส่วนประกอบดังนี้ คือ  $\text{Na}_2\text{O} : \text{SiO}_2$  ในสัดส่วนต่างๆ กันขึ้นอยู่กับชนิดของกาวยาั่ว เวลาใช้งานต้องตกตะกอนกาวยาั่วด้วยกรดซัลฟูริก เพื่อให้ได้ซิลิกอนไดออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$ ) ตามสมการ



จากนั้นนำกาวยาั่วที่ได้ผ่านกระบวนการ Washing และบดให้ละเอียด ก่อนนำมาใช้งาน

## ii. ซิลิกา (Silica)

ซิลิกามีชื่อทางเคมีว่า ซิลิกอนไดออกไซด์ (Silicon Dioxide,  $\text{SiO}_2$ ) และอาจมีน้ำในผลึกอยู่ด้วย ซิลิกาเป็นสารตัวเติมที่ไม่ใช้สีดำ (Nonblack Filler) ที่ดีที่สุดและนิยมใช้กันมาก เพราะเป็นสารตัวเติมชนิดที่เสริมความแข็งแรงให้กับยาง มักใช้กับผลิตภัณฑ์ยางพวกที่มีสีขาวหรือสีต่างๆ สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ

1. ซิลิกาบด เป็นแร่ซิลิกาบด หรือทรายบดละเอียด มีอนุภาคต่ำกว่า 200 เมช ( $75,000 \text{ \AA}$ ) ซึ่งเป็นขนาดที่หยาบ ไม่ช่วยเสริมความแข็งแรงให้กับยาง แต่มีราคาถูกจึงนิยมใช้เป็นสารตัวเติมในยางทนความร้อน
2. ซิลิกาที่ได้จากการตกตะกอน โดยการนำทรายมาละลายในด่างให้กลายเป็นสารประกอบซิลิเกต จากนั้นจึงตกตะกอนเอาซิลิกาออกมาล้างและทำให้แห้งจะได้ซิลิกาผง ซึ่งมีน้ำอยู่ในอนุภาค ซิลิกาที่ได้มีขนาดตั้งแต่ 100 - 400  $\text{ \AA}$
3. ซิลิกาที่เตรียมได้จากการเผาไหม้ ได้จากปฏิกิริยาระหว่าง  $\text{SiCl}_4$  กับไอน้ำในเปลวไฟของไฮโดรเจน และออกซิเจนที่อุณหภูมิสูงประมาณ 1400 องศาเซลเซียส จะเกิดการสลายตัวให้ซิลิกาออกมา มีขนาดอนุภาคเล็กมาก จึงเสริมความแข็งแรงได้ดี



## 2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

L. Yong-Kul [8] และคณะ ได้ศึกษาการตกตะกอนของโซเดียมซิลิเกตด้วยกรดไนตริก จากนั้นล้างสารที่ได้ด้วยน้ำกลั่นเพื่อชะเกลือของ  $\text{NaNO}_3$  ออกให้หมด ซึ่งสามารถตรวจสอบด้วยเครื่อง Ion Chromatography และปรับค่า pH เป็น 10.5 ด้วย ammonium hydroxide นาน 2 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดการตกตะกอนของ  $\text{SiO}_2$  อย่างช้าๆ และมีขนาดเล็กๆ พร้อมทั้งกรองด้วย Ultrafiltration Unit โดยมีปัจจัยที่มีผลต่อการทดลอง 2 ตัว ได้แก่ ปริมาณซิลิกาที่อยู่ในโซเดียมซิลิเกตที่ใช้ โดยถ้ามีค่าน้อยจะเกิดการตกผลึกได้มากขึ้น อีกปัจจัยหนึ่ง คือค่า pH ที่ 10.5 จะเกิดการตกตะกอนได้ดีและมีขนาดนาโนเมตร

S. Varghese [9] และคณะ ได้ศึกษาสารตัวเติมทั้ง 4 ชนิด ของ Silicate Layer ได้แก่ Fluorohectorite, Bentonite, MMT-ODA และ MMT-MTH โดยสารแต่ละชนิดจะเรียงตัวเป็นชั้นๆ ซึ่งระยะห่างระหว่างชั้นเรียกว่า Interlayer Distance สารตัวเติม MMT-ODA และ MMT-MTH จะถูกเพิ่มระยะห่างระหว่างชั้นด้วย Octadecylamine และ Ammonium salt ตามลำดับ โดยทำการผสมกับ Exoxidized Natural Rubber (ENR) เพื่อเปรียบเทียบการผสมกับซิลิกา จากการศึกษาสรุปได้ว่า สารตัวเติมทั้ง 4 ชนิด มีสมบัติดีกว่าซิลิกา โดยเฉพาะ MMT-ODA มีสมบัติดีที่สุด เนื่องจากเกิด Exfoliated, Intercalated และ Confined แต่ Fluorohectorite ที่เกิด Intercalation เนื่องจากพื้นผิวมีการหลุดลอกได้ง่ายเมื่อโดนแรง Shear Stresses เพื่อลดความหนืดของ ENR

ศุภรัตน์ นวลสุวรรณ [4] ได้ศึกษาการสังเคราะห์ซิลิกาจากแกลบ โดยการนำซิลิกาจากแกลบมาทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริกแล้วทำการเผา จะได้ซิลิกาที่มีความบริสุทธิ์สูง จากนั้นทำการบดซิลิกาให้มีอนุภาคขนาดเล็ก แล้วทดสอบสมบัติทั่วไปของซิลิกาที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยแกลบเทียบกับซิลิกาแบบ Hi-Sil 255 พบว่าซิลิกาจากแกลบมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงกว่าทั้งนี้เนื่องมาจากซิลิกาจากแกลบมีความเป็นรูพรุนสูงกว่า จากนั้นนำมาผสมกับยางธรรมชาติปริมาณ 40 phr เพื่อเปรียบเทียบกับซิลิกาแบบ Hi-Sil 255 และเขม่าดำ ซึ่งพบว่าสมบัติของซิลิกาที่ได้จากแกลบดีกว่าซิลิกาแบบ Hi-Sil 255 แต่ด้อยกว่าเขม่าดำ เช่น ความต้านทานแรงดึง ความต้านทานต่อการฉีกขาด การกระดอนและความต้านทานต่อการสึกหรอ แต่ความแข็งแรงจะน้อยกว่าทั้งเขม่าดำและซิลิกาแบบ Hi-Sil 255

ทิวาวรรณ วิทยา [3] ศึกษาผลของซิลิกาซึ่งเป็นสารเสริมแรงต่อสมบัติยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางพอลิวิทาไดอินในอัตราส่วนต่างๆกัน พบว่าซิลิกา(Hi-Sil 255) มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ

ของยางผสมทั้งสมบัติของยางก่อนการคงรูป และสมบัติของยางหลังการคงรูป เมื่อเติมซิลิกาในยางผสม มีผลทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น อัตราเร็วในการคงรูปเร็วขึ้น ส่วนเวลาที่ใช้ในการคงรูปสั้นลง ซึ่งช่วยให้ประหยัดเวลาและพลังงานในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ส่วนสมบัติเชิงกล พบว่า ความต้านทานแรงดึง ความยืดเมื่อขาด โมดูลัส ความต้านทานต่อการฉีกขาด ความแข็ง ทั้งก่อนอบและหลังอบมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณซิลิกาเพิ่มขึ้น ส่วนสมบัติทางด้านไดนามิกส์ และความร้อนของยางผสม พบว่าปริมาณซิลิกามีผลทำให้ค่าสโตเรชโมดูลัส ค่าโมดูลัสสูญเสีย ค่า  $Tan\delta$  ลดลงเมื่อปริมาณซิลิกาเพิ่มขึ้น ยางผสมที่มีอัตราส่วนผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางพอลิบิวทาไดอิน (NR:BR) เป็น 70:30 ปริมาณซิลิกา 40-50 phr ให้สมบัติทางกายภาพ และสมบัติเชิงกลที่ดี

### สมมุติฐานของงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อขนาดอนุภาคอะลูมิเนียมซิลิเกต รวมถึงขนาดอนุภาคของอะลูมิเนียมซิลิเกตที่มีผลต่อสมบัติต่างๆของยางวัลคาไนซ์ โดยมีสมมุติฐานดังต่อไปนี้

1. ความเข้มข้นของกาวแก้ว และความเป็นกรดของสารส้ม เมื่อทำปฏิกิริยากับกาวแก้วน่าจะมีผลต่อขนาดอนุภาคของอะลูมิเนียมซิลิเกต กล่าวคือ ขนาดของอนุภาคอะลูมิเนียมซิลิเกตมีขนาดแตกต่างกัน เมื่อส่องด้วยเครื่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
2. ขนาดอนุภาคของอะลูมิเนียมซิลิเกตที่แตกต่างกันมีผลต่อสมบัติทางกายภาพต่างๆ เช่น ความต้านทานแรงดึง ความแข็ง เป็นต้น

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 3

### เครื่องมือและวิธีการทดลอง

#### 3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

##### 3.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ทำผลิตภัณฑ์

1. แม่แบบรูปทรงกระบอกกลวง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงใน 1 cm วงนอก 5 cm หนา 1 cm
2. มอเตอร์กวนเป็นชนิดที่สามารถปรับความเร็วรอบได้

##### 3.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำดิสเพอร์ชัน

1. หม้อบดที่ใช้เป็นหม้อทรงกระบอกมีขนาดดังนี้ ความยาว 20 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร เป็นหม้อที่ทำจากสแตนเลส

2. ลูกหินบดซึ่งทำมาจากกระเบื้อง มีขนาดที่แตกต่างกันที่ใช้ในการทดลองดังนี้ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 เซนติเมตร ในสัดส่วนเปอร์เซ็นต์เรียงลำดับดังนี้ 10%, 25%, 25%, 20%, 10%, 10%

3. รางสำหรับวางหม้อบดโดยจะต่อกับมอเตอร์ เพื่อช่วยให้รางหมุนเมื่อนำหม้อบดวางไว้ ความเร็วในการหมุน 53 รอบ/นาที

##### 3.1.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบสมบัติต่างๆ

1. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope)
2. เครื่องรีดสองลูกกลิ้ง (Two Roll Mill)
3. เครื่องทดสอบการดึงยาง (Tensile Tester) รุ่น LR50K บริษัท LLOYD

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 3.1 แสดงวัตถุดิบ และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	สมบัติ	หน้าที่	ที่มา
1. น้ำยางธรรมชาติเข้มข้นชนิดแอมโมเนียต่ำ	มีเนื้อยางแห้ง 60%	เป็นวัตถุดิบหลักในงานวิจัย	บริษัท ไทยรับเบอร์แอนด์เลเท็กซ์ จำกัด (องค์ประกอบแสดงในภาคผนวก ก)
2. ซัลเฟอร์	ผงสีเหลือง	สารวัลคาไรไนซ์	บริษัท เบนไมเออร์ จำกัด
3. ซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมท (ZDEC)	ผงสีขาว	ตัวเร่งปฏิกิริยาวัลคาไรไนซ์	บริษัท เบนไมเออร์ จำกัด
4. ซิงค์ออกไซด์ (ZnO)	ผงสีขาว	ตัวกระตุ้นปฏิกิริยาวัลคาไรไนซ์	บริษัท เบนไมเออร์ จำกัด
5. ซอฟเท็กซ์เอ	เกล็ดสีเหลือง	ช่วยกระจายตัว	บริษัท กิมฮวด จำกัด
6. เบนโตไนต์	ผงสีน้ำตาล	ช่วยกระจายตัว	บริษัท เบนไมเออร์ จำกัด
7. กาวแก้ว	ความเข้มข้น 40.0% Na <sub>2</sub> O : Si <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 1 : 3	ช่วยเพิ่มความแข็งแรง	บริษัท ไลออัน จำกัด
8. สารส้ม	ผลึกสีขาว	ทำปฏิกิริยา	บริษัท กิมฮวด จำกัด
9. ไนโตรเจน	ความเข้มข้น	ทดสอบการซึมผ่านแก๊ส	บริษัท ยูไนเต็ท อินดัสตรีลแก๊ส จำกัด

### 3.3 การดำเนินงานวิจัย

#### 3.3.1 วิธีการเตรียมคิสเปอร์ชัน

สารเคมีที่ใช้เตรียมคิสเปอร์ชัน เป็นสารเคมีกลุ่มวัลคาไรไนซ์ คือ ซัลเฟอร์, ZDEC และ ZnO

	น้ำหนักแห้ง
สารเคมี (ingradeint)	50
bentonite clay	1.0
softexA	1.0
น้ำ	48
รวม	100

แล้วนำสารทั้งหมดมาบดขยี้ในหม้อบดเพื่อให้มีขนาดเล็กพอให้เกิดการวัลคาไนซ์

### 3.3.2 กระบวนการผลิตมีดังต่อไปนี้

#### 1. ผสมน้ำยางชั้นกับสารเคมี

1.1 หาสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างกาวแก้วกับน้ำยางชั้นเพื่อให้ได้สมบัติเชิงกลของยางดีที่สุด โดยมีสูตรกระบวนการผลิตดังนี้

