

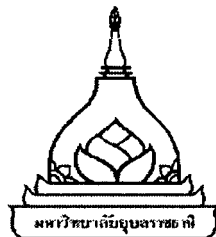
การเตรียม ฐานวิทยาสถาและสมบัติของพอลิเมอร์ผลระหว่างยางธรรมชาติกับแป้ง

ยรรยง ลอยหา

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

พ.ศ. 2549

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี



**PREPARATION, MORPHOLOGY AND
PROPERTIES OF NATURAL RUBBER/STARCH BLENDS**

YANYONG LOIHA

**AN INDEPENDENT STUDY SUBMITTED IN PATIAL FULFILLMENT OF THE
REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE**

MAJOR IN SCIENCE EDUCATION

FACULTY OF SCIENCE

UBON RAJATHANI UNIVERSITY

YEAR 2006

COPYRIGHT OF UBON RAJATHANI UNIVERSITY



ใบรับรองการค้นคว้าอิสระ
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปริญญา วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา

เรื่อง การเตรียม สัณฐานวิทยาและสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติกับแป้ง

ผู้วิจัย นายขรรยง ลอยหา

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.สายสมร ลำดอง)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สายนต์ แสงสุวรรณ)

..... กรรมการ

(ดร.สุนันท์ สายกระสุน)

..... คณบดี

(ดร.จันทร์เพ็ญ อินทรประเสริฐ)

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานีรับรองแล้ว

.....

(ศาสตราจารย์ ดร.ประกอบ วิโรจนกูฏ)

อธิการบดี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ปีการศึกษา 2549

กิตติกรรมประกาศ

การค้นคว้าอิสระนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความร่วมมือจากหลายๆท่าน ผู้ทำการวิจัยขอขอบพระคุณ ดร.สายสมร ล้าลอง อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระซึ่งคอยช่วยเหลือให้คำปรึกษาและคำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการดำเนินงานการค้นคว้าอิสระนี้ ตลอดจนการจัดทำและตรวจแก้การค้นคว้าอิสระให้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ดร. สุนันท์ สายกระสุน อาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม และ ผศ.ดร. สายันต์ แสงสุวรรณ อาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่เป็นคณะกรรมการการค้นคว้าอิสระซึ่งได้ตรวจทานและให้คำแนะนำเพื่อแก้ไขการค้นคว้าอิสระนี้ให้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ดร. ทวีศักดิ์ สูดยอดสุข ที่ให้คำปรึกษาและช่วยเหลือแนะนำเกี่ยวกับวิธีการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัย

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดความรู้และให้คำแนะนำต่างๆอันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่กรุณาให้ความสะดวกในการเบิกสารเคมี และเครื่องแก้วต่างๆ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่กรุณาให้ความสะดวกในการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่กรุณาให้ความสะดวกในการใช้เครื่องมือสำหรับวิเคราะห์สมบัติเชิงกล

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการหน่วยเทคโนโลยียาง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ที่กรุณาให้ความสะดวกในการตัดขึ้นรูปดัมเบลและการใช้เครื่องมือสำหรับวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่รักษาความปลอดภัยอาคารปฏิบัติการทางกายภาพ(เคมี) ที่คอยให้ความสะดวกในการปฏิบัติงานวิจัย

สุดท้ายนี้ผู้ทำการวิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดาและทุกคนในครอบครัวที่ให้การสนับสนุนการศึกษา และเป็นกำลังใจตลอดมา

(นายขรรชง ลอยหา)

ผู้วิจัย

บทคัดย่อ

ชื่อเรื่อง : การเตรียม สันฐานวิทยาและสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง
ยางธรรมชาติกับแป้ง

โดย : ชรรยง ลอยหา

ชื่อปริญญา : วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต

สาขาวิชา : วิทยาศาสตร์ศึกษา

ประธานกรรมการที่ปรึกษา : ดร.สายสมร ลำลอง

ศัพท์สำคัญ : สันฐานวิทยา พอลิเมอร์ผสม พอลิเมอร์เบลนด์ ยางธรรมชาติ แป้ง

พอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติกับแป้งสามารถเตรียมจากการผสมกันโดยตรงระหว่างน้ำยางกับน้ำแป้ง ซึ่งในน้ำแป้งจะมีการเติมกลีเซอรอลเพื่อทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ให้แก่แป้งซึ่งแป้งที่เป็นส่วนผสมสำหรับเตรียมแผ่นยางมี 3 ชนิดได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียว จากการศึกษาพบว่าแผ่นยางที่ใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นส่วนผสมจะมีลักษณะ homogeneous และไม่มีปัญหาเรื่องเชื้อรา ซึ่งต่างกับกรณีใช้แป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียวที่ทำให้แผ่นยางที่ได้มีลักษณะ heterogeneous และยังมีปัญหาเรื่องเชื้อราที่เกิดขึ้นที่ผิวของแผ่นยางอีกด้วย โดยปริมาณแป้งที่เหมาะสมในการเตรียมแผ่นยางคือ 2.5 phr โดยส่วนผสมดังกล่าวจะทำให้พอลิเมอร์ผสมมีค่า tensile strength และ elongation at break สูงสุด แต่เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งค่า tensile strength และ elongation at break จะมีค่าลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มปริมาณแป้งมากเกินไปจะทำให้แป้ง จับตัวกันเป็นกลุ่ม (agglomerate) ทำให้เกิดการกระจายตัวได้น้อย ในแผ่นยางจึงไม่ช่วยทำให้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมที่ได้ดีขึ้น ปริมาณกลีเซอรอลที่เหมาะสม ในการเตรียมแผ่นยางคือ 25%(w/w ค่อน้ำหนักแป้ง) แต่เมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า elongation at break มีค่าลดลง สำหรับอัตราส่วนของน้ำยางต่อสารละลายแป้ง-กลีเซอรอลที่เหมาะสม คือ 80/20 โดย ทำให้แผ่นยางมีค่า tensile strength และ elongation at break สูงกว่า ยางธรรมชาติ แต่ถ้าเพิ่มสัดส่วนของแป้งมากขึ้นพบว่าค่า tensile strength และ elongation at break มีแนวโน้มลดลง

ABSTRACT

TITLE : PREPARATION, MORPHOLOGY AND PROPERTIES OF NATURAL
RUBBER/STARCH BLENDS

BY : YANYONG LOIHA

DEGREE : MASTER OF SCIENCE

MAJOR : SCIENCE EDUCATION

CHAIR : DR.SAISAMORN LUMLONG

KEYWORD : MORPHOLOG / POLYMER COMPOSITE / POLYMER BLEND /
NATURAL RUBBER / STARCH

Natural rubber(NR)/starch blends were prepared directly by mixing natural latex and starch paste. Starch paste contained glycerol as a plasticizer for starch. Three types of starch were used cassava, rice, and stricky rice starch. The homogeneous sheet was obtained in the blend with cassava starch and there was no fungi on the sheet. The heterogeneous sheets with fungi were observed in NR/rice starch and NR/stricky rice starch blends. The optimum starch content was 2.5 phr. Tensile strength and elongation at break decreased by increasing starch content due to the agglomeration of starch particles agglomerated at high starch content. For glycerol, the optimum content was 25% w/w of starch. The elongation at break was found to be decreased with increasing glycerol content. The optimum ratio of latex/starch paste was 80/20 and the tensile strength and elongation at break of this blend composition were higher than that of pure rubber. The mechanical properties seemed to be decrease by increasing starch portion in the blends.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่	

1. บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย	

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ยางธรรมชาติ (Natural Rubber)	4
2.2 น้ำยาง	4
2.3 แป้ง	8
2.4 คุณสมบัติของแป้ง	9
2.5 พอลิเมอร์คอมโพสิต (polymer composites) และ พอลิเมอร์ผสม (blends)	10
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	11

3. ขั้นตอนการทดลอง

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี	14
3.2 วิธีการทดลอง	14

4. ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การวิเคราะห์ชนิดของแป้งที่เหมาะสมกับการเตรียมแผ่นยาง	17
4.2 การวิเคราะห์หาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผสมน้ำยางกับน้ำแป้ง	19

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 การวิเคราะห์ปริมาณของกลีเซอรอลที่เหมาะสมในการผสม น้ำยากับน้ำแป้ง	21
4.4 การวิเคราะห์ปริมาณของน้ำแป้งที่เหมาะสมที่ใช้เป็นส่วนผสม ในการเตรียมแผ่นยาง	22
4.5 ผลการวิเคราะห์ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคแป้งภายใน แผ่นยางที่เตรียมโดยการผสมแป้งปริมาณต่างๆ	24
4.6 การวิเคราะห์สมบัติการเสื่อมสภาพทางความร้อนของแผ่นยาง ที่มีแป้งปริมาณต่างๆ	25
4.7 การวิเคราะห์ผลของปริมาณกลีเซอรอลที่มีต่อสมบัติ..... การเสื่อมสภาพทางความร้อนของแผ่นยาง	26
5. สรุปผลการทดลอง	28
เอกสารอ้างอิง	30
ภาคผนวก	31
ก. การคำนวณสำหรับการเตรียมสารละลาย	32
ข. ตารางข้อมูลแสดงผลการคำนวณหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของค่า tensile strength ของแผ่นยางที่เตรียมจากส่วนผสมและ อัตราส่วนต่างๆ	35
ค. สารเคมีที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงคุณภาพของยาง	45
ง. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน	49
จ. Thermogravimetric Analyser (TGA)	53
ฉ. เครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล (Universal testing machine)	55
ประวัติผู้วิจัย	58

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ค่า tensile strength และ elongation at break ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง น้ำยางกับแป้งที่เตรียมจากน้ำยางกับสารละลายแป้ง-กลีเซอรอลด้วยอัตราส่วนต่างๆ	19
4.2 ค่า tensile strength และ elongation at break ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างน้ำยาง กับแป้งที่เตรียมจากน้ำยางกับสารละลายแป้ง-กลีเซอรอลด้วยอัตราส่วน 80:20% w/w โดยใช้กลีเซอรอลปริมาณต่างๆ	21
4.3 ค่า tensile strength และ elongation at break ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างน้ำยางกับ แป้งที่เตรียมจากน้ำยางกับสารละลายแป้ง-กลีเซอรอลด้วยอัตราส่วน 80:20% w/w โดยใช้แป้งปริมาณต่างๆ	22 32
ก.1 Solid content ของน้ำยาง	32
ข.1 ค่า tensile strength และ elongation at break ของแผ่นยาง ที่ผสมอัตราส่วนของ น้ำยาง : น้ำแป้ง-กลีเซอรอล 30:70 %w/w โดยมีปริมาณแป้ง 2.5 phr และกลีเซอรอล 25% w/w ของแป้ง	33
ข.2 ค่า tensile strength และ elongation at break ของแผ่นยาง ที่ผสมอัตราส่วนของ น้ำยาง : น้ำแป้ง-กลีเซอรอล 40:60 %w/w โดยมีปริมาณแป้ง 2.5 phr และกลีเซอรอล 25% w/w ของแป้ง	33
ข.3 ค่า tensile strength และ elongation at break ของแผ่นยาง ที่ผสมอัตราส่วนของ น้ำยาง : น้ำแป้ง-กลีเซอรอล 60:40 %w/w โดยมีปริมาณแป้ง 2.5 phr และกลีเซอรอล 25% w/w ของแป้ง	34
ข.4 ค่า tensile strength และ elongation at break ของแผ่นยาง ที่ผสมอัตราส่วนของ น้ำยาง : น้ำแป้ง-กลีเซอรอล 70:30 %w/w โดยมีปริมาณแป้ง 2.5 phr และกลีเซอรอล 25% w/w ของแป้ง	34
ข.5 ค่า tensile strength และ elongation at break ของแผ่นยาง ที่ผสมอัตราส่วนของ น้ำยาง : น้ำแป้ง-กลีเซอรอล 80:20 %w/w โดยมีปริมาณแป้ง 2.5 phr และกลีเซอรอล 25% w/w ของแป้ง	35