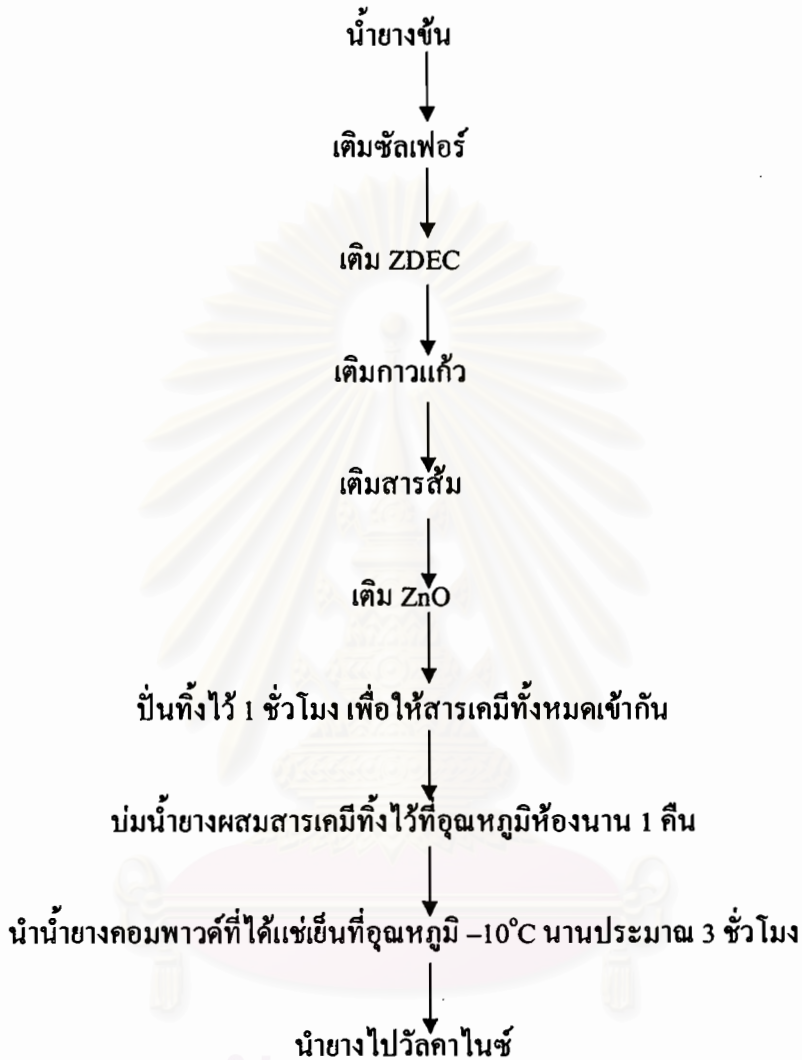
	phr (part per hundred rubber)
น้ำยางชั้น	100
50% sulfur	2.8
50%ZDEC	3.2
50% ZnO	2.8
กาวแก้ว	0, 10, 20, 30, 40 และ 50
สารส้ม	คำนวณตามปฏิกิริยาที่เกิด

1.2 ศึกษาการหาปัจจัยที่มีผลต่อขนาดอนุภาคซิลิเกต ในน้ำยางชั้นโดยใช้ภาวะสัดส่วนที่ดีที่สุดข้อ 1.1 ดังนี้

1.2.1 เปลี่ยนความเข้มข้นของกาวแก้วตั้งแต่ 20, 40, 60, 80 และ 100 เปอร์เซ็นต์

1.2.2 เปลี่ยนค่า pH ของ  $Al_2(SO_4)_3$  ดังต่อไปนี้ 2.98, 3.08, 3.15 และ 3.28 พร้อมทั้งเปลี่ยนความเข้มข้นของกาวแก้วตั้งแต่ 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์

## 2. ขั้นตอนการผลิต มีดังนี้



ขั้นตอนการเติมสารเคมีนั้น จะต้องปั่นผสมให้เข้ากับนำยางเสียก่อน โดยปั่นไว้ 10 นาที แล้วจึงเติมสารเคมีตัวต่อไป และต้องบ่มนำยางทิ้งไว้เพื่อให้นำยางเกิดพันธะเคมีเชื่อมโยงกันมากขึ้น จากนั้นนำไปขึ้นรูปพร้อมกับวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 150°C นาน 1 ชั่วโมง

### 3. ทดสอบสมบัติเชิงกลของผลิตภัณฑ์ดังนี้

- 3.1 ความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength)
- 3.2 ความพรุนของยาง โดยการไหลผ่านของแก๊สไนโตรเจน
- 3.3 ค่าความแข็ง (Hardness)

#### 4. ทดสอบสมบัติของยางรูปพรุน

4.1 ค่าความหนาแน่น

4.2 ค่าความแข็ง

4.3 ค่าสภาพให้แก๊สซึมผ่าน

#### 3.3.3 การเติมพอลิเมอร์ในยางรูปพรุน

นำยางพรีวัลคาไนซ์ไปแช่ในพอลิเมอร์ในเครื่องอบสุญญากาศที่อุณหภูมิห้อง ความดันสุญญากาศนาน 15 นาที แล้วนำไปพอลิเมอร์ที่อุณหภูมิ 90 °C นาน 30 นาที

ส่วนประกอบ	%
Methyl Methacrylate	98
Benzoylperoxide	2

#### 1. ขั้นตอนการเติมพอลิเมอร์มีดังต่อไปนี้

Porous Rubber + Monomer (Methyl Methacrylate)

Initiator (Benzoylperoxide)

Vacuum (อุณหภูมิห้องนาน 15 นาที)

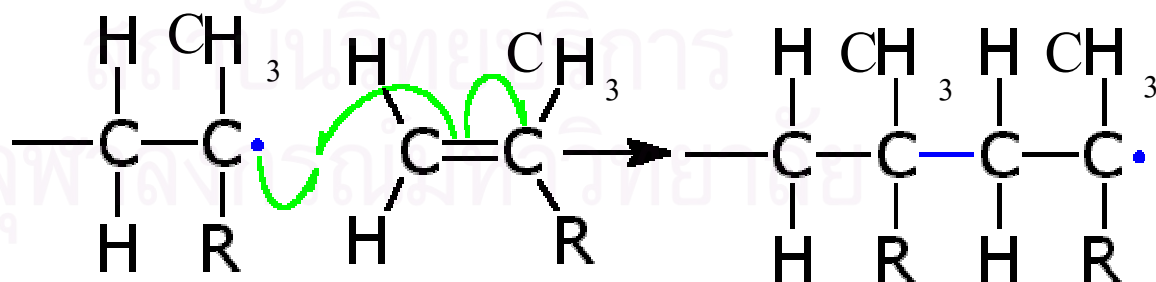
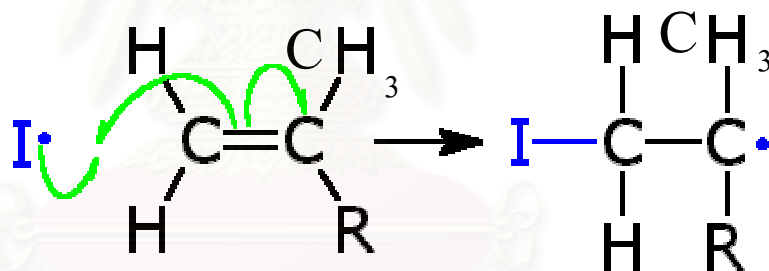
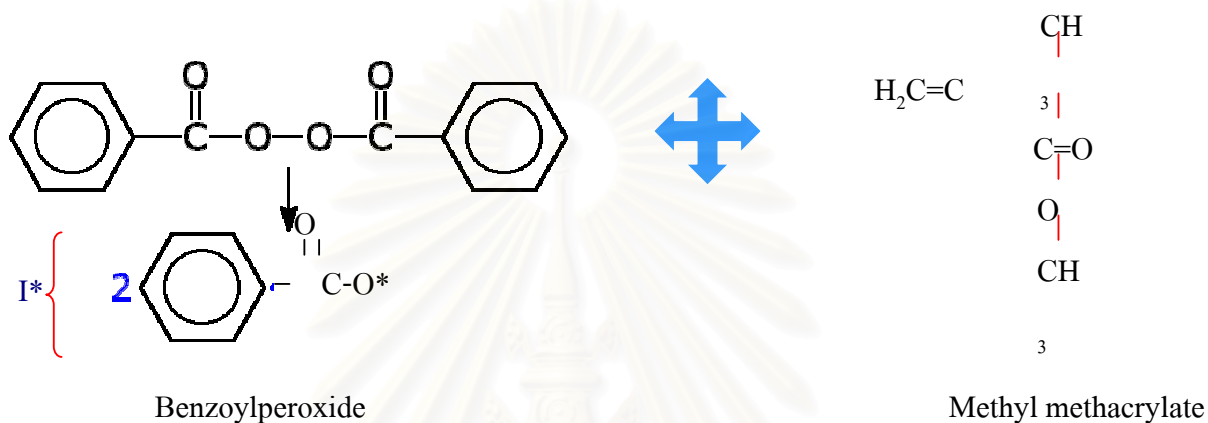
Polymerization (อุณหภูมิ 90 °C นาน 30 นาที)

Vulcanize (อุณหภูมิ 150 °C นาน 60 นาที)

Rubber + Polymer

นำยางรูปพจนมาแช่ใน Methyl Methacrylate ปริมาณ 98 % ผสม Benzoylperoxide ปริมาณ 2 % จากนั้นเข้าสู่อบสุญญากาศที่อุณหภูมิห้องนาน 15 นาที เพื่อให้โมโนเมอร์เข้าในช่องว่างของยางพจน ใด้ดีขึ้น แล้วเข้าสู่กระบวนการ Polymerization ที่อุณหภูมิ 90 °C นาน 30 นาที และวัลคาไนต์ที่อุณหภูมิ 150 °C นาน 60 นาที เพื่อให้ยางพจนแข็งแรงมากขึ้น

2. กลไกการเกิดปฏิกิริยา Polymerization เป็นดังต่อไปนี้





## บทที่ 4

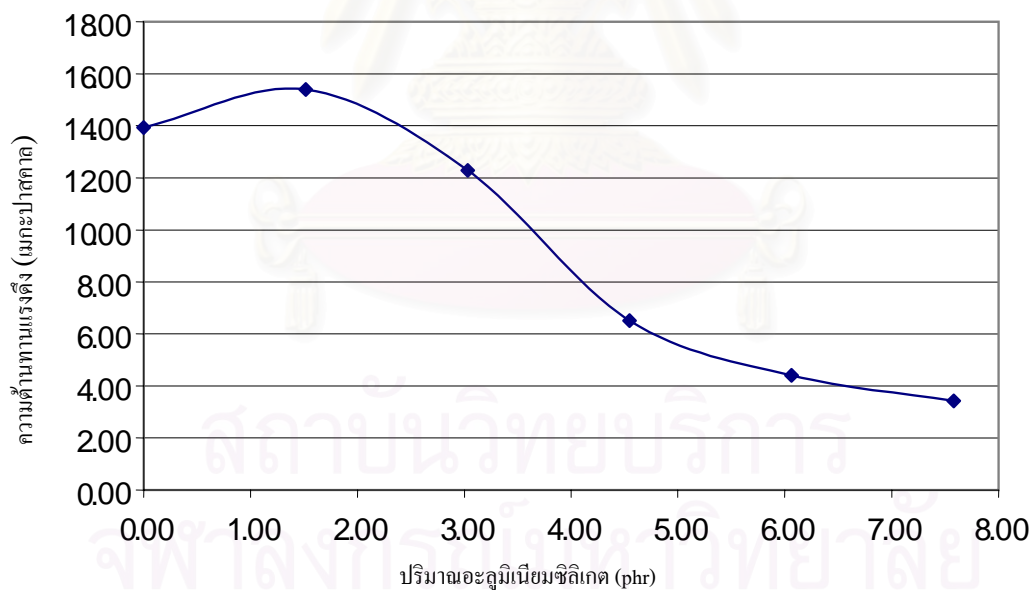
### ผลการทดลอง และวิเคราะห์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ศึกษาหาขนาดอนุภาคของซิลิกา ที่มีผลต่อความแข็งแรงของยางวัลคาไนซ์ โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

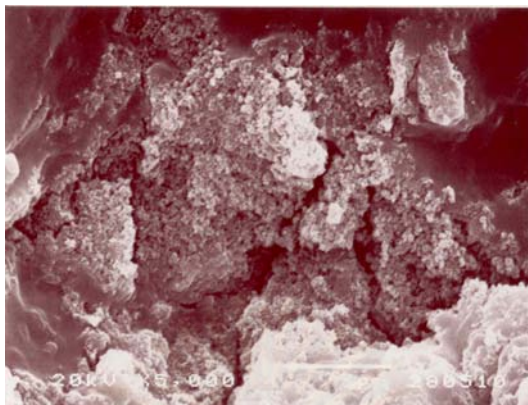
#### 4.1 หาสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างน้ำยางชั้นกับกากแก้ว

เตรียมผลิตภัณฑ์ที่จะทดสอบสมบัติต่างๆ โดยใช้สัดส่วนน้ำยางชั้นต่อกากแก้วดังนี้ 100:0, 100:10, 100:20, 100:30, 100:40 และ 100:50 phr โดยกากแก้วทำปฏิกิริยากับกรดสารส้มที่มี pH เท่ากับ 3.28 ได้เป็นอะลูมิเนียมซิลิกาปริมาณ 0, 1.52, 3.03, 4.55, 6.06 และ 7.58 phr ตามลำดับ

##### 4.1.1 ผลของความต้านทานแรงดึง



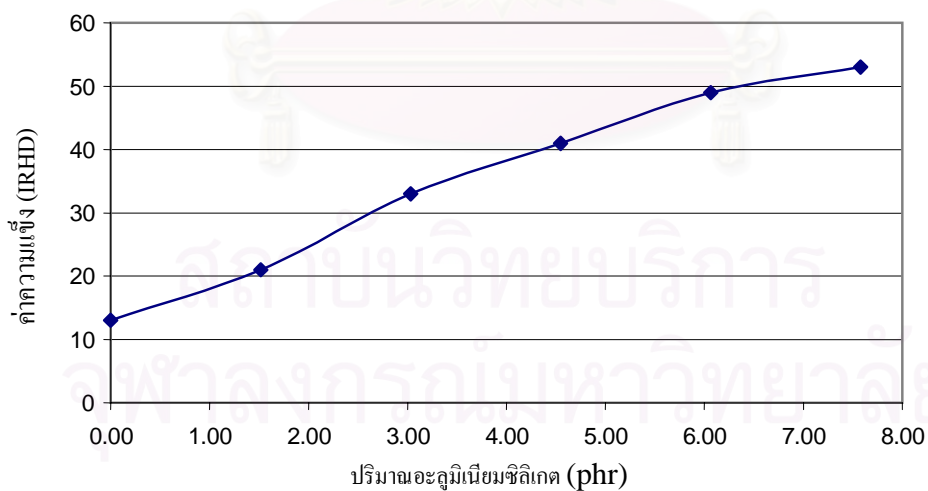
รูปที่ 4.1 ความต้านทานแรงดึงต่างๆ เมื่อปริมาณอะลูมิเนียมซิลิกาเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.2 แสดงขนาดอนุภาคอะลูมิเนียมซิลิเกตที่ 7.58 phr