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ข.6	ค่า tensile strength และ elongation at break ของแผ่นยาง ที่ผสมอัตราส่วนของ น้ำยาง : น้ำแป้ง-กลีเซอรอล โดยมีปริมาณแป้ง 1.6 phr และกลีเซอรอล 25% w/w ของแป้ง	35
ข.7	ค่า tensile strength และ elongation at break ของแผ่นยาง ที่ผสมอัตราส่วน ของน้ำยาง : น้ำแป้ง-กลีเซอรอล โดยมีปริมาณแป้ง 2.5 phr และกลีเซอรอล 25% w/w ของแป้ง	36
ข.8	ค่า tensile strength และ elongation at break ของแผ่นยาง ที่ผสมอัตราส่วนของ ยาง : น้ำแป้ง-กลีเซอรอล โดยมีปริมาณแป้ง 3.2 phr และกลีเซอรอล 25% w/w ของแป้ง	36
ข.9	ค่า tensile strength และ elongation at break ของแผ่นยาง ที่ผสมอัตราส่วนของ ยาง : น้ำแป้ง-กลีเซอรอล 80:20 %w/w โดยมีปริมาณแป้ง 2.5 phr และ glycerol 15% w/w ของแป้ง	37
ข.10	ค่า tensile strength และ elongation at break ของแผ่นยาง ที่ผสมอัตราส่วนของ น้ำยาง : น้ำแป้ง + glycerol 80:20 %w/w โดยมีปริมาณแป้ง 2.5 phr และ glycerol 25% w/w ของแป้ง	37
ข.11	ค่า tensile strength และ elongation at break ของแผ่นยาง ที่ผสมอัตราส่วนของ น้ำยาง : น้ำแป้ง + glycerol 80:20 %w/w โดยมีปริมาณแป้ง 2.5 phr และ glycerol 35% w/w ของแป้ง	38
ข.12	ค่า tensile strength และ elongation at break ของแผ่นยาง pure rubber	38
ข.13	ค่า tensile strength และ elongation at break ของแผ่นยาง ที่ผสมอัตราส่วนของ น้ำยาง + น้ำแป้ง 2.5 phr (80:20) %w/w	39
ข.14	ค่า Tensile Strength และ elongation at break ของแผ่นยางที่เตรียมจากส่วนผสมและ อัตราส่วนที่ต่างกัน โดยรวมทุกสภาวะ	39

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.4	ลักษณะของต้นยางธรรมชาติ 4
2.2	สูตรโครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ 4
2.3	ลักษณะของน้ำยางธรรมชาติ 7
2.4	สูตรโครงสร้างของ อัลฟา-อะไมเลส 8
2.5	สูตรโครงสร้างของ ของอะไมโลเพคติน 9
4.1	ลักษณะของแผ่นยางเตรียมจากของผสมระหว่างน้ำยางกับสารละลายแป้ง-กลีเซอรอล อัตราส่วน 80:20 โดยใช้แป้งชนิดต่างๆ (a) แป้งมันสำปะหลัง (b) น้ำแป้งข้าวเหนียว และ (c) น้ำแป้งข้าวเจ้า 18
4.2	Stress-strain curves ของของผสมที่เตรียมจากน้ำยางกับสารละลายแป้ง-กลีเซอรอล ด้วยอัตราส่วนต่างๆ 19
4.3	Stress-strain curves ของของผสมระหว่างน้ำยางกับแป้งที่เตรียมจากน้ำยางกับสารละลายแป้ง-กลีเซอรอลด้วยอัตราส่วน 80:20 โดยใช้กลีเซอรอลปริมาณต่างๆ 21
4.4	Stress-strain curves ของของผสมระหว่างน้ำยางกับแป้งที่เตรียมจากน้ำยางกับสารละลายแป้ง-กลีเซอรอลด้วยอัตราส่วน 80:20 โดยใช้แป้งปริมาณต่างๆ 23
4.5	SEM แสดงลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคของแป้งในแผ่นยางที่เตรียมจากน้ำยางกับสารละลาย แป้ง-กลีเซอรอล 80/20โดยใช้แป้งปริมาณต่างๆ (a) 1.6 phr, (b) 2.5 phr และ (c) 3.2 phr 24
4.6	TGA thermograms ของแผ่นยางที่ไม่มีการเติมแป้งและกลีเซอรอล แผ่นยางที่เติมแป้งแต่ไม่เติมกลีเซอรอล และแผ่นยางที่มีการเติมแป้งและกลีเซอรอล โดยใช้แป้งปริมาณต่างๆ 25
4.7	TGA thermograms ของแผ่นยางที่ไม่มีการเติมแป้งและกลีเซอรอลและแผ่นยางที่มีการเติมแป้ง และกลีเซอรอล โดยใช้กลีเซอรอลปริมาณต่างๆ 26
จ.1	ลักษณะภายนอกของเครื่อง Thermogravimetric Analyser (TGA) 47

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

การทำสวนยางพาราเป็นอาชีพหลักและสำคัญของเกษตรกรไทย ยางพาราเป็นสินค้าส่งออกที่นำเงินตราต่างประเทศเข้ามาได้มากเป็นอันดับที่สองรองจากข้าว ปัจจุบันมีประชากรที่ประกอบอาชีพการปลูกยางพาราไม่น้อยกว่า 1.5 ล้านคน โดยสามารถผลิตยางได้ปีละประมาณ 300,000 ล้านตันนำเงินตราต่างประเทศเข้ามาได้ปีละประมาณเกือบ 3,000 ล้านบาทโดยเนื้อที่เพาะปลูกไม่น้อยกว่า 4.6 – 5.0 ล้านไร่กระจายอยู่ในเขตภาคตะวันออกและภาคใต้ของประเทศ เป็นส่วนใหญ่และเนื่องมาจากกิจการปลูกยางพารานั้นเป็นอาชีพที่สร้างรายได้แก่เกษตรกรที่เพาะปลูกได้มาก [1] ทำให้ในปัจจุบันเกษตรกรที่เคยปลูกข้าวเป็นอาชีพหลักโดยเฉพาะเกษตรกรทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือหันมาทำสวนยางกันมากขึ้นซึ่งเป็นการขยายพื้นที่เพาะปลูกยางพาราเพิ่มมากขึ้น ยางธรรมชาติตามลำพังจะมีขีดจำกัดในการใช้งาน เนื่องจากมีสมบัติเชิงกลต่ำ นอกจากนี้สมบัติของยางจะไม่เสถียรขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมาก กล่าวคือยางจะอ่อนตัวและเหนียวเหนอะหนะเมื่อร้อนแต่จะแข็งเปราะเมื่ออุณหภูมิต่ำ การปรับปรุงสมบัติของยางทำได้โดยการนำยางไปผ่านกระบวนการวัลคาไนเซชันเพื่อทำให้เกิดการเชื่อมโยง (cross-link) โดยใช้กำมะถันเป็นตัวเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลทำให้ยางมีสมบัติที่เหมาะสมกับการนำไปใช้ประโยชน์ ยางที่ผ่านกระบวนการวัลคาไนเซชัน เรียกว่า ยางสุก หรือ vulcanizate [4] การปรับปรุงสมบัติของยางสุกเพื่อให้สามารถนำไปใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ได้อย่างกว้างขวางมากยิ่งขึ้นสามารถทำได้โดยการเติมฟิลเลอร์ (filler) เช่น carbon black, silica และ clay จุดประสงค์หลักของการเติมฟิลเลอร์ คือ เพื่อลดต้นทุน และ ปรับปรุงสมบัติบางประการ เช่น ความแข็งแรง ลดการซึมผ่านของก๊าซ เป็นต้น [13] อย่างไรก็ตามการเติม carbon black จะทำให้ยางมีสีดำ บางครั้งอาจไม่เหมาะกับการนำมาขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการสีขาว ส่วนยางที่ผสม silica จะได้แผ่นยางสีขาวแต่มีราคาค่อนข้างแพง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงคิดเพิ่มสมบัติของยางโดยนำแป้งมาผสมกับยาง แป้งเป็นวัสดุทางธรรมชาติและประเทศไทยโดยเฉพาะภาคตะวันออกเฉียงเหนือก็มีการเพาะปลูกวัตถุดิบในการนำมาผลิตแป้งเป็นจำนวนมาก เช่น มันสำปะหลัง ข้าวเจ้า ข้าวเหนียว เป็นต้นนอกจากนี้แป้งยังมีราคาถูกหาได้ง่ายและยังเป็นพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ (biodegradable) หากสามารถเตรียมเป็นพอลิเมอร์ผสม

ของยางธรรมชาติ/แป้งที่มีสมบัติเชิงกลและสมบัติทางความร้อนที่ดีจะเป็นการเพิ่มมูลค่าของยางพาราและแป้งได้ ทั้งเป็นการศึกษาหาวิธีการนำผลผลิตทางการเกษตร ไปใช้ได้หลากหลายมากขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาหาปริมาณ solid content ในน้ำยางตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์
- 1.2.2 เพื่อศึกษาชนิดของแป้งที่เหมาะสมที่จะใช้เป็นส่วนผสมสำหรับการเตรียมแผ่นยาง
- 1.2.3 เพื่อศึกษาผลของปริมาณแป้งและกลีเซอรอลต่อสัณฐานวิทยา สมบัติเชิงกลและสมบัติการเสื่อมสภาพทางความร้อนของแผ่นยาง

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.3.1 ทราบปริมาณ solid content ของน้ำยาง
- 1.3.1 สามารถเลือกชนิดของแป้งที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมแผ่นยาง
- 1.3.2 ทราบอัตราส่วนที่เหมาะสมของแต่ละส่วนผสมที่จะใช้เตรียมแผ่นยาง
- 1.3.3 เพิ่มมูลค่าของผลผลิตทางการเกษตร
- 1.3.4 เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาการเตรียมพอลิเมอร์ผสมของยางธรรมชาติกับแป้ง

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

การศึกษาวิธีการเพิ่มคุณภาพให้แกยางธรรมชาติโดยการเตรียมเป็นพอลิเมอร์ผสมของยาง/แป้ง มีขั้นตอนการวิจัยดังนี้

- ขั้นที่ 1 วิเคราะห์ solid content โดยวิธีการระเหยในตู้อบที่อุณหภูมิประมาณ 90°C
- ขั้นที่ 2 ศึกษาชนิดของแป้งที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมแผ่นยางโดยนำแป้งข้าวเหนียว แป้งข้าวเจ้า และแป้งมันสำปะหลังมาเป็นส่วนผสมกับน้ำยางธรรมชาติในอัตราส่วนเท่ากัน โดยสังเกตลักษณะแผ่นยางที่บ่งบอกถึงการผสมกันของแป้งและยางว่าดีหรือไม่ เพื่อเลือกชนิดของแป้งที่เหมาะสมสำหรับเป็นส่วนประกอบในการเตรียมแผ่นยาง
- ขั้นที่ 3 ศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผสมของส่วนประกอบที่จะใช้เตรียมแผ่นยาง ได้แก่ ปริมาณกลีเซอรอล ปริมาณแป้ง และปริมาณน้ำยาง โดยเปรียบเทียบข้อมูลจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคต่างๆ ได้แก่