จากรูปที่ 4.1 (ข้อมูลการทดลองแสดงในภาคผนวก ก.1) ค่าความต้านทานแรงดึงที่ 0 phr ของอะลูมิเนียมซิลิเกต มีค่าเท่ากับ 14 MPa และเมื่อปริมาณอะลูมิเนียมซิลิเกตเพิ่มขึ้นเป็น 1.52 phr ค่าความต้านทานแรงดึง จะเพิ่มขึ้นเป็น 15.4 MPa แต่ถ้าค่าอะลูมิเนียมซิลิเกตเพิ่มมากขึ้น พบว่าค่าความต้านทานแรงดึงจะลดต่ำลง เนื่องจากขนาดอนุภาคอะลูมิเนียมซิลิเกตมีขนาดใหญ่มากขึ้น เมื่อปริมาณอะลูมิเนียมซิลิเกตมากขึ้น โดยจากรูปที่ 4.2 ขนาดอนุภาคอะลูมิเนียมซิลิเกตที่ 7.58 phr มีขนาด 300-9100 nm

#### 4.1.2 ผลของค่าความแข็ง

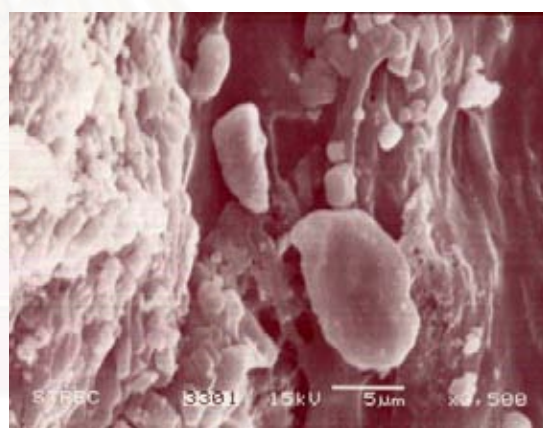
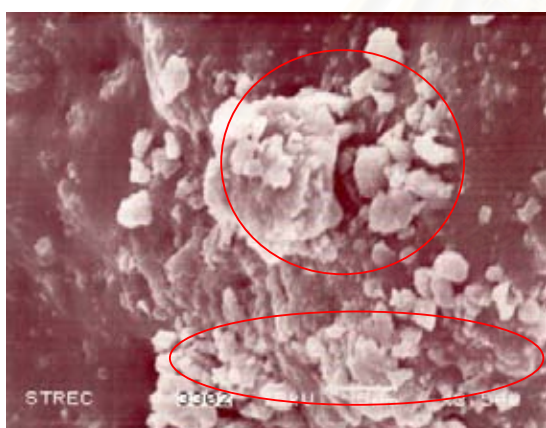


รูปที่ 4.3 แสดงค่าความแข็ง เมื่อปริมาณอะลูมิเนียมซิลิเกตสูงขึ้น

จากรูปที่ 4.3 พบว่าปริมาณอะลูมิเนียมซิลิเกตมากขึ้นค่าความแข็งจะสูงขึ้น โดยที่ 7.58 phr ค่าความแข็งจะมากที่สุด ซึ่งสูงถึง 53 IRHD ข้อมูลแสดงในภาคผนวก ค.2 ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากกาแว้เป็นสารตัวเติมที่ช่วยในการเสริมแรง ส่งผลให้ค่าความแข็งมีค่าสูงขึ้น จากผลการทดลองนี้สามารถสรุปได้ว่าสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างน้ำยางชั้นกับกาแว้คือ 100 : 50 เนื่องจากมีค่าความแข็งที่สูงมาก และกาแว้มีราคาถูกจึงสามารถลดต้นทุนในการผลิตลงได้ ส่วนค่าความต้านทานแรงดึงจะปรับปรุงต่อไปในภายหลัง

#### 4.2 ศึกษาการตกตะกอนของอนุภาคอะลูมิเนียมซิลิเกตขนาดต่างๆ ในน้ำยางชั้น โดยใช้ปริมาณกาแว้ 50 phr ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

4.2.1 ผลของความเข้มข้นของกาแว้ โดยมีความเข้มข้นต่างๆดังต่อไปนี้ 20, 40, 60, 80 และ 100% ของกาแว้ที่ 50 phr เมื่อทำปฏิกิริยากับสารส้ม pH 3.28

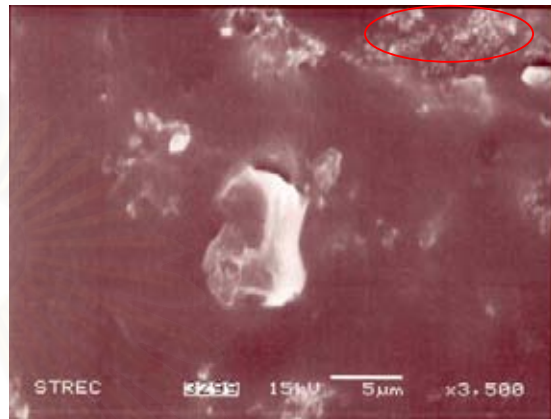
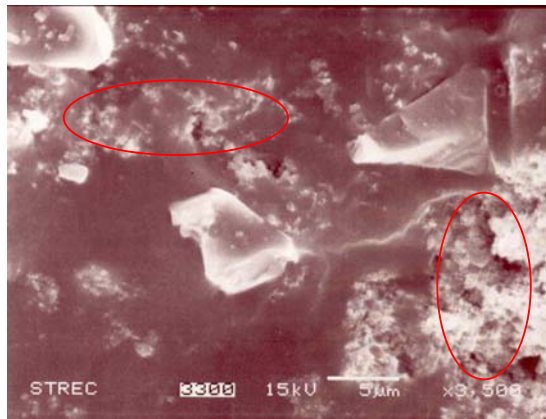


รูปที่ 4.4 ขนาดของอนุภาคอะลูมิเนียมซิลิเกต ความเข้มข้น 100% ของกาแว้ที่ 50 phr

รูปที่ 4.5 ขนาดของอนุภาคอะลูมิเนียมซิลิเกต ความเข้มข้น 80% ของกาแว้ที่ 50 phr

จากรูปที่ 4.4 ขนาดอนุภาคของอะลูมิเนียมซิลิเกตมีขนาดอยู่ในช่วง 300 – 9100 nm อนุภาคอะลูมิเนียมซิลิเกตที่มีขนาดใหญ่มีปริมาณสูงมากบริเวณวงรี ปริมาณอะลูมิเนียมซิลิเกตขนาดเล็กมีค่อนข้างน้อย และการกระจายตัวของอนุภาคไม่ดีเท่าที่ควร

จากรูปที่ 4.5 ขนาดอนุภาคของอะลูมิเนียมซิลิเกตมีขนาดอยู่ในช่วง 300 – 8300 nm อนุภาคอะลูมิเนียมซิลิเกตมีการกระจายตัวไม่ดีเท่าที่ควร

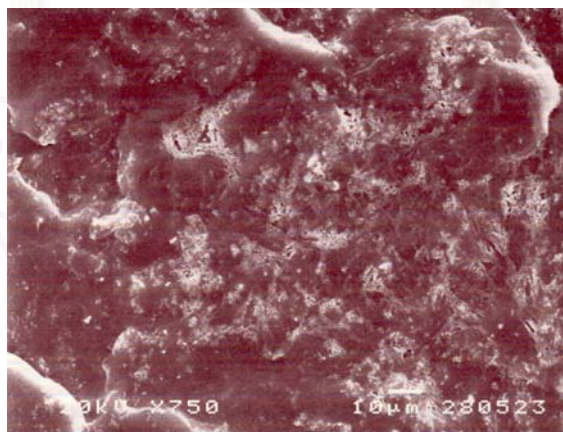


รูปที่ 4.6 ขนาดของอนุภาคอะลูมิเนียมซิลิเกต ความเข้มข้น 60% ของกาวแก้วที่ 50 phr

รูปที่ 4.7 ขนาดของอนุภาคอะลูมิเนียมซิลิเกต ความเข้มข้น 40% ของกาวแก้วที่ 50 phr

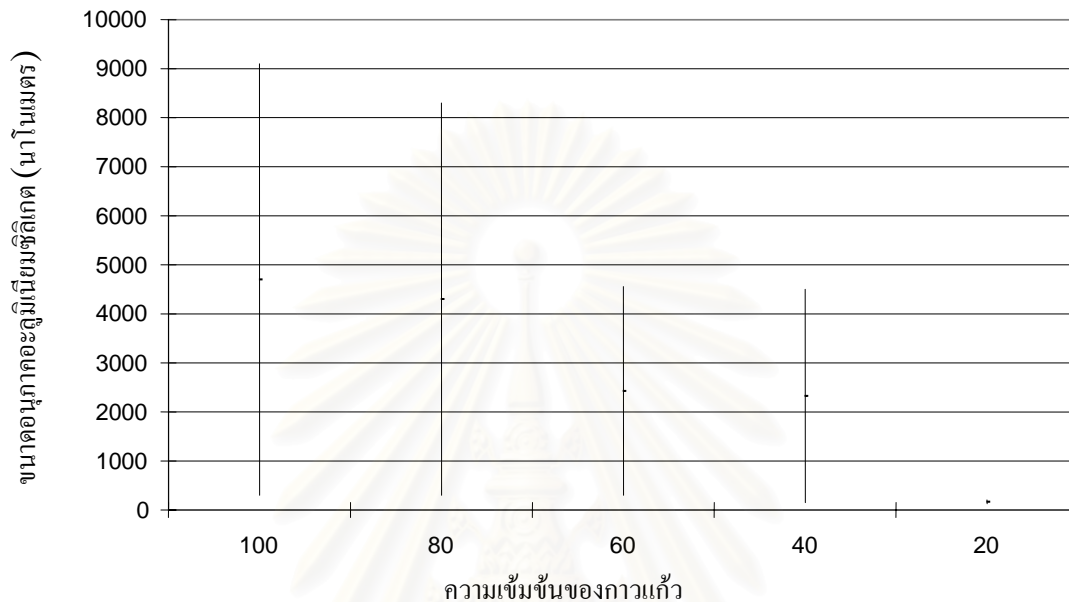
จากรูปที่ 4.6 ขนาดอนุภาคของอะลูมิเนียมซิลิเกตมีขนาดอยู่ในช่วง 300 – 4550 nm อนุภาคอะลูมิเนียมซิลิเกตที่มีขนาดใหญ่มีปริมาณน้อยลงบริเวณวงรี ปริมาณอะลูมิเนียมซิลิเกตขนาดเล็กมีค่อนข้างปริมาณมากขึ้นบริเวณวงรีสีแดง

จากรูปที่ 4.7 ขนาดอนุภาคของอะลูมิเนียมซิลิเกตมีขนาดอยู่ในช่วง 150 – 4500 nm พบว่าปริมาณอะลูมิเนียมซิลิเกตขนาดเล็กลงบริเวณวงรี



รูปที่ 4.8 ขนาดของอนุภาคอะลูมิเนียมซิลิเกตความเข้มข้น 20% ของกาวแก้วที่ 50 phr

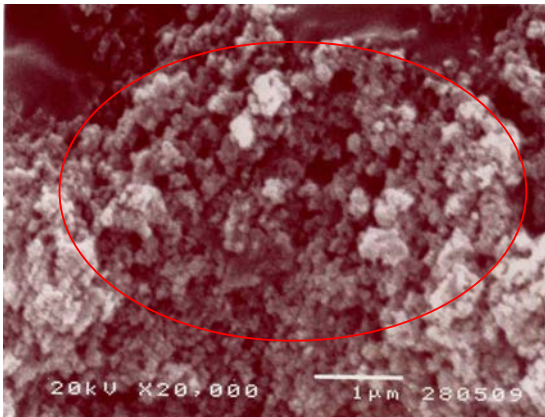
จากรูปที่ 4.8 ขนาดอนุภาคของอะลูมิเนียมซิลิเกตมีขนาดอยู่ในช่วง 125 – 210 nm พบว่าปริมาณอะลูมิเนียมซิลิเกตขนาดเล็กปริมาณมากและการกระจายตัวค่อนข้างดี



รูปที่ 4.9 ขนาดอนุภาคอะลูมิเนียมซิลิเกตที่ความเข้มข้นของกาวแก้วต่างๆ โดย pH ของสารส้มเป็น 3.28

จากรูป 4.9 สามารถสรุปได้ว่ายิ่งปริมาณความเข้มข้นของกาวแก้วน้อย ขนาดอนุภาคของอะลูมิเนียมซิลิเกตจะเล็กลง เนื่องจากที่ความเข้มข้นต่ำๆนั้น โอกาสที่อนุภาคของอะลูมิเนียมซิลิเกตจะมาเจอกัน และจับตัวเป็นก้อนขนาดใหญ่ก็น้อยลง ส่งผลให้อนุภาคของอะลูมิเนียมซิลิเกตมีขนาดเล็กลง

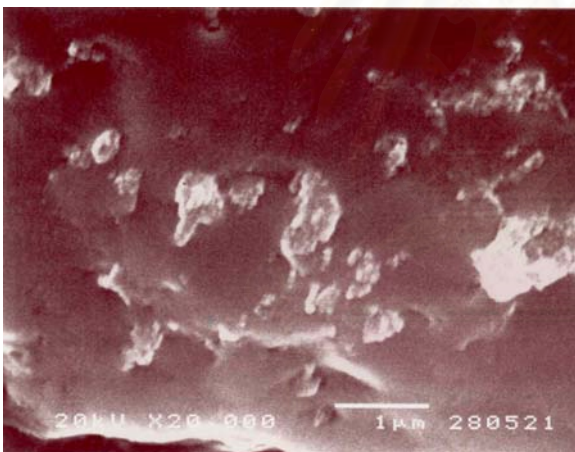
4.2.2 ศึกษาความเข้มข้น 10, 20 และ 30% ของกาวแก้วที่ 50 phr และ pH ของสารส้มที่ 2.98, 3.08, 3.15 และ 3.28



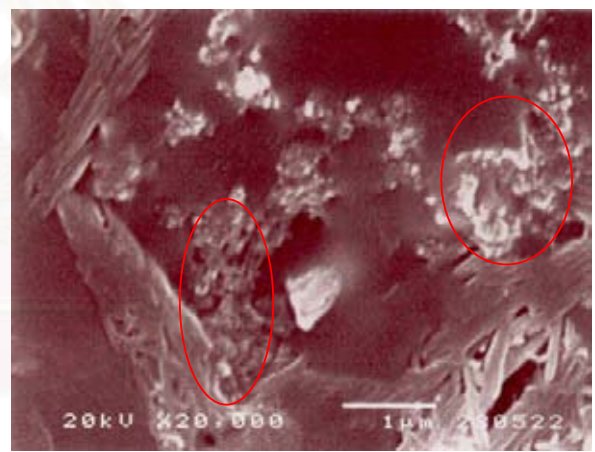
รูปที่ 4.10 ขนาดของอนุภาคอะลูมิเนียมซิลิเกต ความเข้มข้น 30% ของกาวแก้วที่ 50 phr และ pH ของสารส้ม 3.28



รูปที่ 4.11 ขนาดของอนุภาคอะลูมิเนียมซิลิเกต ความเข้มข้น 30% ของกาวแก้วที่ 50 phr และ pH ของสารส้ม 3.15



รูปที่ 4.12 ขนาดของอนุภาคอะลูมิเนียมซิลิเกต ความเข้มข้น 30% ของกาวแก้วที่ 50 phr และ pH ของสารส้ม 3.08

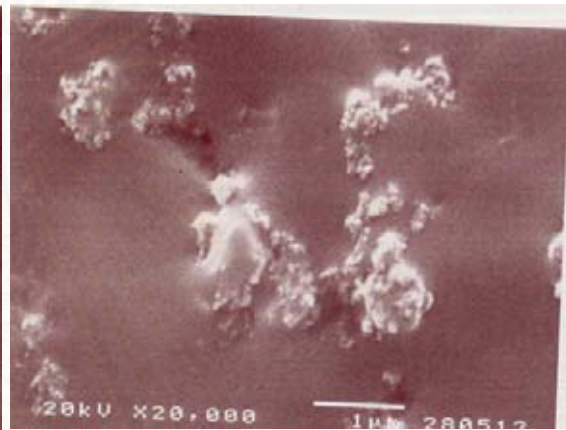
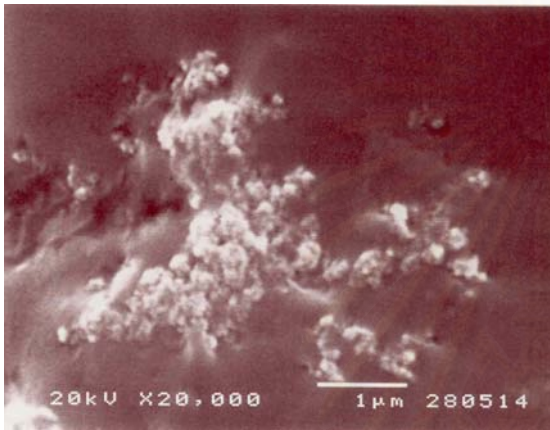


รูปที่ 4.13 ขนาดของอนุภาคอะลูมิเนียมซิลิเกต ความเข้มข้น 30% ของกาวแก้วที่ 50 phr และ pH ของสารส้ม 2.98

จากรูปที่ 4.10 อนุภาคอะลูมิเนียมซิลิเกตมีขนาดใหญ่มาก และการกระจายตัวไม่ดีเท่าที่ควร โดยอนุภาคอะลูมิเนียมซิลิเกตจะเกาะกลุ่มกันเองมากกว่า (บริเวณวงรี) และมีขนาดอะลูมิเนียมซิลิเกตอยู่ในช่วง 50 – 600 nm

จากรูปที่ 4.11 อนุภาคอะลูมิเนียมซิลิเกตมีขนาดค่อนข้างใหญ่ การกระจายตัวดีขึ้นเมื่อเทียบกับรูปที่ 4.10 แต่อนุภาคอะลูมิเนียมซิลิเกตยังคงเกาะกลุ่มกันเองบริเวณวงรี และมีขนาดอนุภาคของอะลูมิเนียมซิลิเกตอยู่ในช่วง 50 – 600 nm

จากรูปที่ 4.12 และ 4.13 ขนาดอนุภาคของอะลูมิเนียมซิลิเกตอยู่ในช่วง 50 – 600 nm โดยรูปที่ 4.13 พบว่ามีอนุภาคของอะลูมิเนียมซิลิเกตขนาดเล็กปริมาณมากขึ้นบริเวณวงรีเมื่อ pH ของสารส้มมีค่าน้อยลง

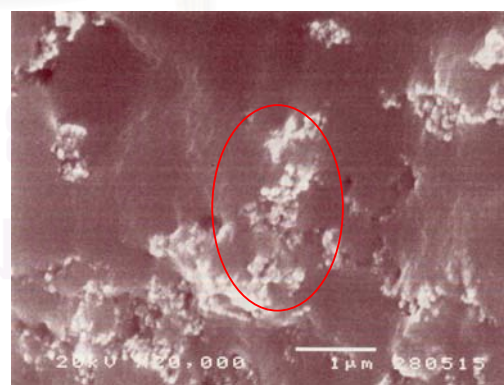
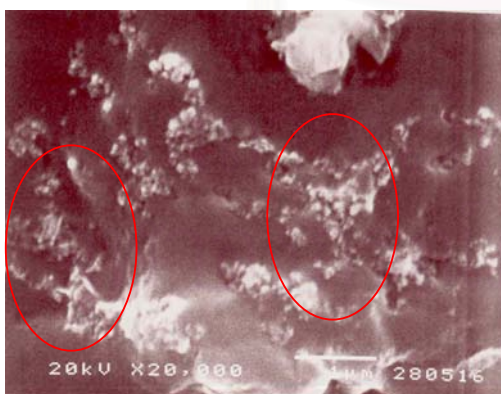


รูปที่ 4.14 ขนาดของอนุภาคอะลูมิเนียมซิลิเกต ความเข้มข้น 20% ของกาวแก้วที่ 50 phr และ pH ของสารส้ม 3.28 ขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง

125-210 nm

รูปที่ 4.15 ขนาดของอนุภาคอะลูมิเนียมซิลิเกต ความเข้มข้น 20% ของกาวแก้วที่ 50 phr และ pH ของสารส้ม 3.28 ขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง

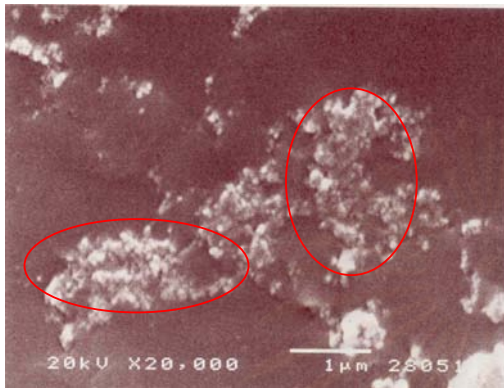
100-175 nm



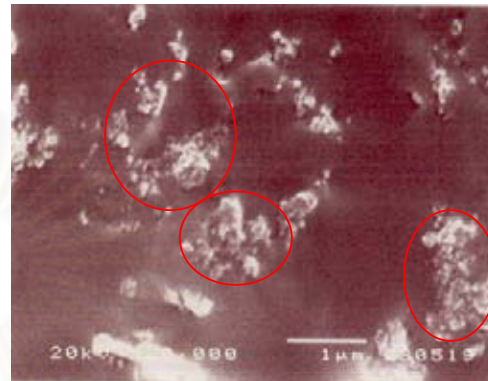
รูปที่ 4.16 ขนาดของอนุภาคอะลูมิเนียมซิลิเกต ความเข้มข้น 20% ของกาวแก้วที่ 50 phr และ pH

รูปที่ 4.17 ขนาดของอนุภาคอะลูมิเนียมซิลิเกต ความเข้มข้น 20% ของกาวแก้วที่ 50 phr และ pH

ของสารส้ม 3.08 ขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง  
100-150 nm



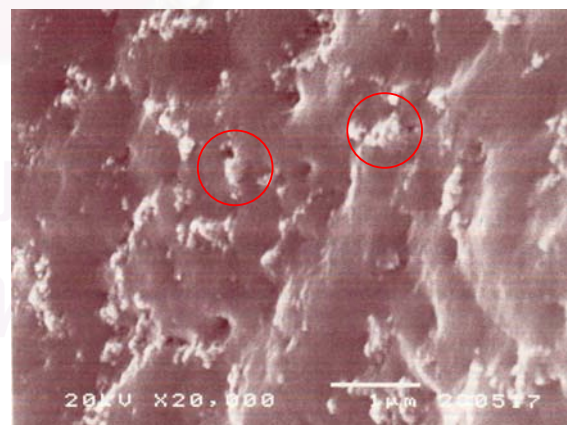
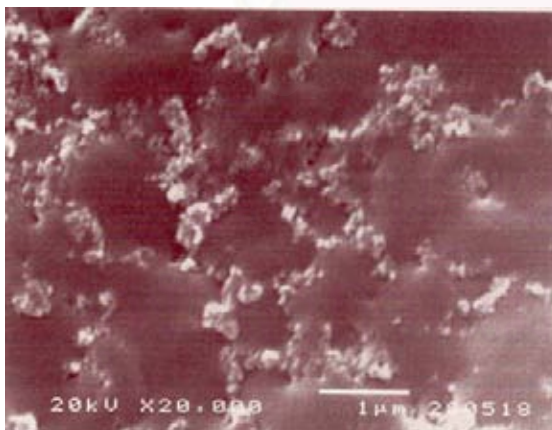
ของสารส้ม 2.98 ขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง  
100-140 nm



รูปที่ 4.18 ขนาดของอนุภาคอะลูมิเนียมซิติเกต  
ความเข้มข้น 10% ของกาวแก้วที่ 50 phr และ pH  
ของสารส้ม 3.28 ขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง  
75-110 nm

รูปที่ 4.19 ขนาดของอนุภาคอะลูมิเนียมซิติเกต  
ความเข้มข้น 10% ของกาวแก้วที่ 50 phr และ pH  
ของสารส้ม 3.28 ขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง  
75-100 nm

รูปที่ 4.16, 4.17, 4.18 และ 4.19 การกระจายตัวของอนุภาคอะลูมิเนียมซิติเกตไม่ดีเท่า  
ที่ควร เนื่องจากอนุภาคอะลูมิเนียมซิติเกตส่วนใหญ่เกาะกลุ่มกันเองมากกว่า (บริเวณวงรี)



รูปที่ 4.20 ขนาดของอนุภาคอะลูมิเนียมซิติเกต  
ความเข้มข้น 10% ของกาวแก้วที่ 50 phr และ pH

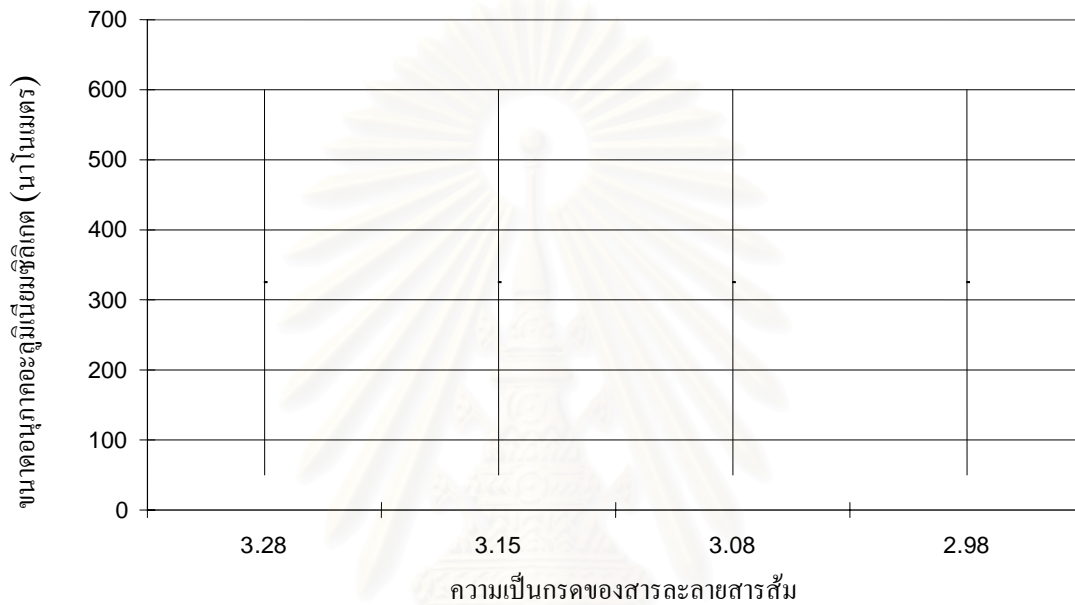
รูปที่ 4.21 ขนาดของอนุภาคอะลูมิเนียมซิติเกต  
ความเข้มข้น 10% ของกาวแก้วที่ 50 phr และ pH



ของสารส้ม 3.08 ขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง  
60-100 nm

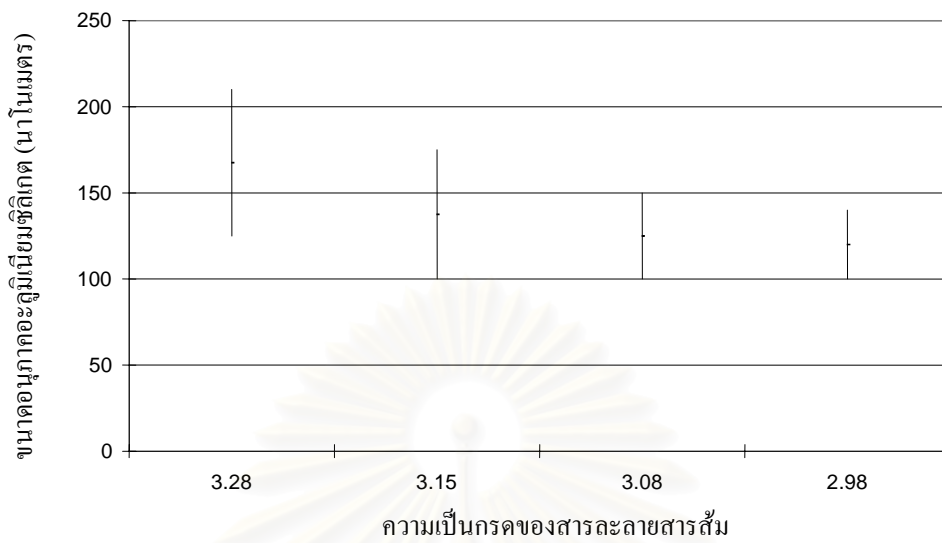
ของสารส้ม 2.98 ขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง  
50-75 nm