1.4.1 วิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวและการกระจายตัวของแป้งในแผ่นยางโดยใช้เทคนิค

Scanning Electron Microscopy (SEM)

1.4.2 วิเคราะห์สมบัติเชิงกลโดยใช้เครื่องวัดการทนแรงดึง (tensile tester)

1.4.3 วิเคราะห์สมบัติทางความร้อนโดยใช้เทคนิค Thermogravimetric Analysis (TGA)

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

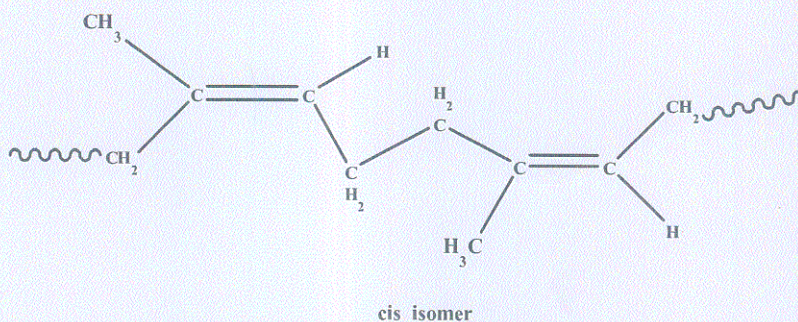
2.1 ยางธรรมชาติ (Natural Rubber)



ภาพที่ 2.1 ลักษณะของต้นยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติได้มาจากต้นยาง *Hevea Brasiliensis* ดังภาพที่ 2.1 ซึ่งมีแหล่งกำเนิดในแถบแม่น้ำอะเมซอนในทวีปอเมริกาใต้ น้ำยางสดที่กรีดยได้จากต้นยางมีลักษณะสีขาวขุ่นและมีเนื้อยางแห้ง (dry rubber) ประมาณ 30 % แฉวนลอยอยู่ในน้ำ [1]

จากการศึกษาโดยวิธีทางเคมีและทางกายภาพโดยเฉพาะอย่างยิ่งการวิเคราะห์โดยใช้รังสี - เอ็กซ์ พบว่าหน่วยที่ซ้ำๆ กันคือ C_5H_8 และเมื่อพิจารณาตามหลักของ Stereochemistry แล้วพบว่าโครงสร้างของยางธรรมชาติส่วนมากมักมีการจัดเรียงตัวแบบซิส (cis-) กล่าวคือหมู่ CH_2 ของทุกหน่วยอยู่ข้างเดียวกันของพันธะคู่โดยตลอด ดังภาพที่ 2.2 [1]



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ

สำหรับการผลิตที่เกี่ยวข้องยางนั้นเริ่มจากการนำน้ำยางที่ได้นี้ไปผ่านกระบวนการปั่นเหวี่ยง (centrifuge) จนกระทั่งได้น้ำยางที่มีปริมาณยางแห้งเพิ่มขึ้นเป็น 60% เรียกว่า น้ำยางข้น (concentrated latex) การเติมสารแอมโมเนียลงไปจะช่วยรักษาสภาพของน้ำยางข้นให้เก็บไว้ได้นาน น้ำยางข้นส่วนหนึ่งจะถูกส่งออกสู่ตลาดต่างประเทศ ส่วนที่เหลือจะถูกนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมถุงมือยางและยางยานยนต์ เป็นต้น แต่เมื่อนำน้ำยางสดที่กรี๊ดได้มาเติมกรดเพื่อให้อนุภาคน้ำยางจับตัวกันเป็นของแข็งแยกตัวออกจากน้ำ จากนั้นก็รีดยางให้เป็นแผ่นด้วยเครื่องรีด (two-roll mill) และนำไปตากแดดเพื่อไล่ความชื้นก่อนจะนำไปอบรมควันที่อุณหภูมิประมาณ 60 - 70 °C เป็นเวลา 3 วัน ก็จะได้ยางแผ่นรมควัน นอกจากยางแผ่นรมควันแล้ว อุตสาหกรรมส่วนใหญ่เริ่มเปลี่ยนมาใช้ยางแท่งหรือยางก้อนเป็นวัตถุดิบ ทั้งนี้เนื่องจากยางแท่งเป็นยางที่มีคุณภาพสม่ำเสมอกว่ายางแผ่นรมควัน ผ่านการทดสอบและจัดชั้นเพื่อรับรองคุณภาพตามหลักวิชาการ วัตถุดิบของการผลิตยางแท่ง ได้แก่ น้ำยางหรือน้ำยางแผ่นขึ้นอยู่กับเกรดของยางแท่งที่ต้องการผลิต เช่น ถ้าต้องการผลิตยางแท่งเกรด STR5L ซึ่งมีสีจางมาก จำเป็นต้องใช้น้ำยางเป็นวัตถุดิบ หรือถ้าต้องการผลิตยางแท่งเกรด STR20 ซึ่งเป็นเกรดที่มีสีเจือปนสูงและมีสีเข้ม ก็อาจใช้ยางแผ่นหรือขี้ยางเป็นวัตถุดิบ เป็นต้น ส่วนกระบวนการผลิตยางแท่งค่อนข้างจะยุ่งยากต้องอาศัยเครื่องจักรที่มีราคาแพงและต้องมีการควบคุมคุณภาพอย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นราคายางแท่งจึงสูงกว่ายางแผ่นรมควัน [2]

ยางธรรมชาติสามารถนำมาทำให้บริสุทธิ์ (เพื่อให้ได้ยางไฮโดรคาร์บอนเพียงอย่างเดียว) โดยการตกตะกอนแบบลำดับส่วน จากสารละลายยางที่เจือจาง วิธีที่นิยมใช้ได้แก่การใช้โทลูอีนเป็นตัวทำละลาย แล้วเติมเมทานอลลงไป ยางไฮโดรคาร์บอนจะตกตะกอนออกมา (สารปนเปื้อนอื่นๆ จะคงอยู่ในสารละลาย) ทำเช่นนี้หลาย ๆ ครั้งก็จะได้ยางไฮโดรคาร์บอนที่มีความบริสุทธิ์สูง [2]

ยางธรรมชาติ มีชื่อทางเคมี คือ cis-1,4-polyisoprene กล่าวคือ มี isoprene (C_5H_8) โดยที่ n มีค่าตั้งแต่ 1,500-15,000 เนื่องจากส่วนประกอบของยางธรรมชาติเป็นไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นยางจึงละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เบนซีน เฮกเซน เป็นต้น โดยทั่วไปยางธรรมชาติมีโครงสร้างการจัดเรียงตัวของโมเลกุลแบบอสัณฐาน (amorphous) แต่ในบางสถานะโมเลกุลของยางสามารถจัดเรียงตัวค่อนข้างเป็นระเบียบที่อุณหภูมิต่ำหรือเมื่อถูกยืด นั่นคือยางสามารถเกิดผลึก (crystallize) ได้ การเกิดผลึกเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ (low temperature crystallization) จะทำให้ยางแข็งมากขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้น ยางก็จะอ่อนลงและกลับสู่สภาพเดิม ในขณะที่การเกิดผลึกเนื่องจากการยืดตัว (strain induced crystallization) ทำให้ยางมีสมบัติเชิงกลดี นั่นคือยางจะมีความทนทานต่อแรงดึง (tensile strength) ความทนทานต่อการฉีกขาด (tear resistance) และความทนทานต่อการขัดสี (abrasion resistance) สูง [5] ลักษณะเด่นอีกอย่างของยางธรรมชาติคือ

ความยืดหยุ่น (elasticity) ของธรรมชาติมีความยืดหยุ่นสูง เมื่อแรงภายนอกที่มากระทำกับยางหมดไป ยางก็จะกลับคืนสู่รูปร่างและขนาดเดิม (หรือใกล้เคียง) อย่างรวดเร็ว ธรรมชาติยังมีความสัมพันธ์เกี่ยวกับการเหนียวติดกัน (tack) ซึ่งเป็นสมบัติสำคัญของการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องอาศัยการประกอบ (assemble) ชิ้นส่วนต่างๆ เข้าด้วยกัน เช่น ยางรถยนต์ เป็นต้น

อย่างไรก็ตาม ยางดิบตามลำพังจะมีขีดจำกัดในการใช้งาน เนื่องจากมีสมบัติเชิงกลต่ำ และลักษณะทางกายภาพจะไม่เสถียรขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอย่างมาก กล่าวคือยางจะอ่อนตัวและเหนียวเหนอะหนะเมื่อร้อน แต่จะแข็งเปราะเมื่ออุณหภูมิต่ำ ด้วยเหตุนี้การใช้ประโยชน์จากยางจำเป็นต้องมีการผสมยางกับสารเคมีต่างๆ เช่น กำมะถัน carbon black และสารตัวเร่งต่างๆ เป็นต้น หลังจากการบดผสมยางผสมหรือยางคอมพาวด์ (rubber compound) ที่ได้จะถูกนำไปขึ้นรูปในแม่พิมพ์ภายใต้ความร้อนและความดัน กระบวนการนี้เรียกว่าวัลคาไนเซชัน (vulcanization) ยางที่ผ่านการขึ้นรูปนี้เรียกว่า “ยางสุกหรือยางคงรูป” (vulcanizate) ซึ่งสมบัติของยางคงรูปที่ได้นี้จะเสถียร ไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิมากนักและมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น [5]

สาเหตุที่ยางธรรมชาติถูกนำไปใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากมาย เนื่องจากยางมีสมบัติเฉพาะตัวที่เหมาะสมแก่การนำไปใช้งานดังนี้

2.1.1 ยางธรรมชาติมีสมบัติเชื่อมโยงในด้านการทนต่อแรงดึง แม้ไม่ได้เติมสารเสริมแรง และมีความยืดหยุ่นสูงมากจึงเหมาะที่จะนำไปใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์บางชนิด เช่น ถุงมือยาง ถุงยางอนามัย ยางรัดของ เป็นต้น

2.1.2 ยางธรรมชาติมีสมบัติเชิงพลวัต (dynamic properties) ที่ดี มีความยืดหยุ่นสูง ในขณะที่มีความร้อนภายใน (heat build-up) ที่เกิดขึ้นต่ำ และมีสมบัติการเหนียวติดกันที่ดี จึงเหมาะสำหรับการผลิตยางรถบรรทุก ยางล้อเครื่องบิน หรือใช้ผสมกับยางสังเคราะห์ในการผลิตยางรถยนต์ เป็นต้น

2.1.3 ยางธรรมชาติมีความต้านทานต่อการฉีกขาดสูง ทั้งที่อุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิสูง จึงเหมาะสำหรับการผลิตยางกระเปาะน้ำร้อน เพราะในการแกะชิ้นงานออกจากเบ้าในระหว่างกระบวนการผลิตจะต้องดึงชิ้นงานออกจากเบ้าพิมพ์ในขณะที่ร้อน ยางที่ใช้จึงต้องมีค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดขณะร้อนสูง

แม้ว่ายางธรรมชาติจะมีสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากมาย แต่ยางธรรมชาติก็มีข้อเสียหลักคือ การเสื่อมสภาพเร็วภายใต้แสงแดด ออกซิเจน โอโซน และความร้อน เนื่องจากโมเลกุลของยางธรรมชาติมีพันธะคู่ (double bond) อยู่มาก ทำให้ยางอ่อนไหวต่อการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและโอโซน โดยมีแสงแดดและความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาดังนั้น ในระหว่างการผลิตผลิตภัณฑ์จึงต้องมีการเติมสารเคมีบางชนิด (สารในกลุ่มของ antidegradants)

เพื่อยืดอกอายุการใช้งาน นอกจากนี้ยางธรรมชาติยังมีประสิทธิภาพการทนต่อตัวทำละลายไม่มีขี้
น้ำมันและสารเคมีต่ำ จึงไม่สามารถใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องสัมผัสกับสารต่างๆ ดังกล่าว [1]

2.2 น้ำยาง

น้ำยางมีลักษณะเป็นน้ำสีขาวคล้ายน้ำมัน มีเนื้อยางที่เป็นไฮโดรคาร์บอนอยู่ในน้ำยาง
เป็นเม็ดเล็ก ๆ รูปร่างคล้ายลูกแพร์ pear-shaped rubber hydrocarbon หรือเรียกว่า globules มีขนาด
เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 – 6.0 ไมครอน ปกติในน้ำยางจะมีเนื้อยางแห้ง (dry rubber content หรือ D.R.C.)
ประมาณ 30-35 % ของน้ำหนักน้ำยาง น้ำยางของต้นยางแต่ละต้นมักจะมีเนื้อยางแห้งและ
สารประกอบไม่เท่ากัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความแตกต่างของฤดูกาล พันธุ์ของยาง และสถานที่เพาะปลูก
ลักษณะของน้ำยางที่กรีดยึดออกมาจากต้นแสดงดังภาพที่ 2.3 [5]



ภาพที่ 2.3 ลักษณะของน้ำยางธรรมชาติ

เนื้อยางแห้งคือ ยางไฮโดรคาร์บอน ซึ่งมีไฮโดรคาร์บอนอยู่ประมาณ 92% และอีก
ประมาณ 8% เป็นสารอื่นที่ไม่ใช่ยาง (non-rubber constituents) ปนอยู่ สารที่ไม่ใช่ยางเหล่านี้ได้แก่
proteins, glucosides, lipids, mineral salts, enzymes แม้ว่าสารที่ไม่ใช่ยางจะมีเพียงจำนวนเล็กน้อย
แต่ก็มีอิทธิพลเป็นอย่างมากต่อการอบความร้อนให้คงรูปและสมบัติของยางเป็นอย่างมาก [5]
โดยทั่วไปน้ำยางจากต้นยางเมื่ออายุประมาณ 10 ปี จะประกอบด้วยสารอื่นนอกจากน้ำและ
ไฮโดรคาร์บอนโดยประมาณดังต่อไปนี้

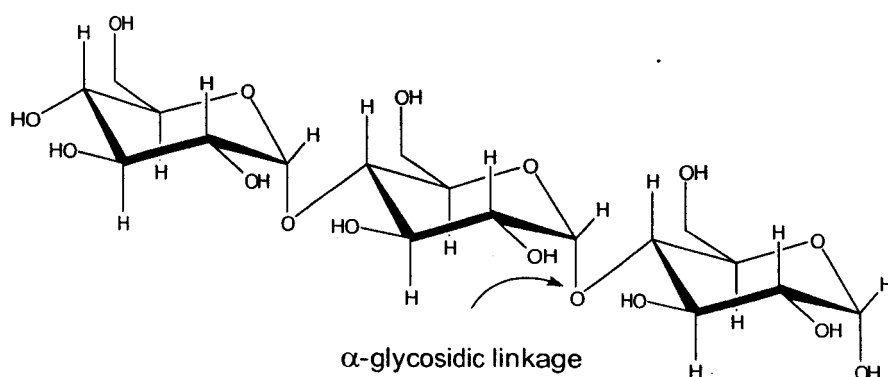
protiens	2%
sugars	1%
resin-lipids	2%
inorganic matter	0.5%

2.3 แป้ง

แป้ง (starch) เป็นโพลีแซคคาไรด์ (polysaccharide) ที่สำคัญที่สุดในธรรมชาติ เกิดจาก โมโนแซคคาไรด์ (monosaccharide) หลาย ๆ หน่วย มาต่อกัน สูตรทั่วไปคือ $(CH_2O)_n$

โดยปกติแป้งจะมีอยู่ในเมล็ด, ราก และลำต้นของพืช ลักษณะของแป้งจะเป็นเม็ดเล็กๆ มีรูปร่างแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช แป้งมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ

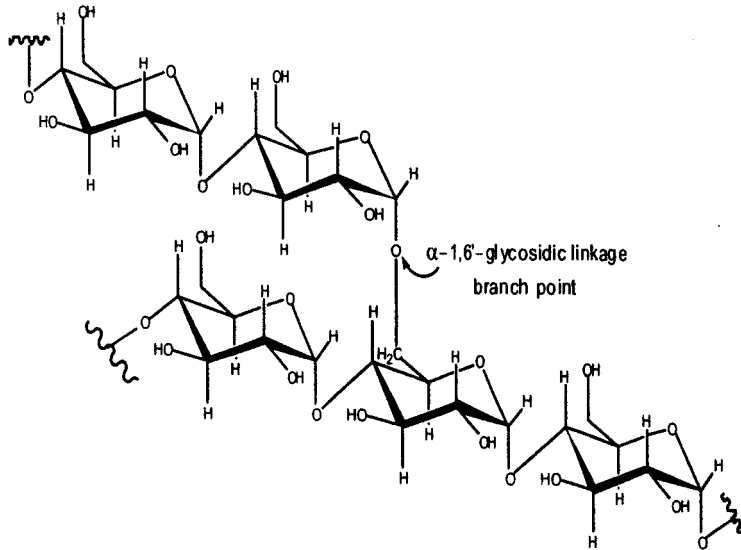
2.3.1 อัลฟา-อะไมโลส (alpha-amylase) ประกอบด้วยหน่วยของกลูโคส D(+) ประมาณ 500 - 2,000 มาเชื่อมต่อกันเป็นสายยาวด้วยพันธะ alpha,1-4 glycosidic linkage น้ำหนักโมเลกุล แตกต่างกันไปตั้งแต่ 2,000 - 500,000 โดยทั่วไปอะไมโลสจะไม่ละลายน้ำ แต่สามารถกระจายตัว อยู่ในน้ำเป็นไมเซลล์ และเมื่อรวมกับไอโอดีนจะให้สีน้ำเงิน มีอยู่ประมาณ 20 - 25% ของแป้ง ทั้งหมด โครงสร้างอัลฟา-อะไมโลสแสดงดังภาพที่ 2.5 [3]



ภาพที่ 2.4 สูตรโครงสร้างของ อัลฟา-อะไมโลส

2.3.2 อะไมโลเพกติน (amylopectin) เป็นแป้งที่มีโครงสร้างแตกแขนง โดยแต่ละแขนง จะประกอบไปด้วยหน่วยกลูโคสประมาณ 12 หน่วย แขนงของอะไมโลเพกตินจะยึดกันด้วยพันธะ alpha, 1-4 glycosidic linkage แต่ละจุดที่มีการแตกแขนงจะยึดกันด้วยพันธะ alpha, 1-6 glycosidic linkage โดยทั่วไปอะไมโลเพกตินจะเป็นส่วนที่ไม่ละลายน้ำ น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยมากกว่า

หรือเท่ากับ 1,000,000 เมื่อรวมตัวกับไอโอดีนจะให้สีม่วงแดง มีอยู่ประมาณ 75 - 80% ของแป้งทั้งหมด โครงสร้างทั่วไปของอะไมโลเพคติน แสดงดังภาพที่ 2.6 [3]



ภาพที่ 2.5 สูตรโครงสร้างของอะไมโลเพคติน

2.4 คุณสมบัติของแป้ง

โดยปกติเมื่อแป้งผสมอยู่ในน้ำ แป้งจะแตกตัวเป็นเม็ดเล็ก ๆ กระจายอยู่ในน้ำ แต่จะไม่ละลายน้ำเนื่องจากอนุภาคของแป้งมีขนาดใหญ่เกินที่จะละลายน้ำได้ แป้งมีความหนาแน่นค่อนข้างสูงประมาณ 1.45 - 1.64 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร (ขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง) ดังนั้นแป้งจึงพร้อมที่จะตกตะกอนหลังจากแขวนลอยอยู่ แต่เมื่ออุณหภูมิของสารแขวนลอยสูงขึ้นประมาณ 60 - 70 °C (ขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง) น้ำจะแทรกเข้าไปใน amorphous region และพลังงานความร้อนจะทำลายพันธะไฮโดรเจนใน crystalline region ของแป้ง ทำให้น้ำสามารถแทรกเข้าไปในเม็ดแป้งมากยิ่งขึ้น ส่งผลให้เม็ดแป้งเกิดการบวมอย่างรวดเร็ว ความหนาแน่นจะลดลงความหนืดจะสูงขึ้น ยิ่งไปกว่านั้นผิวของเม็ดแป้งจะเปิดมากขึ้น จนเม็ดแป้งเกิดการแตกอย่างฉับพลัน ทำให้อะไมโลสออกจากเม็ดแป้งเกิดเป็นเจลขึ้น ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่เรียกว่า การเกิดเจล (gelatinization) [3]

2.5 พอลิเมอร์คอมโพสิต (polymer composite) และพอลิเมอร์ผสม (polymer blend)

พอลิเมอร์แต่ละชนิดจะมีสมบัติที่ต่างกันเนื่องจากขนาดของสายโซ่โมเลกุลหรือโครงสร้างเคมีของหน่วยซ้ำที่ต่างกัน เมื่อนำไปใช้งานโดยการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์บางครั้งอาจต้องการให้มีสมบัติที่หลากหลายเพื่อให้เหมาะแก่การนำไปใช้งาน ดังนั้นจึงมีการนำพอลิเมอร์ต่างชนิดมาผสมกันหรือเติมสารเติมแต่ง เช่น ฟิลเลอร์ พลาสติกไซเซอร์ เป็นต้น เพื่อให้พอลิเมอร์มีสมบัติที่ดีขึ้น

2.5.1 พอลิเมอร์คอมโพสิต คือ พอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยวัสดุสองชนิดหรือมากกว่าโดยนำมาผสมกันโดยตรงและไม่มี interaction ระหว่างกัน แต่ทำให้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่ได้มีสมบัติดีขึ้น พอลิเมอร์คอมโพสิตจะมีเฉพาะ matrix phase เท่านั้นที่สามารถไหลและเปลี่ยนรูปร่างได้ ขณะที่มีการให้ความร้อนหรือขึ้นรูป พอลิเมอร์คอมโพสิตเป็นพลาสติกทางวิศวกรรมที่ให้ความแข็งแรงสูง ความคงทนสูงและมีความต้านทานต่อการกัดกร่อน [4]

2.5.2 พอลิเมอร์ผสม คือ การผสมพอลิเมอร์ต่างกันตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปโดยเป็นการผสมทางกายภาพเท่านั้น ซึ่งจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของพอลิเมอร์ที่เป็นองค์ประกอบ โดยทั่วไปสมบัติของพอลิเมอร์ผสมจะอยู่ระหว่างสมบัติของพอลิเมอร์ที่เป็นองค์ประกอบ การทำพอลิเมอร์ผสมเป็นวิธีการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ที่นิยมใช้กันมาก โดยการนำพอลิเมอร์ 2 ชนิด ซึ่งอยู่ในสถานะที่เป็นของไหล ได้แก่ เป็นสารละลาย (solution) หรือสารหลอมเหลว (molten) มาผสมให้อยู่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน (blending) ได้เป็นพอลิเมอร์ผสม แต่การผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันของพอลิเมอร์ต่างชนิดกันนั้น โดยธรรมชาติแล้วจะเป็นไปได้ยาก ดังนั้นพอลิเมอร์ผสมที่ได้จึงไม่เป็นสารละลายของแข็งที่แท้จริงและพบว่าเมื่ออยู่ในสถานะที่เป็นของแข็งพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งจะกระจายอยู่ในเนื้อหรือเมทริกซ์ที่ต่อเนื่อง (continuous matrix) ของพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่ง ทั้งนี้การกระจายตัวดังกล่าวต้องเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ มิฉะนั้นจะทำให้เกิดเป็นข้อบกพร่อง (defects) ของผลิตภัณฑ์และส่งผลกระทบต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมต่ำกว่าของพอลิเมอร์บริสุทธิ์ได้ ดังนั้นจึงต้องพิจารณาถึงสภาพเข้ากันได้ (compatibility) ของพอลิเมอร์ที่นำมาผสมกันซึ่งบางชนิดสามารถเข้ากันได้ดี บางชนิดไม่สามารถเข้ากันได้เนื่องจากโครงสร้างสายโซ่ต่างกันจึงไม่สามารถกระจายตัวอย่างอิสระเกิดการแยกชั้น นอกจากนี้ยังมีปัจจัยทางพลังงาน (energy factor) ที่ทำให้พอลิเมอร์สองชนิดเข้ากันไม่ได้ นั่นคือ พลังงานที่ใช้ในการผสมผสานโมเลกุลหรือสายโซ่ของพอลิเมอร์ เช่น การดูดกลืนพลังงานความร้อนของพอลิเมอร์แต่ละชนิดที่ต่างกัน [4]

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Rouilly และคณะ [7] ทำการเตรียมคอมโพสิตของยางและยางที่มีการดัดแปลงทางเคมี การดัดแปลงทางเคมีของน้ำยางทำได้โดยการ graft น้ำยางด้วย dimethylamide methacrylate (DMAEMA) เพื่อทำให้เกิดเป็นส่วนที่ยื่นออกมาคล้ายกับเส้นผมซึ่งส่วนนี้จะเป็นพอลิเมอร์แบบประจุบวกที่ชอบน้ำเรียกว่า polyDMAEMA ซึ่งสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับยางได้ โดยคาดการณ์ว่า การดัดแปลงทางเคมีของน้ำยางจะช่วยเพิ่ม compatibility ของยางกับยาง จากการทดลองพบว่า ฟิล์มที่เตรียมจากยางกับยางที่ไม่มีการดัดแปลงทางเคมีนั้นยางจะทำหน้าที่เป็นฟิลเลอร์แต่คอมโพสิตของยางและยางที่มีการดัดแปลงทางเคมีมีการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกลอย่างมากเมื่อเทียบกับฟิล์มของยางอย่างเดียว นั่นคือมีค่า elastic modulus ลดลง แต่ elongation at break เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ค่าอุณหภูมิที่สถานะคล้ายแก้ว มีค่าเพิ่มขึ้นจาก -48°C เป็น -32°C ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสารทั้งสองชนิดคือ ยาง และยางสามารถเข้ากันได้ดี

Arroyo [8] ศึกษาการใช้ organoclay (clay ที่ถูกดัดแปลงให้มีสมบัติชอบสารอินทรีย์) แทนที่ carbon black ในยางคอมพาวด์ (natural rubber compound) พบว่าสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติที่เติม organoclay 10 phr มีค่าใกล้เคียงกับยางคอมพาวด์ที่เติม carbon black 40 phr นอกจากนี้ organoclay สามารถเพิ่มความแข็งแรงของยางธรรมชาติแต่แทบจะไม่ได้ทำให้ความยืดหยุ่นของยางลดลง

Carvalho และคณะ [9] ทำการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางกับยางโดยการใช้น้ำยางกับยางขาวโพล พบว่าพอลิเมอร์ผสมมีความเปราะน้อยกว่ายางอย่างเดียว การแยกเฟสขึ้นอยู่กับปริมาณยาง และกลีเซอรอล การเตรียมพอลิเมอร์ผสมที่มีปริมาณยางเพิ่มขึ้นจำเป็นต้องเพิ่มปริมาณกลีเซอรอลด้วยเพื่อลดการแยกเฟส ดังนั้นกลีเซอรอลจึงทำหน้าที่เป็นทั้งพลาสติกไซเซอร์ของยาง และยังช่วยปรับปรุง interface ของยางและยางด้วย

Nakason และคณะ [10] ทำการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางกับยางโดยเตรียมยางที่ทำการ graft ด้วย poly (methyl methacrylate) เรียกว่า NR-g-MMA ก่อนที่นำไปเตรียมพอลิเมอร์ผสมกับยางมันสำปะหลัง พบว่าค่า scorch time หรือเวลาในการเริ่มต้นการคงรูป และค่า cure time (เวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาวัลคาไนเซชัน) ลดลงเมื่อปริมาณของยางมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากหมู่ไฮดรอกซิลช่วยเร่งการเกิดปฏิกิริยา cross-linking การเพิ่มปริมาณยางมันสำปะหลังทำให้ค่า tensile strength, elongation at break และ tear strength ลดลง ทั้งนี้เนื่องจากอนุภาคของยางไม่สามารถทำให้เกิดการถ่ายโอนความเค้น (stress) ไปยังเฟสของยางได้

Chino และคณะ [12] ศึกษาวิธีการที่จะนำยางที่ผ่านการใช้งานแล้วกลับมาใช้ใหม่โดยให้มีสมบัติเชิงกลเหมือนเดิมเช่นเดียวกับยางที่ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์ นั่นคือทำให้ยางเกิดการเชื่อมโยงโดยพันธะไฮโดรเจนแทนที่จะเป็นการเชื่อมโยงโดยพันธะโควาเลนต์เหมือนกระบวนการวัลคาไนซ์ ดังนั้นยางที่ผ่านการใช้งานแล้วสามารถนำกลับมารีไซเคิลได้ จากการทดลองพบว่าสมบัติเชิงกลของยางที่ทำการดัดแปลงมีค่าไม่สูงนักเมื่อเทียบกับยางที่ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์ด้วยซัลเฟอร์ แต่สมบัติเชิงกลของยางที่ทำการดัดแปลงดีขึ้นเมื่อมีการเพิ่มปริมาณ maleic anhydride และ carbon black ยางที่ทำการดัดแปลงสามารถที่จะนำมาทำการขึ้นรูปใหม่ได้มากกว่า 10 ครั้ง โดยที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ สำหรับสมบัติทางความร้อนของยางที่ทำการดัดแปลงนั้นพบว่าการเปลี่ยนแปลงสองบริเวณคือที่อุณหภูมิที่สถานะคล้ายแก้ว (T_g) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับยาง polyisoprene ตั้งต้น (ประมาณ $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$) และ endothermic transition อีกบริเวณหนึ่งที่อุณหภูมิประมาณ $185\text{ }^{\circ}\text{C}$ ซึ่งน่าจะเนื่องมาจากการแตกของพันธะไฮโดรเจน

Lei Jong [13] ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพของยางโดยใช้โปรตีนถั่วเหลืองเป็นตัวเสริมแรง จากการทดลองนำยางที่เติมโปรตีนถั่วเหลืองมาทำการ annealing ที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่าการ annealing ทำให้คอมโพสิตมีค่า elastic modulus เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นแสดงว่าโปรตีนแข็งขึ้นเนื่องจากเกิดการสูญเสียน้ำ (dehydration) และเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโปรตีน นอกจากนี้ความหนาแน่นของโปรตีนก็เพิ่มขึ้น ดังนั้นถั่วเหลืองสามารถใช้เป็นตัวเสริมแรงของยางได้

Shey และคณะ [14] ศึกษาการใช้ยางธรรมชาติเพื่อเพิ่มความอ่อนตัวให้โฟม ในน้ำยางธรรมชาติจะมีส่วนที่เป็นของแข็งประกอบด้วย cis-1,4-polyisoprene เมื่อยางแห้งจะทำให้เกิดความยืดหยุ่น ในงานวิจัยนี้ศึกษาการเตรียมโฟมจากแป้ง 3 ชนิดคือแป้งมันฝรั่ง แป้งข้าวสาลีและแป้งข้าวโพดแล้วเปรียบเทียบกับโฟมในท้องตลาดทั่วไป พบว่ายางทำให้ความหนาแน่นของโฟมสูงขึ้นและช่วยเพิ่มสมบัติความอ่อนตัวของโฟมได้ และการเติมสารตัวเติมที่ไม่มีประจุจะทำให้ยางมีความเสถียรไม่จับตัวเป็นก้อน โฟมที่เตรียมได้สามารถทำให้มีสมบัติการอ่อนตัวใกล้เคียงกับโฟมในท้องตลาดโดยการปรับเปลี่ยนชนิดของแป้งและปริมาณยาง การเติมยางลงในโฟมยังช่วยลดผลของความชื้นที่มีต่อโฟมได้

Wang และคณะ [15] ทำการเตรียมและศึกษาสมบัติของนาโนคอมโพสิต/rectorite (rectorite เป็น clay ชนิดหนึ่ง) โดยวิธี co-coagulation ของน้ำยางธรรมชาติกับสารแขวนลอยของ rectorite พบว่านาโนคอมโพสิตมีอุณหภูมิที่สถานะคล้ายแก้วสูงกว่า pure rubber นอกจากนี้ นาโนคอมโพสิตมีสมบัติการลดการซึมผ่านของก๊าซดีขึ้น

Wu และคณะ [16] ทำการเตรียมนาโนคอมโพสิตของยาง/clay โดยวิธี co-coagulation น้ำยางลาเทกซ์ (latex) กับสารแขวนลอยของ clay พบว่าอุณหภูมิที่สถานะคล้ายแก้ว

ของนาโนคอมโพสิตยาง SBR/clay มีค่าสูงกว่า pure SBR นอกจากนี้เมื่อเติม clay 20 phr ทำให้นาโนคอมโพสิตมี tensile strength สูงกว่า conventional SBR/clay composite ถึงหกเท่า สมบัติการลดการซึมผ่านของก๊าซก็ดีขึ้น