โดยรูปที่ 4.20 และ 4.21 อนุภาคอะลูมิเนียมซิลิเกตมีการกระจายตัวที่ดีมาก และมีขนาดเล็ก การเกาะกลุ่มกันเองของอนุภาคอะลูมิเนียมซิลิเกตนั้นน้อยลง (บริเวณวงรี)

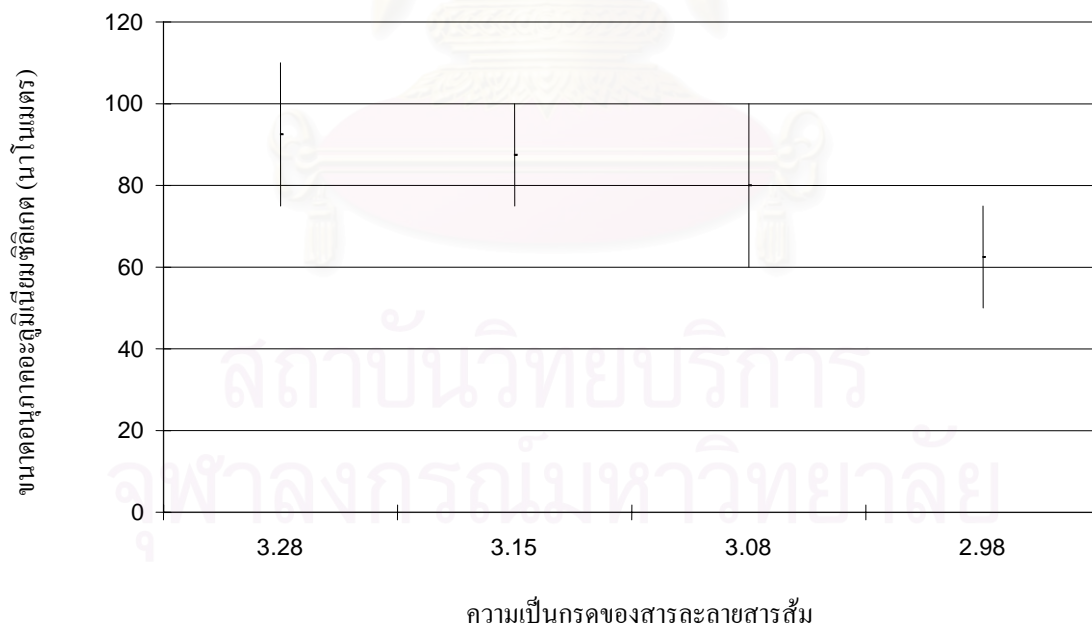


รูปที่ 4.22 ขนาดอนุภาคอะลูมิเนียมซิลิเกตที่ pH ของสารส้มต่างๆ โดยความเข้มข้นเป็น 30 % ของกาว  
แก้วที่ 50 phr

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.23 ขนาดอนุภาคอะลูมิเนียมซัลเฟตที่ pH ของสารส้มต่างๆ โดยความเข้มข้นเป็น 20 % ของกาว  
แก้วที่ 50 phr

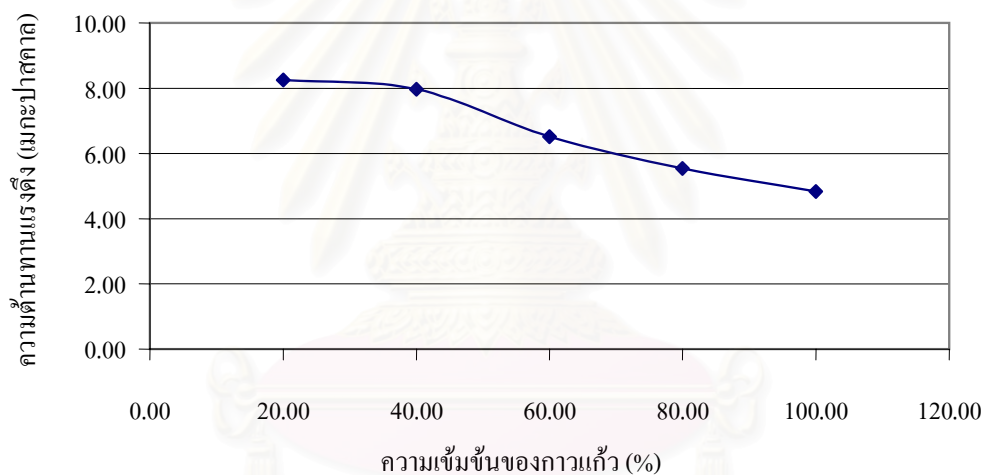


รูปที่ 4.24 ขนาดอนุภาคอะลูมิเนียมซัลเฟตที่ pH ของสารส้มต่างๆ โดยความเข้มข้นเป็น 10 %  
ของกาวแก้วที่ 50 phr

จากรูป 4.22, 4.23, 4.24 พบว่าขนาดอนุภาคอะลูมิเนียมซลิเกตมีขนาดเล็กลงเมื่อค่า pH ของสารส้มมีค่าลดลง เนื่องจากที่ความเป็นกรดของสารส้มสูงจะเกิดเกลือของโซเดียมซัลเฟตมากขึ้น โดยเกลือนี้จะกระจายตัวอยู่รอบๆอนุภาคอะลูมิเนียมซลิเกต ส่งผลให้อนุภาคอะลูมิเนียมซลิเกตจับตัวกันเองได้ยากขึ้น ทำให้อนุภาคของอะลูมิเนียมซลิเกตมีขนาดเล็กลง

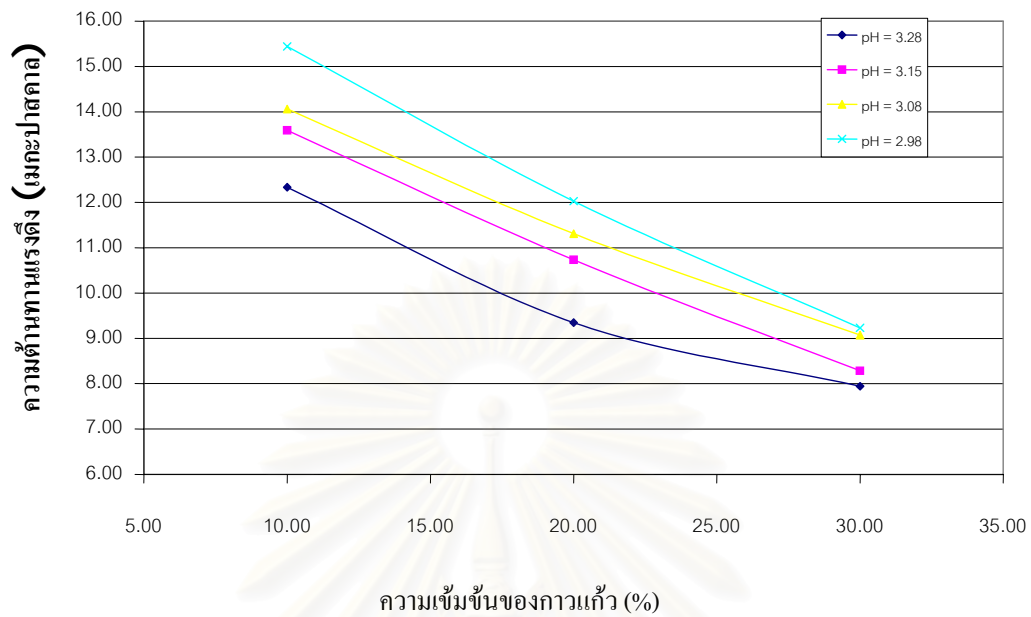
### 4.3 ทดสอบสมบัติเชิงกลของผลิตภัณฑ์ดังนี้

#### 4.3.1 ความต้านทานแรงดึง (Tensile strength)



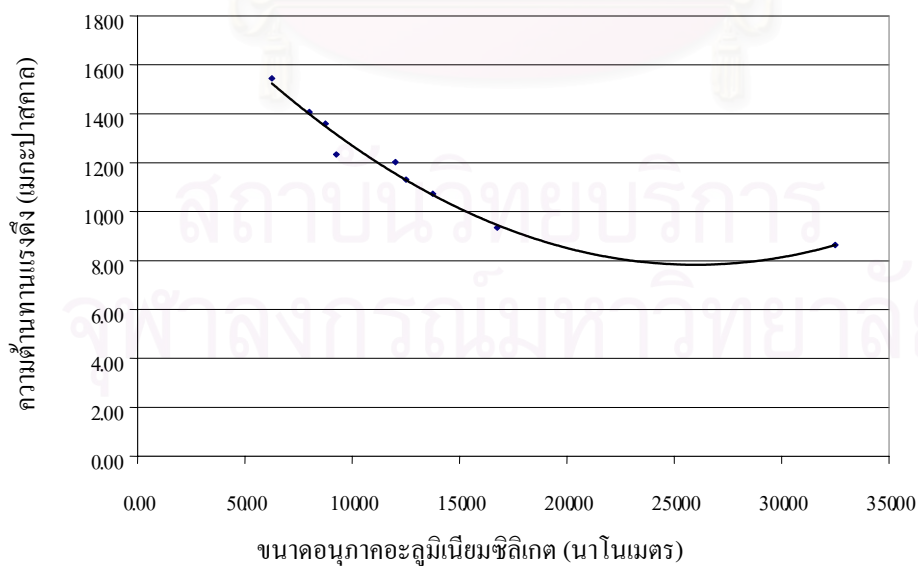
รูปที่ 4.25 ค่าความต้านทานแรงดึงเมื่อความเข้มข้นของกากแก้วลดลง

จากรูป 4.25 พบว่าความเข้มข้นของกากแก้วที่ลดลง ส่งผลให้ความต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้น เนื่องจากที่ความเข้มข้นของกากแก้วสูงๆ อนุภาคซลิเกตมีขนาดใหญ่ขึ้น ข้อมูลแสดงในภาคผนวก ก.3



รูปที่ 4.26 ผลของความต้านทานแรงดึงเมื่อความเข้มข้นของกาวแก้วและ pH ของสารส้มเปลี่ยนแปลง

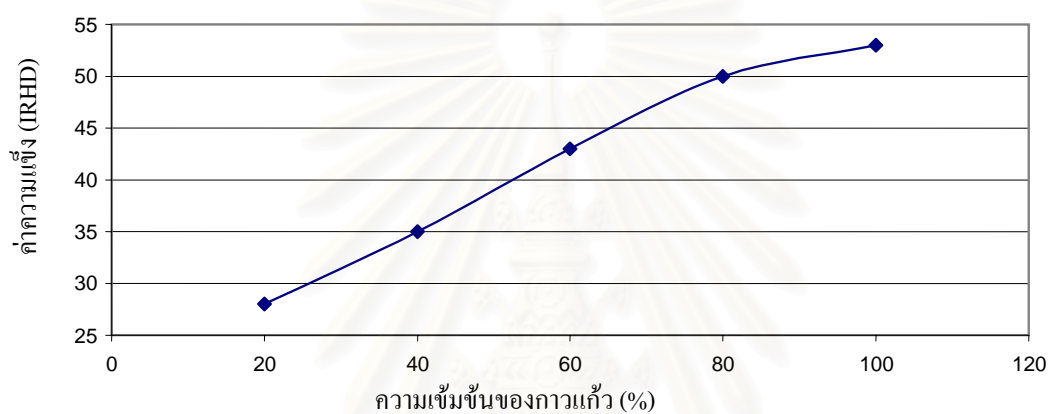
รูปที่ 4.26 พบว่ายิ่งปริมาณความเข้มข้นของกาวแก้วน้อยกว่า 30% ที่ 50 phr และค่าความเป็นกรดของสารส้มสูง ส่งผลให้ความต้านทานแรงดึงสูงขึ้น เนื่องจากที่ภาวะนี้ขนาดอนุภาคของอะลูมิเนียมซิลิเกตมีขนาดเล็ก จึงช่วยเสริมแรงได้ดีขึ้น ข้อมูลแสดงในภาคผนวก ก.5



รูปที่ 4.27 ค่าความต้านทานแรงดึงที่ขนาดอนุภาคของอะลูมิเนียมซิลิเกตที่ขนาดต่างๆ

รูป 4.27 แสดงให้เห็นว่าอนุภาคอะลูมิเนียมซิลิเกตขนาดเล็กกว่า 250 nm ช่วยเพิ่มสมบัติทางด้านความต้านทานแรงดึงมากยิ่งขึ้น โดยที่ขนาดอนุภาคอะลูมิเนียมซิลิเกตเฉลี่ยขนาด 62.5 nm มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงถึง 15.4 MPa ข้อมูลแสดงในภาคผนวก ก.6