Wu และคณะ [17] ทำการเตรียมคอมโพสิตของ styrene butadiene rubber (SBR) กับแป้ง โดยมีการใช้ emulsifier (อิมัลซิไฟเออร์) คือ resorcinol-formaldehyde (RF) และ N-β(aminoethyl)-γ-aminopropyl trimethoxy silane (KH792) ซึ่งทำหน้าที่ช่วยให้เกิดการกระจายตัวของแป้งในยางได้เป็นอย่างดี จากนั้นทำให้ของผสมเกาะตัวรวมกันเป็นก้อน (co-coagulate) พบว่า RF และ KH792 ทำให้อคอมโพสิตที่เตรียมได้มีสมบัติเชิงกลดีขึ้น แต่ RF มีประสิทธิภาพดีกว่า KH792 ทั้งนี้เนื่องจาก RF สามารถทำให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างแป้งกับยาง SBR ส่วน KH792 ทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างแป้งกับ KH792 จึงอาจเพิ่ม interfacial strength บางส่วนเท่านั้น ดังนั้น RF จึงทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างแป้งกับยางดีขึ้นมากกว่า KH792 ส่งผลให้อคอมโพสิตของยาง SBR กับแป้งมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งคอมโพสิตที่มีการเติมทั้ง RF และ KH792 นั้นมีค่า tensile strength สูงกว่าคอมโพสิตที่ไม่มีการเติมอิมัลซิไฟเออร์ถึงหกเท่า นอกจากนี้ ผลการศึกษาทาง morphology (สัณฐานวิทยา) พบว่าคอมโพสิตของยาง SBR กับแป้งที่ไม่มีการเติมอิมัลซิไฟเออร์มีพื้นผิวที่เรียบและปรากฏช่องว่างอันเนื่องมาจากอนุภาคของแป้งหลุดออกมาจากผิวขณะทำการดึง แสดงให้เห็นว่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างแป้งกับยางมีค่าต่ำ แต่คอมโพสิตของยาง SBR กับแป้งที่มีการเติม RF มีพื้นผิวที่ขรุขระแสดงว่าความแข็งแรงของรอยต่อมีค่าสูงขึ้น และคอมโพสิตของยาง SBR กับแป้งที่มีการเติม RF และ KH792 ไม่ปรากฏหลุมที่เกิดจากการหลุดออกของอนุภาคของแป้งบนพื้นผิว และอนุภาคของแป้งฝังตัวอยู่ใน matrix จากผลที่ได้แสดงให้เห็นการเติม RF และ KH792 จะเพิ่ม interfacial strength ของแป้งและยางเป็นอย่างมาก

บทที่ 3

ขั้นตอนการทดลอง

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 อุปกรณ์

3.1.1.1 กระบอกตวง

3.1.1.2 บีกเกอร์

3.1.1.3 ขวดวัดปริมาตร

3.1.1.4 เต้าไฟฟ้า

3.1.1.5 ปีเปต

3.1.1.6 ถาดพลาสติก

3.1.2 สารเคมี

3.1.2.1 น้ำยางธรรมชาติ (latex) นำมาจากเขตพื้นที่อำเภอกันทรลักษณ์

จังหวัดศรีสะเกษ

3.1.2.2 แป้งข้าวเหนียว แป้งข้าวเจ้า และแป้งมันสำปะหลังที่ซื้อจากร้านค้าตามท้องตลาดตราใบหยกผลิตโดยบริษัท บางกอกอินดอร์ฟู้ด จำกัด วัน เดือน ปี ที่ผลิต มิถุนายน 2548

3.1.2.3 กลีเซอรอล ผลิตโดยบริษัทแกมมาโก (ประเทศไทย) จำกัด

3.1.2.4 น้ำกลั่น

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 วิเคราะห์ solid content

ชั่งน้ำหนักของ petri dish แล้วเทน้ำยางประมาณ 20 กรัมบนที่ก้นน้ำหนักแล้วนำไประเหยในตู้อบที่อุณหภูมิประมาณ 90°C เวลา 24 ชั่วโมงแล้วทิ้งไว้ให้เย็นประมาณ 12 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง แล้วชั่งน้ำหนักอีกครั้งโดยทำการทดลอง 5 ซ้ำ

3.2.2 ศึกษาชนิดของแป้งที่เหมาะสมโดยเตรียมแผ่นยางตามส่วนผสมดังนี้
เตรียมน้ำแป้งข้าวเหนียว ความเข้มข้น 3% (w/w คือน้ำหนักของน้ำ) โดยชั่งแป้งมา 30 กรัม เติมน้ำ 1,000 กรัม แล้วนำไปต้มที่อุณหภูมิประมาณ 70°C ขณะต้มต้องคนสารละลายตลอดเวลาจนกระทั่ง

แป้งละลายหมด จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นแล้วเติมกลีเซอรอล 25% (w/w ของน้ำหนักแป้ง) โดยเติมกลีเซอรอล 7.5 กรัมลงในน้ำแป้ง เรียกว่า สารละลายแป้ง-กลีเซอรอล จากนั้นนำสารละลายแป้ง-กลีเซอรอลไปผสมกับน้ำยางในอัตราส่วนระหว่างน้ำยางต่อสารละลายแป้ง-กลีเซอรอล 80/20 ใช้แท่งแก้วคนประมาณ 10 นาทีหรือจนกระทั่งสารละลายผสมเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วนำไปเทลงในถาดพลาสติกเพื่อระเหยส่วนที่เป็นของเหลวออกที่อุณหภูมิห้องโดยใช้เวลาประมาณ 3 วันจะได้แผ่นยางแห้งที่เรียกว่า พอลิเมอร์ผสมของยางกับแป้งข้าวเหนียว สำหรับพอลิเมอร์ผสมของยางกับแป้งข้าวเจ้าและพอลิเมอร์ผสมของยางกับแป้งมันสำปะหลังก็ทำการทดลองเช่นเดียวกันแต่เปลี่ยนจากแป้งข้าวเหนียวเป็นแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลังตามลำดับ หลังจากนั้นทำการเปรียบเทียบลักษณะพื้นผิวของแผ่นยางที่เตรียมได้

3.2.3 ศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการเตรียมพอลิเมอร์ผสมของยางกับแป้ง

ทำการเตรียมแผ่นยางที่มีอัตราส่วนน้ำยางต่อสารละลายแป้ง-กลีเซอรอลเป็น 80/20, 70/30, 60/40, 40/60 และ 30/70 โดยมีปริมาณกลีเซอรอลคงที่ (25% w/w ของน้ำหนักแป้ง) จากนั้นนำแผ่นยางที่เตรียมได้ไปทดสอบสมบัติเชิงกล สมบัติเชิงความร้อน และศึกษาสัณฐานวิทยา

3.2.4 ศึกษาหาปริมาณแป้งที่เหมาะสมในการเตรียมพอลิเมอร์ผสมของยางกับแป้ง

ทำการเตรียมแผ่นยางที่มีอัตราส่วนน้ำยางต่อสารละลายแป้ง-กลีเซอรอลเป็น 80/20 โดยความเข้มข้นของแป้งเท่ากับ 2% w/w ต่อน้ำหนักของน้ำ โดยมีปริมาณกลีเซอรอลคงที่ (25% w/w ของน้ำหนักแป้ง) จะได้พอลิเมอร์ผสมของยางกับแป้งที่มีปริมาณแป้งเท่ากับ 1.6 phr ทำการทดลองซ้ำแต่เปลี่ยนความเข้มข้นของแป้งจาก 2% เป็น 3% และ 5% จะได้พอลิเมอร์ผสมของยางกับแป้งที่มีปริมาณแป้งเท่ากับ 2.5 และ 3.2 phr ตามลำดับ จากนั้นนำแผ่นยางที่เตรียมได้ไปทดสอบสมบัติเชิงกล สมบัติเชิงความร้อน และศึกษาสัณฐานวิทยา

3.2.5 ศึกษาปริมาณกลีเซอรอลที่เหมาะสมในการเตรียมพอลิเมอร์ผสมของยางกับแป้ง

ทำการเตรียมแผ่นยางที่มีอัตราส่วนน้ำยางต่อสารละลายแป้ง-กลีเซอรอลเป็น 80/20 โดยความเข้มข้นของแป้งเท่ากับ 3% w/w ต่อน้ำหนักของน้ำ โดยมีปริมาณกลีเซอรอล 15% w/w ของน้ำหนักแป้ง จากนั้นทำการทดลองซ้ำแต่เปลี่ยนปริมาณกลีเซอรอลจาก 15% เป็น 25% และ 35% w/w ของน้ำหนักแป้ง แล้วนำแผ่นยางที่เตรียมได้ไปทดสอบสมบัติเชิงกล สมบัติเชิงความร้อน และศึกษาสัณฐานวิทยา

3.2.6 การวิเคราะห์

3.2.6.1 วิเคราะห์ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคแป้งภายในแผ่นยางด้วยเทคนิค SEM

ตัดตัวอย่างให้มีขนาดกว้างประมาณ 0.5 cm ยาว 5 cm แล้วนำไปแช่ในไนโตรเจนเหลวประมาณ 30 วินาที แล้วหักชิ้นตัวอย่าง จากนั้นนำชิ้นตัวอย่างไปตัดให้มีขนาด 2 x 4 มิลลิเมตร เพื่อที่จะนำไปเคลือบด้วยทองคำ จากนั้นจึงนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM (JMS – 5410 LC, JEOL) ที่เร่งด้วยศักย์ไฟฟ้าขนาด 15 kV กำลังขยาย 500 เท่า

3.2.6.2 วิเคราะห์สมบัติเชิงกล

นำแผ่นยางไปเตรียมเป็นรูป dumbbell ตามมาตรฐาน ASTM D412 ขนาดกว้าง 6 mm ความยาวระหว่างช่วงปลายของ dumbbell ทั้งสองข้าง 42 mm หน้า 2 mm จากนั้นนำไปวิเคราะห์ ด้วยเครื่องวัดการทนต่อแรงดึงด้วยเครื่อง tensile tester (LR Series, Lloyds) โดยใช้อัตราเร็วในการดึง 500 mm/min และ load cell ขนาด 500 N โดยทำการทดสอบ 5 ครั้งต่อ 1 ตัวอย่าง ทำการหาค่าเฉลี่ยในแต่ละตัวอย่าง

3.2.6.3 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน

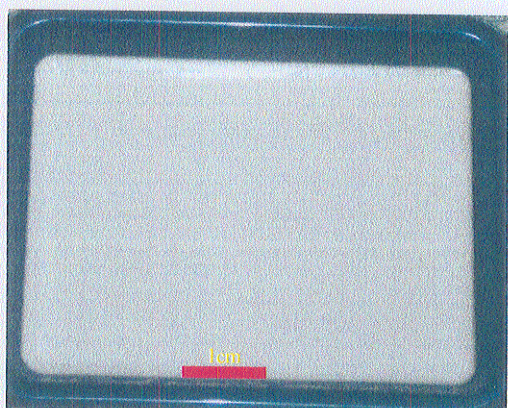
ชั่งน้ำหนักประมาณ 9 - 12 mg ใส่ลงใน aluminium oxide crucible แล้วนำไปวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง TGA (SDTA 851, METTLER-TOLEDO) ด้วยอัตราการให้ความร้อน 20 °C/min ที่อุณหภูมิ 40 - 600 °C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนและภายใต้บรรยากาศออกซิเจนที่อุณหภูมิ 600 - 850 °C