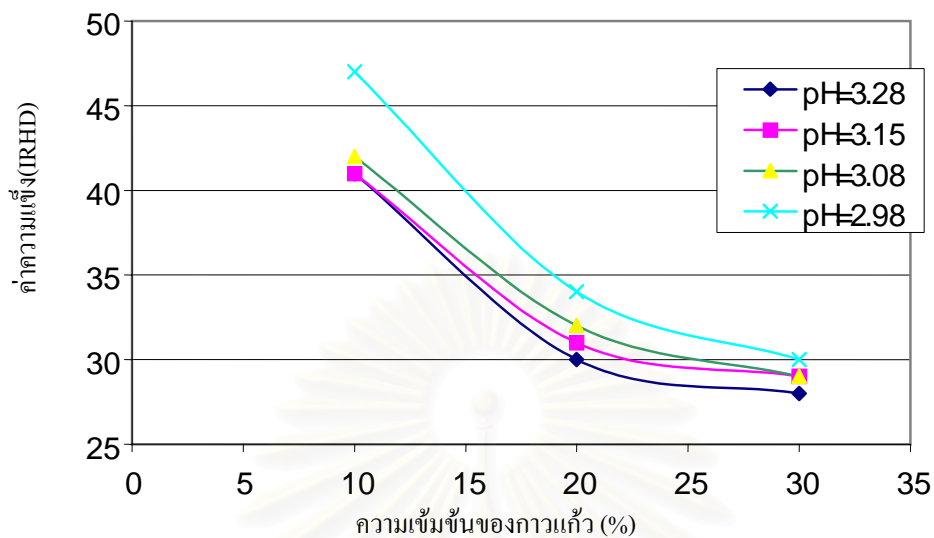
#### 4.3.2 ค่าความแข็ง



รูปที่ 4.28 ค่าความแข็งเมื่อความชื้นของกาวแก้วลดลง

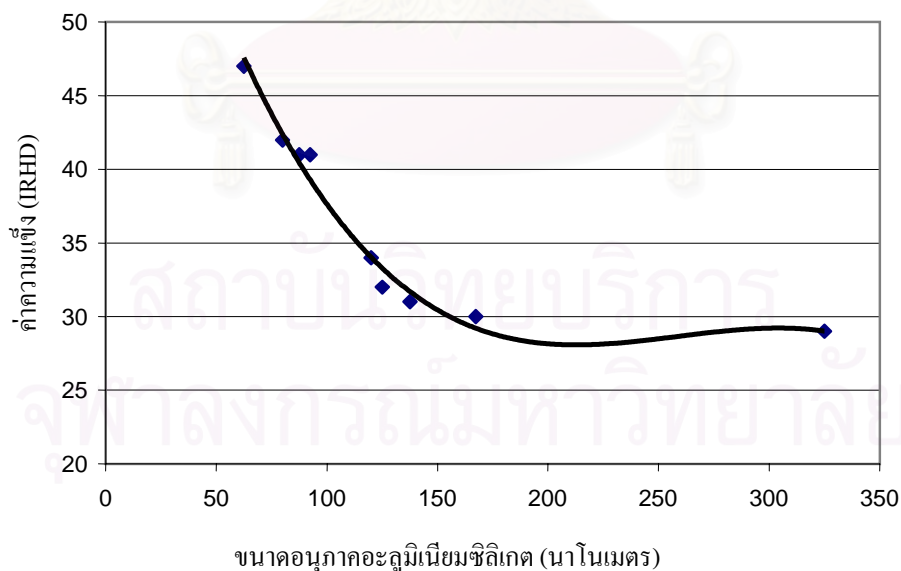
จากรูป 4.28 พบว่าความชื้นของกาวแก้วที่ลดลง ส่งผลให้ค่าความแข็งลดต่ำลง เนื่องจากปริมาณของอะลูมิเนียมซิลิเกตที่ได้นั้นมีปริมาณน้อยลง ข้อมูลแสดงในภาคผนวก ก.4

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.29 ผลของความแข็งเมื่อความชื้นของกาวแก้ว และ pH ของสารส้มเปลี่ยน

รูปที่ 4.29 พบว่ายิ่งปริมาณความชื้นของกาวแก้วน้อยกว่า 30% ที่ 50 phr และค่าความเป็นกรดของสารส้มสูง ส่งผลให้ค่าความแข็งสูงขึ้น เนื่องจากที่ภาวะนี้ขนาดอนุภาคของอะลูมิเนียมซิลิเกตมีขนาดเล็ก จึงช่วยเสริมแรงได้ดีขึ้น ข้อมูลแสดงในภาคผนวก ก.7

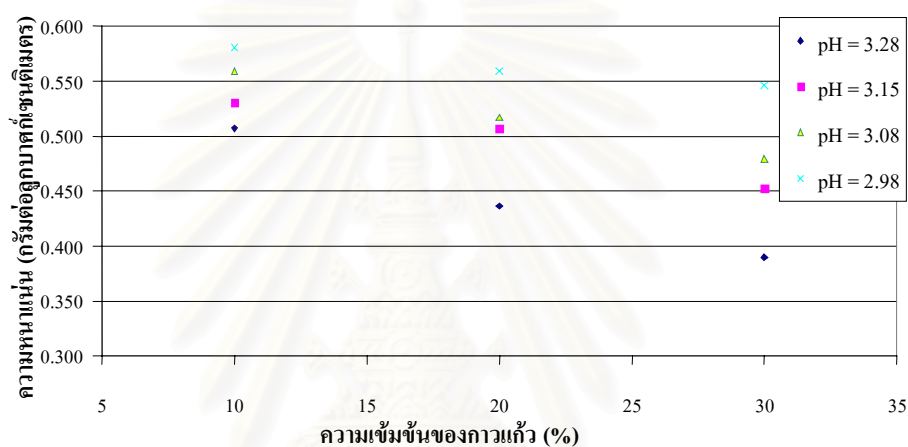


รูปที่ 4.30 ค่าความต้านทานแรงดึงที่ขนาดอนุภาคของอะลูมิเนียมซิลิเกตมีขนาดเล็กลง

รูป 4.30 แสดงให้เห็นว่าอนุภาคอะลูมิเนียมซิลิเกตขนาดเล็กกว่า 200 nm ช่วยเพิ่มสมบัติทางด้านความแข็งแรงมากยิ่งขึ้น โดยที่ขนาดอนุภาคอะลูมิเนียมซิลิเกตเฉลี่ยขนาด 62.5 nm มีค่าความแข็งแรงสูงถึง 47 IRHD ข้อมูลแสดงในภาคผนวก ค.8

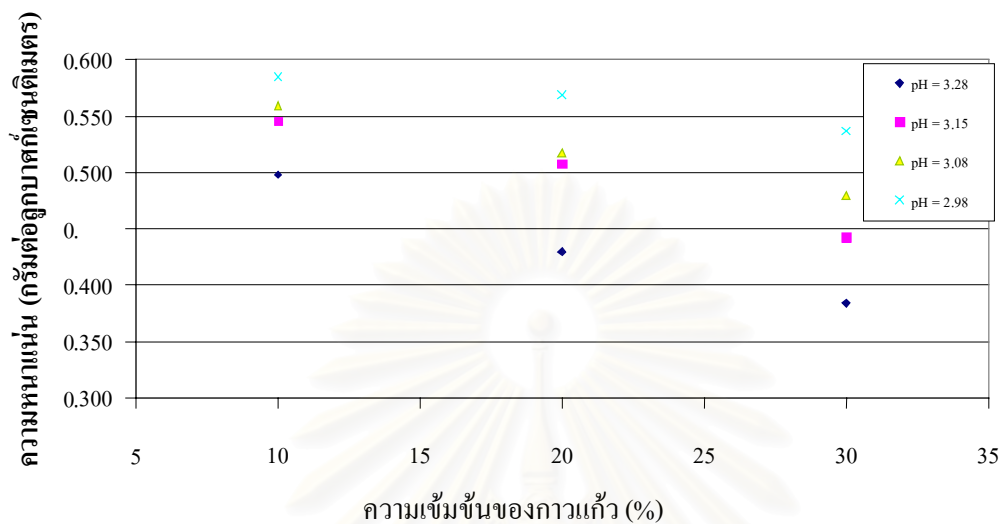
#### 4.4 ศึกษาสมบัติของยางรูปพรุน

##### 4.4.1 ผลต่อความหนาแน่น



รูปที่ 4.31 แสดงค่าความหนาแน่นของยางไม่วัลคาไนซ์เทียบกับความเข้มข้นของกาวแก้วที่ 50 phr และค่าความเป็นกรดของสารส้ม

จากรูป 4.31 พบว่าค่าความหนาแน่นของยางไม่วัลคาไนซ์มีค่าลดลง เมื่อความเข้มข้นของกาวแก้วสูงขึ้น และค่า pH ของสารส้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากที่ความเข้มข้นสูงปริมาณของกาวแก้วจะเพิ่มขึ้นจึงใช้สารส้มสูงขึ้น ส่งผลให้น้ำในผลิตภัณฑ์สูงขึ้น เมื่อน้ำถูกกำจัด ค่าความหนาแน่นจึงลดลง ส่วนค่า pH ของสารส้มสูงแสดงว่ามีน้ำในสารส้มมากเช่นกัน ข้อมูลแสดงในภาคผนวก ค.9



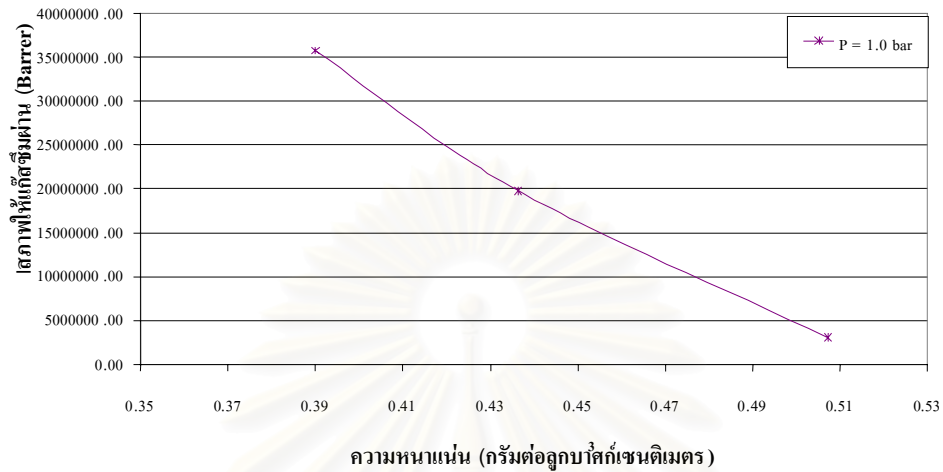
รูปที่ 4.32 ค่าความหนาแน่นของยางไม้วัลคาไนซ์เทียบกับความเข้มข้นของกาวแก้วที่ 50 phr และค่าความเป็นกรดของสารส้ม

จากรูปที่ 4.31 และ 4.32 ค่าความหนาแน่นมีค่าใกล้เคียงกันมาก แสดงว่าอุณหภูมิที่ใช้วัลคาไนซ์ที่ 150 °C นาน 1 ชั่วโมงไม่มีผลต่อความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ ข้อมูลแสดงในภาคผนวก ค.10

#### 4.4.2 สภาพให้แก๊สซึมผ่านได้

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





รูปที่ 4.33 ค่าสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สในโพลีเอทิลีนที่ความหนาแน่นต่างๆ

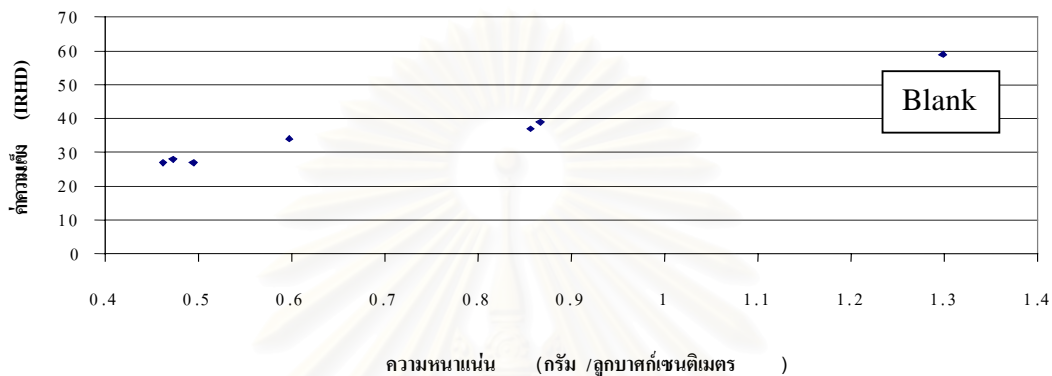
จากรูปที่ 4.33 พบว่าความหนาแน่นต่ำ ค่าสภาพซึมผ่านของแก๊สในโพลีเอทิลีนจะสูงขึ้น หมายความว่าแก๊สในโพลีเอทิลีนจะผ่านยางรูปวงกลมได้สูงขึ้นที่ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ต่ำ การคำนวณแสดงในภาคผนวก ข ข้อมูลแสดงในภาคผนวก ค.11



รูปที่ 4.34 ยางรูปวงกลมที่นำมาทดสอบสภาพให้ซึมผ่านของแก๊ส

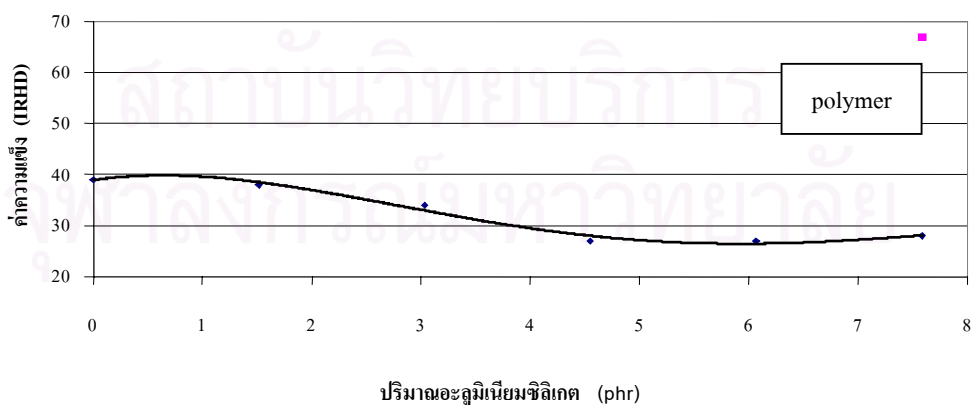
ขนาดของชิ้นทดสอบมีความหนาประมาณ 1.4-1.5 mm เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 9 cm

#### 4.4.3 ค่าความแข็ง



รูปที่ 4.35 ค่าความแข็งเทียบกับความหนาแน่น โดยใช้อะลูมิเนียมซิลิเกต 7.58 phr

จากรูปที่ 4.35 พบว่าความหนาแน่นของยางรูปทรงเพิ่มขึ้น เมื่อความหนาแน่นเพิ่มขึ้น โดยที่ความหนาแน่น  $0.87 \text{ g/cm}^3$  มีความแข็ง 39 IRHD แต่ยางผสมคาร์บอนแบล็กที่ใช้เป็นตัวทดสอบแล้วมีค่าความแข็งสูงถึง 59 IRHD แสดงให้เห็นว่ายางรูปทรงมีความแข็งน้อยมากข้อมูลแสดงในภาคผนวก ค.12



รูปที่ 4.36 ค่าความแข็งเทียบกับปริมาณของอะลูมิเนียมซิลิเกต

จากรูปที่ 4.36 พบว่าปริมาณอะลูมิเนียมซลิเกตที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความแข็งลดต่ำลง เนื่องจากปริมาณกาวยา้วที่เพิ่มขึ้น สารสั้มที่ใช้เพิ่มขึ้น น้ำในผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น ค่าความหนาแน่นลดต่ำลง ส่งผลให้ค่าความแข็งลดน้อยลง แต่เมื่อเติมพอลิเมอร์ในยางผสมอะลูมิเนียมซลิเกต 7.58 phr ค่าความแข็งสูงถึง 67 IRHD ซึ่งมากกว่ายางผสมคาร์บอนแบล็กที่ใช้เป็นตัวเปรียบเทียบ โดยผลที่ได้นี้ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งมากพอที่จะนำไปใช้งานได้ ข้อมูลแสดงในภาคผนวก ค.13

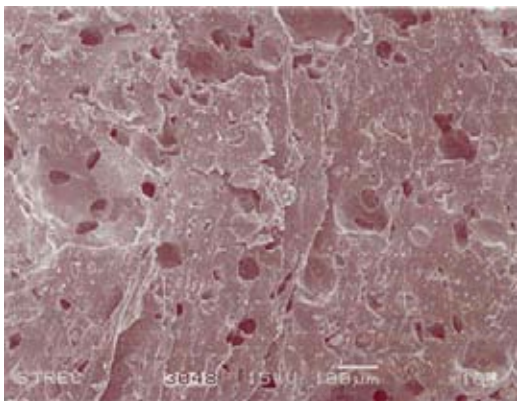


รูปที่ 4.37 ยางรูปวงที่ใช้ในการทดสอบค่าความแข็ง

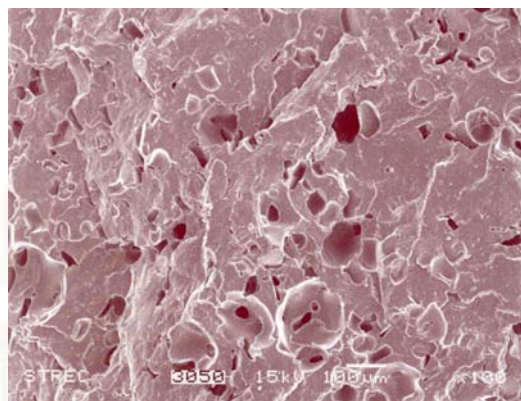
ขนาดของชิ้นทดสอบมีความหนาประมาณ 1 cm เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1 cm เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 5 cm

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

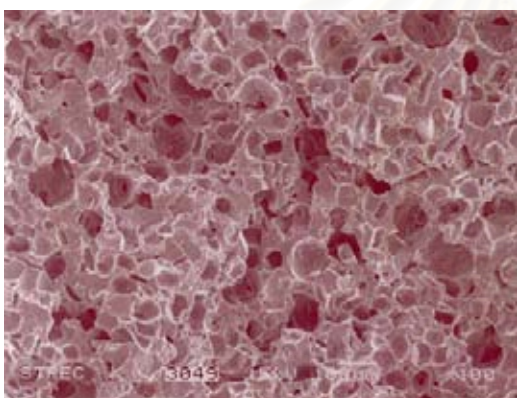
## 4.4.3 ศึกษารูพรุนของยาง



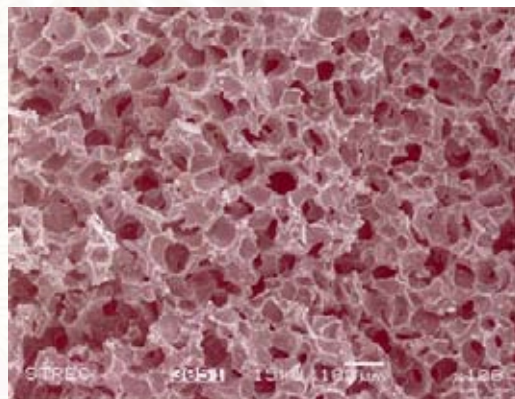
รูปที่ 4.38 ลักษณะรูพรุนของยาง  
ที่ผสมกาวแก้ว 0 phr



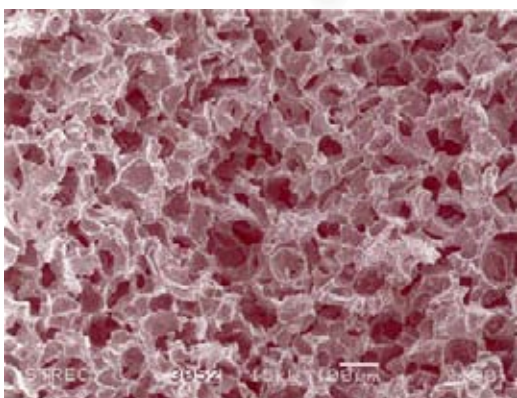
รูปที่ 4.39 ลักษณะรูพรุนของยาง  
ที่ผสมกาวแก้ว 10 phr



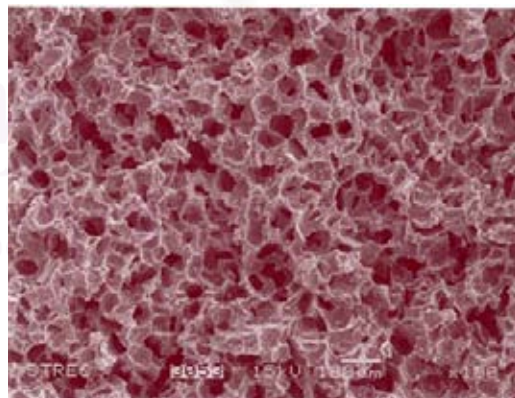
รูปที่ 4.40 ลักษณะรูพรุนของยาง  
ที่ผสมกาวแก้ว 20 phr



รูปที่ 4.41 ลักษณะรูพรุนของยาง  
ที่ผสมกาวแก้ว 30 phr



รูปที่ 4.42 ลักษณะรูพรุนของยาง  
ที่ผสมกาวแก้ว 40 phr



รูปที่ 4.43 ลักษณะรูพรุนของยาง  
ที่ผสมกาวแก้ว 50 phr

จากรูป 4.38, 4.39, 4.40, 4.41, 4.42 และ 4.43 พบว่าเมื่อปริมาณกาวยั่วมากขึ้น ปริมาณรูพรุนจะสูงขึ้น เนื่องจากต้องใช้ปริมาณสารส้มมากขึ้น ส่งผลให้น้ำในผลิตภัณฑ์สูงขึ้น และมีรูพรุนมากขึ้น โดยขนาดของรูพรุนมีขนาดอยู่ในช่วง 10-100  $\mu\text{m}$  แสดงให้เห็นว่าขนาดของรูพรุนไม่ขึ้นกับปริมาณของโซเดียมซัลไฟเกต



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาหาขนาดอนุภาคของอะลูมิเนียมซิลิเกตในกระบวนการผลิต เพื่อผลของขนาดอนุภาคที่มีผลต่อความแข็งแรงของยางวัลคาไนซ์ ในกระบวนการผลิตจะเตรียมดิสเพอร์ชันโดยใช้เครื่องบอลมิลบดสารให้มีขนาดเล็ก แล้วนำดิสเพอร์ชันมาผสมกับน้ำยางชั้น ปรับขนาดอนุภาคอะลูมิเนียมซิลิเกตด้วยความเข้มข้นของกาวแก้ว และความหนืดของสารส้ม จากนั้นทดสอบสมบัติทางกายภาพเช่น ความต้านทานแรงดึงยาง ค่าความแข็ง สภาพไฟให้แก๊สซึมผ่าน เป็นต้น โดยตัวแปรที่ศึกษา คือความเข้มข้นของกาวแก้ว และความหนืดของสารส้ม

#### 5.1 ภาวะที่เหมาะสมระหว่างน้ำยางชั้น กับกาวแก้ว

จากการเตรียมน้ำยางชั้นผสมกาวแก้ว โดยมีปริมาณกาวแก้วที่แตกต่างกัน จากการวัดค่าความต้านทานแรงดึง และค่าความแข็ง สรุปว่า ปริมาณกาวแก้วมาก ค่าความแข็งจะสูงขึ้น ส่วนค่าความต้านทานแรงดึงจะลดต่ำลง และพบว่าที่สัดส่วนของน้ำยางชั้นกับกาวแก้วเท่ากับ 100:50 จะมีค่าความแข็งสูงสุด และช่วยลดต้นทุนการผลิตลงได้ แต่ค่าความต้านทานแรงดึงค่อนข้างต่ำ

#### 5.2 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อขนาดอนุภาคอะลูมิเนียมซิลิเกต

##### 5.2.1 ความเข้มข้นของกาวแก้ว

ค่าความเข้มข้นของกาวแก้ว 10, 20 และ 30% ที่ 50 phr พบว่ามีผลต่อขนาดอนุภาคของอะลูมิเนียมซิลิเกต เมื่อทำการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของอะลูมิเนียมซิลิเกตด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด สรุปได้ว่าความเข้มข้นของกาวแก้วน้อย ทำให้อนุภาคของอะลูมิเนียมซิลิเกตมีขนาดเล็กลง โดยที่ความเข้มข้น 10% ที่ค่าความหนืดของสารส้ม 2.98 จะมีขนาดอนุภาคอะลูมิเนียมซิลิเกตประมาณ 50-75 nm

##### 5.2.2 ค่าความหนืดของสารส้ม

ค่าความหนืดของสารส้ม 2.98, 3.08, 3.15 และ 3.28 พบว่ามีผลต่อขนาดอนุภาคของอะลูมิเนียมซิลิเกตเมื่อทำการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของอะลูมิเนียมซิลิเกตด้วยกล้องจุลทรรศน์

อิเล็กทรอนิกส์แบบส่องกราด สรุปได้ว่าค่าความเป็นกรดของสารส้มมีค่าสูง ขนาดอนุภาคของอะลูมิเนียมซลิเกตจะเล็กลง โดยที่ค่าความเป็นกรดของสารส้ม 2.98 และความเข้มข้นของกาวยแก้ว 10% ที่ 50 phr จะมีขนาดอนุภาคอะลูมิเนียมซลิเกตประมาณ 50-75 nm

### 5.3 ทดสอบสมบัติต่างๆ

#### 5.3.1 ค่าความแข็ง

โดยปกติขนาดอนุภาคซลิเกตจะมีผลต่อค่าความแข็ง โดยถ้าขนาดอนุภาคของอะลูมิเนียมซลิเกตมีขนาดใหญ่ และปริมาณที่มาก ค่าความแข็งจะมีค่ามากขึ้น แต่ถ้าขนาดอนุภาคของอะลูมิเนียมซลิเกตมีขนาดเล็กมาก โดยเล็กกว่า 200 nm ค่าความแข็งจะเพิ่มมากขึ้น และที่ขนาดอนุภาคอะลูมิเนียมอยู่ในช่วง 50-75 nm ค่าความแข็งจะสูงถึง 47 IRHD

#### 5.3.2 ความต้านทานแรงดึง

โดยปกติขนาดอนุภาคซลิเกตจะมีผลต่อความต้านทานแรงดึง โดยถ้าขนาดอนุภาคของอะลูมิเนียมซลิเกตมีขนาดใหญ่ ความต้านทานแรงดึงจะมีค่าลดลง แต่ถ้าขนาดอนุภาคของอะลูมิเนียมซลิเกตมีขนาดเล็กมาก โดยเล็กกว่า 250 nm ความต้านทานแรงดึงจะเพิ่มมากขึ้น และที่ขนาดอนุภาคอะลูมิเนียมซลิเกตอยู่ในช่วง 50-75 nm ความต้านทานแรงดึงมีค่า 15.4 MPa

#### 5.3.3 ความหนาแน่น

ความเข้มข้นของกาวยแก้ว และค่าความเป็นกรดของสารส้มมีผลต่อความหนาแน่นของยางวัลคาไนซ์ โดยที่ความเข้มข้นของกาวยแก้วมาก และค่าความเป็นกรดของสารส้มต่ำมีผลทำให้ความหนาแน่นของยางวัลคาไนซ์ลดต่ำลง ซึ่งที่ความเข้มข้นของกาวยแก้ว 30% ที่ 50 phr และค่าความเป็นกรดของสารส้ม 3.28 มีความหนาแน่น  $0.39 \text{ g/cm}^3$  ที่ภาวะนี้ยางวัลคาไนซ์มีน้ำหนักเบาเหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็นตัวผสมรวมไปถึงจนวนป้องกันความร้อนต่างๆได้

ความหนาแน่นของยางวัลคาไนซ์มีผลต่อค่าความแข็ง โดยที่ความหนาแน่นต่ำๆ ค่าความแข็งจะลดต่ำลง เมื่อเทียบกับยางผสมคาร์บอนแบล็กพบยางรูปหุนมีความแข็งค่อนข้างต่ำกว่ามาก จึงมีการปรับปรุงประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น โดยการเติมพอลิเมอร์เข้าไปในช่องว่างของยางรูปหุน พบว่ามีค่าความแข็งสูงถึง 67 IRHD

ความหนาแน่นต่อสภาพให้ซึมผ่านของแก๊สไนโตรเจน พบว่าที่ความหนาแน่นต่ำ แก๊สไนโตรเจนสามารถผ่านได้ดี แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการระบายอากาศได้ดี แต่ ความสามารถในการกักเก็บแก๊สไม่ดีเท่าที่ควร