บทที่ 4

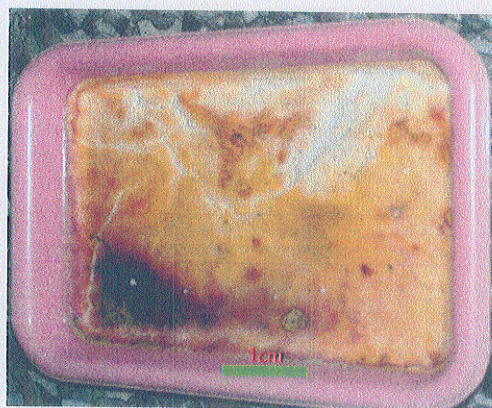
ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองการวิเคราะห์ชนิดของแป้งที่เหมาะสมกับการเตรียมแผ่นยาง

แป้งแต่ละชนิดมีขนาดอนุภาคแตกต่างกัน แป้งมันสำปะหลังมีขนาดเล็กกว่า แป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียวและเมื่อนำไปเตรียมเป็นสารละลายน้ำแป้งพบว่าน้ำแป้งมันสำปะหลังจะให้สารละลายที่ใส แสดงว่าแป้งมันสำปะหลังมีความสามารถละลายน้ำได้ดี ส่วนแป้งข้าวเหนียวและแป้งข้าวเจ้านั้นจะให้สารละลายที่มีลักษณะขาวขุ่นแสดงว่าแป้งสองชนิดหลังมีความสามารถในการละลายน้ำได้น้อยกว่าแป้งมันสำปะหลัง เมื่อผสมน้ำแป้งกับกลีเซอรอลโดยมีกลีเซอรอล 25% w/w ของแป้ง พบว่าสารละลายแป้งมันสำปะหลัง-กลีเซอรอลมีลักษณะใส แต่สารละลายของแป้งข้าวเหนียว-กลีเซอรอลมีลักษณะสีขาวขุ่น สารละลายของน้ำแป้งข้าวเจ้า-กลีเซอรอลก็มีลักษณะเช่นเดียวกับสารละลายของ แป้งข้าวเหนียว-กลีเซอรอล เมื่อนำสารละลายแป้ง-กลีเซอรอลไปผสมน้ำยางเพื่อเตรียมเป็นแผ่นยางพบว่าแผ่นยางที่เตรียมจากการผสมระหว่างน้ำยางกับสารละลาย แป้ง-กลีเซอรอลชนิดต่างๆ โดยอัตราส่วนน้ำยางต่อสารละลายแป้ง-กลีเซอรอล : 80/20 นั้นมีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกันดังรูปที่ 4.1 พบว่าลักษณะพื้นผิวของแผ่นยางที่เตรียมจากการใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นส่วนผสมนั้นมีลักษณะผิวที่เรียบและรวมเป็นเนื้อเดียวกันยางได้ดี (homogeneous) นอกจากนี้ผิวของแผ่นยางก็ไม่มีเชื้อราเกิดขึ้น ดังภาพที่ 4.1a ส่วนแผ่นยางที่เตรียมจากการใช้แป้งข้าวเหนียวและแป้งข้าวเจ้าเป็นส่วนผสมนั้นได้ผลการทดลองคล้ายกันคือแผ่นยางจะไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกันระหว่างแป้งกับยาง (heterogeneous) และยังมีปัญหาเรื่องเชื้อราที่เกิดบนผิวของแผ่นยางอีกด้วยดังภาพที่ 4.1b และ 4.1c ตามลำดับ สาเหตุดังกล่าวอาจเนื่องมาจากลักษณะของแป้งมันสำปะหลังนั้นมีขนาดอนุภาคเล็กจึงเตรียมจให้อยู่ในรูปสารละลายน้ำแป้งได้ดีและสามารถที่จะผสมกับโมเลกุลของยางได้ดีกว่าแป้งข้าวเหนียวและแป้งข้าวเจ้าซึ่งแป้งสองประเภทหลังนี้มีขนาดอนุภาคที่ใหญ่กว่า การรวมตัวกับโมเลกุลของยางจึงค่อนข้างยากและการที่น้ำยางกับแป้งมีการแยกเฟสอย่างชัดเจนทำให้แป้งที่ผิวของแผ่นยางสามารถดูดซับน้ำไว้ได้ดีจึงมีปัญหาเรื่องเชื้อราเกิดขึ้นบนแผ่นยางด้วย ดังนั้นแป้งมันสำปะหลังจึงเหมาะสมในการนำมาใช้เตรียมแผ่นยางเพื่อศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างน้ำยางกับแป้ง ในการทดลองขั้นต่อไปจะใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นส่วนผสมเท่านั้น



(a)



(b)



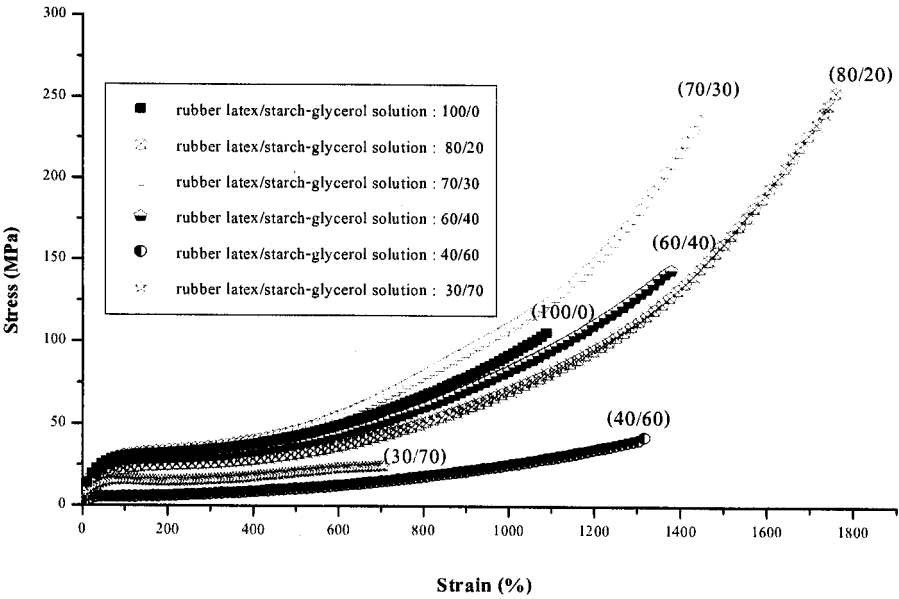
(c)

ภาพที่ 4.1 ลักษณะของแผ่นยางที่เตรียมจากพอลิเมอร์ผสมระหว่างน้ำยางกับสารละลาย
 แป้ง-กลีเซอรอลอัตราส่วน 80:20 โดยใช้แป้งชนิดต่างๆ (a) แป้งมันสำปะหลัง
 (b) แป้งข้าวเหนียว และ (c) แป้งข้าวเจ้า

4.2 การวิเคราะห์หาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผสมน้ำยางกับน้ำแป้ง

ตารางที่ 4.1 ค่า tensile strength และ elongation at break ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างน้ำยางกับแป้งที่เตรียมจากน้ำยางกับสารละลายแป้ง-กลีเซอรอลด้วยอัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วนของน้ำยางต่อ สารละลายแป้ง-กลีเซอรอล	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)
100/0	113.5 ± 9.3	1144.4 ± 40.6
80/20	253.2 ± 20.9	1745.2 ± 25.2
70/30	243.2 ± 16.4	1466.3 ± 19.3
60/40	146.4 ± 1.2	1395.5 ± 54.8
40/60	44.2 ± 2.7	1386.0 ± 37.7
30/70	23.8 ± 1.7	673.4 ± 44.5



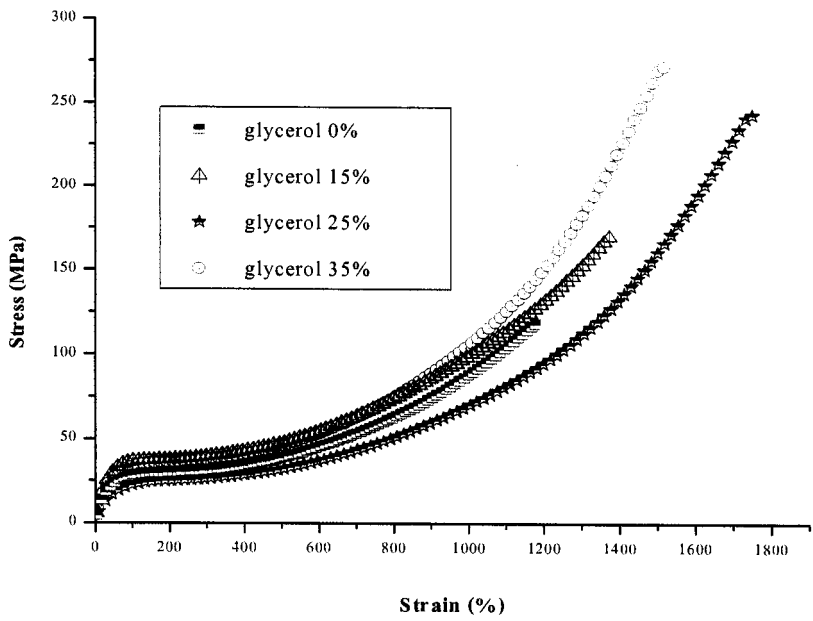
ภาพที่ 4.2 Stress-strain curves ของพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมจากน้ำยางกับสารละลายแป้ง-กลีเซอรอลด้วยอัตราส่วนต่างๆ

จากตารางที่ 4.1 และ ภาพที่ 4.2 เมื่อใช้ยางเป็น matrix และแป้งเป็น dispersed phase นั้นคือปริมาณยางมากกว่าแป้ง พบว่าแผ่นยางที่มีอัตราส่วนของน้ำยางต่อสารละลายแป้ง-กลีเซอรอล 80/20 มีค่า tensile strength ประมาณ 250 MPa ซึ่งมีค่ามากกว่าแผ่นยาง pure rubber (110 MPa) ประมาณ 2 เท่า สำหรับแผ่นยางที่มีอัตราส่วนน้ำยางต่อสารละลายแป้ง-กลีเซอรอล 70/30 (สัดส่วนของสารละลายแป้ง-กลีเซอรอลเพิ่มขึ้น) มีค่า tensile strength ลดลงเพียงเล็กน้อย อย่างไรก็ตาม เมื่อเพิ่มปริมาณสารละลายแป้ง-กลีเซอรอลเป็น 40% w/w tensile strength มีค่าลดลงอย่างมาก คือ มีค่า tensile strength พอๆกับ pure rubber และเมื่ออัตราส่วนของน้ำยางต่อ สารละลายแป้ง-กลีเซอรอลเป็น 40/60 tensile strength มีค่าเท่ากับ 44.2 MPa ซึ่งลดลงอย่างมากเมื่อเทียบกับ pure rubber ทั้งนี้เนื่องจากแป้งมีสมบัติเชิงกลที่ไม่ดีและเปราะ [9] เมื่อเพิ่มปริมาณแป้ง tensile strength ยังมีค่าลดลง จากการทดลองแผ่นยางที่ใช้อัตราส่วนของน้ำยางต่อสารละลายแป้ง-กลีเซอรอล 80/20 มีค่า tensile strength สูงที่สุด สำหรับค่า elongation at break นั้นมีแนวโน้มเหมือนกับค่า tensile strength คือแผ่นยางที่มีอัตราส่วนของน้ำยางต่อสารละลายแป้ง-กลีเซอรอล 80/20 มีค่า elongation at break สูงที่สุด (1745%) สูงกว่า pure rubber (1144%) เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งมากขึ้น ค่า elongation at break มีแนวโน้มลดลงแต่ก็ยังมากกว่าแผ่นยาง pure rubber อย่างไรก็ตาม แผ่นยางที่มีอัตราส่วนของน้ำยางต่อสารละลายแป้ง-กลีเซอรอล 30/70 ค่า elongation at break มีค่าต่ำกว่าแผ่นยาง pure rubber ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเมื่อแป้งมีปริมาณมากๆ แป้งมีแนวโน้มจับกันเป็นก้อน การกระจายตัวของแป้งในแผ่นยางไม่ดีพอ ทำให้แผ่นยางที่เตรียมได้มี elongation at break ลดลงดังข้อมูลในตารางที่ 4.1 โดยสรุปแผ่นยางที่มีสมบัติเชิงกลดีที่สุด ไม่ว่าจะเป็นค่า tensile strength และค่า elongation at break คือ แผ่นยางที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของน้ำยางต่อสารละลายแป้ง-กลีเซอรอล 80/20 นอกจากนี้แผ่นยางที่มีสัดส่วนของน้ำยางมากกว่าสารละลายแป้ง-กลีเซอรอล จะให้ค่า tensile strength และ elongation at break สูงกว่าแผ่นยาง pure rubber และแผ่นยางที่มีสัดส่วนของสารละลายแป้งมากกว่าน้ำยางโดยเฉพาะแผ่นยางที่มีอัตราส่วนน้ำยางต่อสารละลายแป้ง-กลีเซอรอล 30/70 มีสมบัติเชิงกลด้อยกว่าแผ่นยาง pure rubber ทั้งนี้เพราะยางมีความยืดหยุ่นมากกว่าแป้งนั่นเอง ดังนั้นในการทดลองขั้นต่อไปจะเตรียมแผ่นยางโดยใช้อัตราส่วนของน้ำยางต่อสารละลายแป้ง-กลีเซอรอลเท่ากับ 80/20

4.3 การวิเคราะห์ปริมาณของกลีเซอรอลที่เหมาะสมในการผสมน้ำยางกับน้ำแป้ง

ตารางที่ 4.2 ค่า tensile strength และ elongation at break ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างน้ำยางกับแป้งที่เตรียมจากน้ำยางกับสารละลายแป้ง-กลีเซอรอลด้วยอัตราส่วน 80:20 โดยใช้กลีเซอรอลปริมาณต่างๆ

% Glycerol in starch solution	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)
0	136.3 ± 9.3	1277.3 ± 21.6
15	141.1 ± 8.3	1262.7 ± 24.5
25	253.2 ± 20.9	1745.2 ± 25.2
35	262.7 ± 34.9	1530.3 ± 42.8



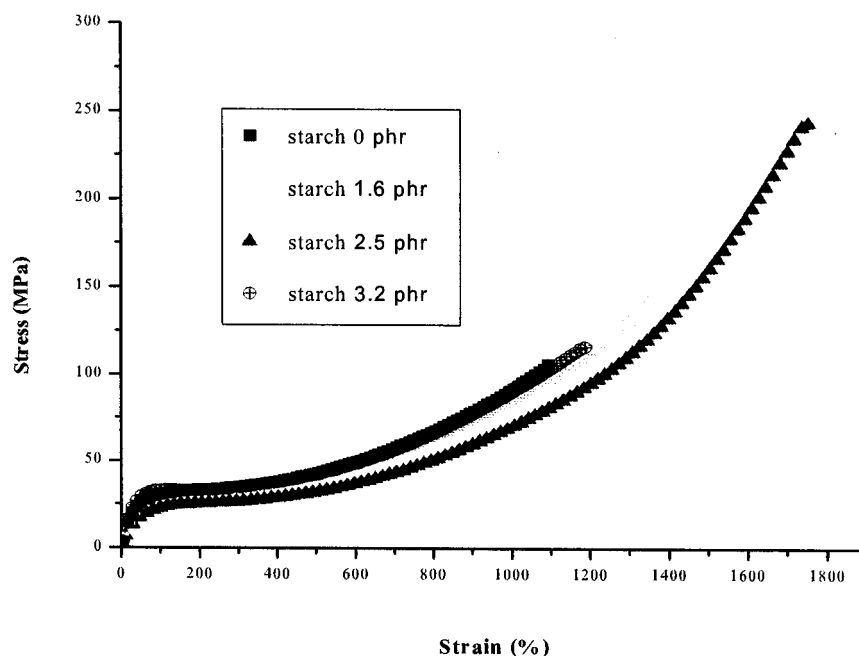
ภาพที่ 4.3 Stress-strain curves ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างน้ำยางกับแป้งที่เตรียมจากน้ำยางกับสารละลายแป้ง-กลีเซอรอลด้วยอัตราส่วน 80:20 โดยใช้กลีเซอรอลปริมาณต่างๆ

จากตารางที่ 4.2 และ ภาพที่ 4.3 แผ่นยางที่ผสมน้ำยางกับน้ำแป้งโดยไม่มีการเติมกลีเซอรอล มีค่า tensile strength และ elongation at break สูงกว่าแผ่นยาง pure rubber เล็กน้อย เมื่อ มีการเติมกลีเซอรอล 15% บว่า tensile strength และ elongation at break มีค่าใกล้เคียงกับ แผ่นยาง rubber/starch ที่ไม่มีการเติมกลีเซอรอล แสดงว่าการเติมกลีเซอรอล 15% ไม่ค่อยมีผลต่อสมบัติของแผ่นยาง แต่เมื่อเพิ่มปริมาณกลีเซอรอลเป็น 25% แผ่นยางมีค่า tensile strength และ elongation at break สูงกว่า แผ่นยาง rubber/starchที่ไม่มีการเติมกลีเซอรอลอย่างมาก นั่นคือ กลีเซอรอลมีผลต่อสมบัติของแผ่นยางเมื่อเติมกลีเซอรอลที่พอเหมาะ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกลีเซอรอลช่วยให้การกระจายตัวของแป้งดีขึ้นและทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ของแป้ง ช่วยให้แป้งการกระจายตัวได้ดีในยาง เมื่อเติมกลีเซอรอลมากขึ้นเป็น 35% พบว่า tensile strength มีค่าสูงขึ้น แต่มีค่า elongation at break ลดลง น่าจะเนื่องมาจากกลีเซอรอลช่วยในการกระจายตัวของแป้งในน้ำยาง ทำให้โมเลกุลแป้งแทรกตัวโมเลกุลในยางได้ดีหรือช่วยทำให้เกิดอันตรกิริยาระหว่างยางกับแป้งเกิดได้มากขึ้น จึงทำให้ tensile strength มีค่าเพิ่มมากขึ้น แต่การเกิดอันตรกิริยาระหว่างยางกับแป้งได้มากขึ้นทำให้แผ่นยางมีความแข็งแรงมากขึ้นแต่มีความยืดหยุ่นลดลงจึงขาดได้เร็วขึ้น ดังนั้นการเติมกลีเซอรอล 25% w/w ของน้ำแป้งเป็นปริมาณที่เหมาะสมในการเตรียมแผ่นยางเพราะทำให้แผ่นยางที่เตรียมได้มีค่า tensile strength และ elongation at break สูงที่สุด ในงานทดลองขั้นต่อไปจึงเลือกใช้ปริมาณของกลีเซอรอลเท่ากับ 25% ของน้ำแป้งในการเตรียมแผ่นยาง

4.4 การวิเคราะห์ปริมาณของน้ำแป้งที่เหมาะสมที่ใช้เป็นส่วนผสมในการเตรียมแผ่นยาง

ตารางที่ 4.3 ค่า tensile strength และ elongation at break ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างน้ำยางกับแป้งที่เตรียมจากน้ำยางกับสารละลายแป้ง-กลีเซอรอลด้วยอัตราส่วน 80:20 โดยใช้แป้งปริมาณต่าง

Starch contents (phr)	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)
0	113.5 ± 9.3	1144.4 ± 40.6
1.6	157.7 ± 43.2	1391.7 ± 12.4
2.5	253.2 ± 20.9	1745.2 ± 25.2
3.2	126.0 ± 14.0	1325.1 ± 60



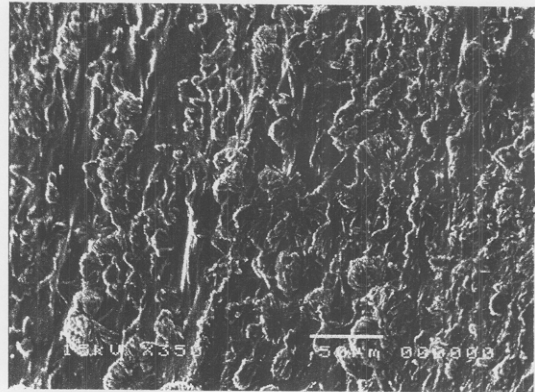
ภาพที่ 4.4 Stress-strain curves ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างน้ำยางกับแป้งที่เตรียมจากน้ำยางกับสารละลายแป้ง-กลีเซอรอลด้วยอัตราส่วน 80:20 โดยใช้แป้งปริมาณต่างๆ

จากตารางที่ 4.3 และ ภาพที่ 4.4 แผ่นยางที่มีแป้ง 1.6 phr มีค่า tensile strength (132.9 MPa) สูงกว่า แผ่นยาง pure rubber (113.5 MPa) เล็กน้อย เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งเป็น 2.5 phr มีค่า tensile strength (253.2 MPa) สูงกว่าแผ่นยางที่มีแป้ง 1.6 phr ประมาณสองเท่า แต่เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งเป็น 3.2 phr ค่า tensile strength (126.0 MPa) ต่ำกว่าแผ่นยางที่มีแป้ง 2.5 phr อย่างมาก สาเหตุเนื่องมาจากเมื่อเติมแป้งมากเกินไป แป้งจะมีการกระจายตัวได้ไม่ดี ทำให้ tensile strength มีค่าลดลง สำหรับค่า elongation at break ก็มีแนวโน้มเช่นเดียวกับค่า tensile strength นั่นคือ elongation at break มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณแป้ง แผ่นยางมีค่า elongation at break สูงสุดเมื่อเติมแป้ง 2.5phr แต่เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งเป็น 3.2 phr elongation at break มีค่าลดลง ดังนั้น ปริมาณแป้งที่เหมาะสมในการเตรียมแผ่นยางคือ 2.5 phr

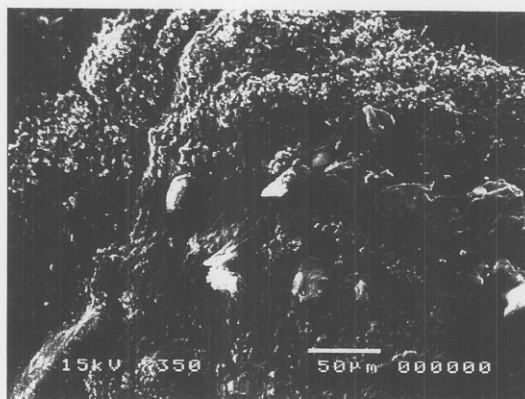
4.4 ผลการวิเคราะห์ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคแป้งภายในแผ่นยางที่เตรียมโดยการผสมแป้งปริมาณต่างๆ



(a)



(b)