#### 5.4 กระบวนการผลิตแบบใหม่

กระบวนการผลิตแบบใหม่นั้นจะใช้ระบบผสมสารเคมีแบบเป็ยกแทนการบดผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบลูกกลิ้งซึ่งต้องใช้พลังงานสูง จากนั้นเข้าสู่กระบวนการขึ้นรูปพร้อมทั้งแช่แข็ง และทิ้งไว้จนแห้งแทนการอบแห้ง แล้วทำการขนส่งไปอีกโรงงานเพื่อทำการขึ้นรูปต่อไป ซึ่งกระบวนการนี้ช่วยประหยัดอุปกรณ์ต่างๆ พร้อมทั้งลดกระบวนการผลิตลงจนเหลือแค่โรงงานเดียว ช่วยประหยัดพลังงานและเวลาที่ใช้ในการผลิต

#### 5.5 ข้อเสนอแนะ

5.5.1 การเติมสารส้มลงในน้ำยางนั้น ควรค่อยๆเติม และควรเติมในรูปของสารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำ

5.5.2 ควรศึกษาสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุลบ เนื่องจากสามารถช่วยลดปัญหาการจับตัวเป็นก้อนขณะเติมสารส้มได้

5.5.3 การเคมีต่างๆที่เติมในน้ำยางชั้น ควรอยู่ในรูปสารละลาย หรือคิสเพอร์ชันเท่านั้น

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## รายการอ้างอิง

1. พรพรรณ นิธิอุทัย. สารเคมีสำหรับยาง. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี
2. ชมพูนุท สัจจร. ผลของขนาดอนุภาคดีสเพอร์ชันที่มีต่อกระบวนการผลิตและคุณภาพของถุงมือยางทางการแพทย์ที่ผลิตจากนํ้าธรรมชาติ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารศึกษาศาสตร์ ภาควิชาเคมีเทคนิค บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2543
3. ทิววรรณ วิทยา. สมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติของยางธรรมชาติผสมยางพอลิวิทาไดอิน เต็มซิลิกา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารศึกษาศาสตร์ ภาควิชาเคมีเทคนิค บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542
4. ศุภรัตน์ นวลสุวรรณ. ยางธรรมชาติเสริมแรงด้วยซิลิกาจากแกลบ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารศึกษาศาสตร์ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538
5. แม้น อมรสิทธิ์, อมร เพชรสม. Principles and Techniques of Instrumental Analysis : หจก. โรงพิมพ์ชวนพิมพ์, 2539.
6. คัทลียา ชะโรจน์บวร. การถ่ายโอนสารอินทรีย์เข้าไปในยางธรรมชาติโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ช่วย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารศึกษาศาสตร์ ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.
7. เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังษี. การผลิตยางธรรมชาติ. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2541
8. L. Yong-Kul, R. Young, R. Hyun-Ku. Preparation of colloidal silica using peptization method. Physicochemical and Engineering Aspects 173, 109-116, 2000
9. S. Varghese, J. Karger-Kocsis, K.G. Gatos. Melt compounded epoxidized natural rubber/layer silicate nanocomposites: structure-properties relationships. Polymer 44, 3977-3983, 2003
10. James E. Mark, Burak Erman, Frederick R. Eirich. Science and Technology of Rubber. Second Edition : Academic Press, INC, 1994.
11. Fred W. Barlow. Rubber Compounding principles, materials and techniques. Second Edition, 1993.
12. A. D. Roberts. Natural Rubber Science and Technology : Oxford University Press, 1988.
13. Maurice Morton. Rubber Technology : Litton Educational Publishing, INC, 1959.
14. Walter E. Burton. Engineering with Rubber. McGraw-Hill Book Company, INC, 1949.

15. Kilian H. G. Universal Properties in Filler-Loaded Rubbers : University of Ulm, 1998.
16. Tianbo Liu. Nanofabrication in Polymer Matrices. Prog. Polym. Sci. 28, 5-26, 2003
17. Andrzej Krysztafkiewicz. Modified Sodium Aluminium Silicate – a highly Dispersed Polymer Filler and a Pigment. Physicochemical and Engineering Aspects 113, 203-214, 1996
18. Zhihong Yang, Properties of Ternary Blends of Starch and Maleated Polymers of Styrene and Ethylene Propylene Rubber. Polymer Vol. 37 No.11, 2137-2150, 1996
19. Elsi Mora. Compounding Fumed Silicas into Polydimethylsiloxane: Bound Rubber and Final Aggregate Size. Journal of Colloid and Interface Science 195, 329-337, 1997
20. Maurice Morton, Rubber Tecnology. Litton Educational Publishing, INC., 1959
21. L.H. Sperling. Introduction to Physical Polymer Science. John Wiley, 308-319, 1992
22. N. Tricas, E. Vadal-Escales, S. Borros, M. Gerspacher. Influence of Carbon Black Amorphouse Phase Content on Rubber Filled Compounds. Composites Science and Technology 63, 1155-1159, 2003



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ก

## สมบัติของน้ำยางธรรมชาติชั้นชนิดแอมโมเนียต่ำ

น้ำยางธรรมชาติชั้นชนิดแอมโมเนียต่ำที่ใช้ในการทดลองได้มาจาก บริษัท ไทยรับเบอร์เอนด์เลทีคส์ จำกัด มีสมบัติดังนี้

ตารางที่ ก.1 สมบัติของน้ำยางธรรมชาติชั้นชนิดแอมโมเนียต่ำ

Properties	Test Results
Total Solid Content, %	61.78
Dry Rubber Content, %	60.09
Non Rubber Solids, %	1.69
Ammonia Content (on Total Weight), %	0.27
Ammonia Content (on Water Weight), %	0.71
pH Value	10.19
KOH Number	0.7443
Volatile Fatty Acid Number (V.F.A.)	0.0462
Mechanical Stability Time @ 55% TS. , sec.	960 on (17-05-2003)
Specific Gravity at 25°C	0.946
Megnesium Content (on Solids), ppm.	33
Chemical Stability Test (CST), mi.	2.0
Coagulum Content, (80 mesh), ppm.	18
Viscosity (60% TS, Spindle no.1, 60 rpm.), cps.	97.9

Remark : Free from pentachlorophenol.

## ภาคผนวก ข

## ตัวอย่างการคำนวณ

## ข.1 การคำนวณอัตราการไหลของแก๊ส (Flow rate)

จากการทดลองจับเวลาให้แก๊สในโตรเจนไหลออกเป็นเวลา 3 วินาที ได้ผลในตารางที่ ข.1 ตารางที่ ข.1 แสดงปริมาณแก๊สในโตรเจนซึมผ่านยางรูพรุน

ความหนาแน่นของ ยางรูพรุน (g/cm <sup>3</sup> )	แก๊สในโตรเจน	
	เวลา (วินาที)	ปริมาตรแก๊สที่ไหลผ่าน (cm <sup>3</sup> )
0.50	3.13	160
0.44	2.79	860
0.39	2.91	1750

จากตารางจะคำนวณตัวอย่างของยางรูพรุนที่มีความหนาแน่น 0.5 (g/cm<sup>3</sup>)

$$\begin{aligned} \text{อัตราการไหลของแก๊สในโตรเจน} &= 160/3.13 \text{ cm}^3/\text{s} \\ &= 51.12 \text{ cm}^3/\text{s} \end{aligned}$$

เปรียบเทียบกับภาวะมาตรฐานของแก๊ส (STP), 0 องศาเซลเซียส 1 บรรยากาศ

$$\text{จาก } PV = zRT$$

$$\text{จะได้ } V_1/T_1 = V_2/T_2$$

$$\begin{aligned} \text{อัตราการไหลของแก๊สในโตรเจนที่ STP} &= (0.12 \times (273+16)/273) \\ &= 56.74 \text{ cm}^3/\text{s} \end{aligned}$$

## ข.2 การคำนวณหาค่าสภาพให้แก๊สซึมผ่าน

$$\text{จากสูตร ค่าสภาพให้แก๊สซึมได้} = (Q/t)l/(A\Delta P)$$

$$\text{เมื่อ } Q/t = \text{อัตราการไหลของแก๊ส}$$

$$l = \text{ความหนา}$$

$$A = \text{พื้นที่}$$

$\Delta P$  = ความดันต่าง

จะได้ค่าสภาพซึมผ่านของแก๊สไนโตรเจน =  $3.06 \times 10^6$  บาร์เรอ

เมื่อ 1 บาร์เรอ =  $10^{-10}$  ลูกบาศก์เซนติเมตร (STP) . เซนติเมตร / (วินาที . ตารางเซนติเมตร .  
เซนติเมตรปรอท)



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ค

## ข้อมูลการทดลอง

ตารางที่ ค.1 สมบัติกายภาพด้านความต้านทานแรงดึงที่ปริมาณ โซเดียมซัลไฟต์เพิ่มขึ้น

ปริมาณโซเดียมซัลไฟต์(phr)	ความต้านทานแรงดึง(MPa)
0	13.93
1.52	15.39
3.03	12.29
4.55	6.50
6.06	4.39
7.58	3.42

ตารางที่ ค.2 สมบัติทางกายภาพด้านความแข็งที่ปริมาณ โซเดียมซัลไฟต์เพิ่มขึ้น

ปริมาณโซเดียมซัลไฟต์(phr)	ค่าความแข็ง (IRHD)
0	13
1.52	21
3.03	33
4.55	41
6.06	49
7.58	53

ตารางที่ ค.3 สมบัติทางกายภาพด้านความต้านทานแรงดึงที่ความเข้มข้นของโซเดียมซัลไฟด์ต่างๆกัน

ความเข้มข้นของโซเดียมซัลไฟด์ (%)	ความต้านทานแรงดึง (MPa)
20	8.25
40	7.97
60	6.51
80	5.54
100	4.84

ตารางที่ ค.4 สมบัติทางกายภาพด้านความแข็งที่ความเข้มข้นของโซเดียมซัลไฟด์ต่างๆกัน

ความเข้มข้นของโซเดียมซัลไฟด์ (%)	ค่าความแข็ง (IRHD)
20	28
40	35
60	43
80	50
100	53

ตารางที่ ค.5 สมบัติทางกายภาพด้านความต้านทานแรงดึงที่ความเข้มข้นของโซเดียมซัลไฟด์ และค่าความเป็นกรดต่างๆกัน

ความเข้มข้นของโซเดียมซัลไฟด์ (%)	ค่าความเป็นกรดของสารส้ม			
	3.28	3.15	3.08	2.98
10	12.34	13.59	14.06	15.44
20	9.35	10.73	11.31	12.03
30	7.94	8.29	9.07	9.23



ตารางที่ ก.6 สมบัติทางกายภาพด้านความต้านทานแรงดึงที่มีต่อขนาดอนุภาคอะลูมิเนียมซิลิเกต

ขนาดอนุภาคอะลูมิเนียมซิลิเกต (nm)	ความต้านทานแรงดึง (MPa)
62.50	15.44
80.00	14.06
87.50	13.59
92.50	12.34
120.00	12.03
125.00	11.31
137.50	10.73
167.50	9.35
325.00	8.63

ตารางที่ ก.7 สมบัติทางกายภาพด้านความแข็งที่ความเข้มข้นของโซเดียมซิลิเกต และค่าความเป็นกรดต่างๆ กัน

ความเข้มข้นของโซเดียมซิลิเกต (%)	ค่าความเป็นกรดของสารส้ม			
		3.28	3.15	3.08
10	41	41	42	47
20	30	31	32	34
30	28	29	29	30

ตารางที่ ค.8 สมบัติทางกายภาพด้านความแข็งที่มีต่อขนาดอนุภาคอะลูมิเนียมเกต

ขนาดอนุภาคอะลูมิเนียมซิลิเกต (nm)	ความต้านทานแรงดึง (MPa)
62.50	47
80.00	42
87.50	41
92.50	41
120.00	34
125.00	32
137.50	31
167.50	30
325.00	29

ตารางที่ ค.9 สมบัติทางกายภาพด้านความหนาแน่นของยางไม้วัลคาไนซ์ที่ความเข้มข้นของโซเดียมซิลิเกต และค่าความเป็นกรดต่างๆกันของยางรูปพรุน

ความเข้มข้นของโซเดียมซิลิเกต (%)	ความเป็นกรดของสารส้ม			
	pH = 3.28	pH = 3.28	pH = 3.28	pH = 3.28
10	0.51	0.53	0.56	0.58
20	0.44	0.51	0.52	0.56
30	0.39	0.45	0.48	0.55

ตารางที่ ค.10 สมบัติทางกายภาพด้านความหนาแน่นของยางวัลคาไนซ์ที่ความเข้มข้นของโซเดียมซัลไฟต์ และค่าความเป็นกรดต่างๆกันของยางรูป-run

ความเข้มข้นของ โซเดียมซัลไฟต์ (%)	ความเป็นกรดของสารส้ม			
	pH = 3.28	pH = 3.28	pH = 3.28	pH = 3.28
10	0.50	0.55	0.56	0.58
20	0.43	0.51	0.52	0.57
30	0.38	0.44	0.48	0.54

ตารางที่ ค.11 สมบัติทางกายภาพด้านสภาพซึมผ่านของแก๊สไนโตรเจนในยางรูป-run

ความหนาแน่น (g/cm <sup>3</sup> )	สภาพซึมผ่านของแก๊ส (Barrer)
0.51	3.06x10 <sup>6</sup>
0.44	1.98x10 <sup>7</sup>
0.39	3.57x10 <sup>7</sup>

ตารางที่ ค.12 สมบัติทางกายภาพด้านความแข็งเทียบกับความหนาแน่นของยางรูป-run

ความหนาแน่น (g/cm <sup>3</sup> )	ความแข็ง (IRHD)
1.30 (ยางผสมคาร์บอนแบล็ก)	59
0.87	39
0.86	37
0.60	34
0.50	27
0.47	28
0.46	27

ตารางที่ ค.13 สมบัติทางกายภาพด้านความแข็งของยางรูปนเทียบกัปริมาณอะลูมิเนียมซิลิเกต

ปริมาณอะลูมิเนียมซิลิเกต (phr)	ความแข็ง (IRHD)
0	39
1.52	38
3.03	34
4.55	27
6.06	27
7.58	28
7.58 (ยางผสมพอลิเมอร์)	67



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายบูรินทร์ ชุณหพาณิชย์ เกิดเมื่อวันที่ 20 มิถุนายน พ.ศ. 2522 ที่จังหวัดกาญจนบุรี สำเร็จการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีทางเชื้อเพลิง ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2544 และเข้าศึกษาต่อหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2545



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย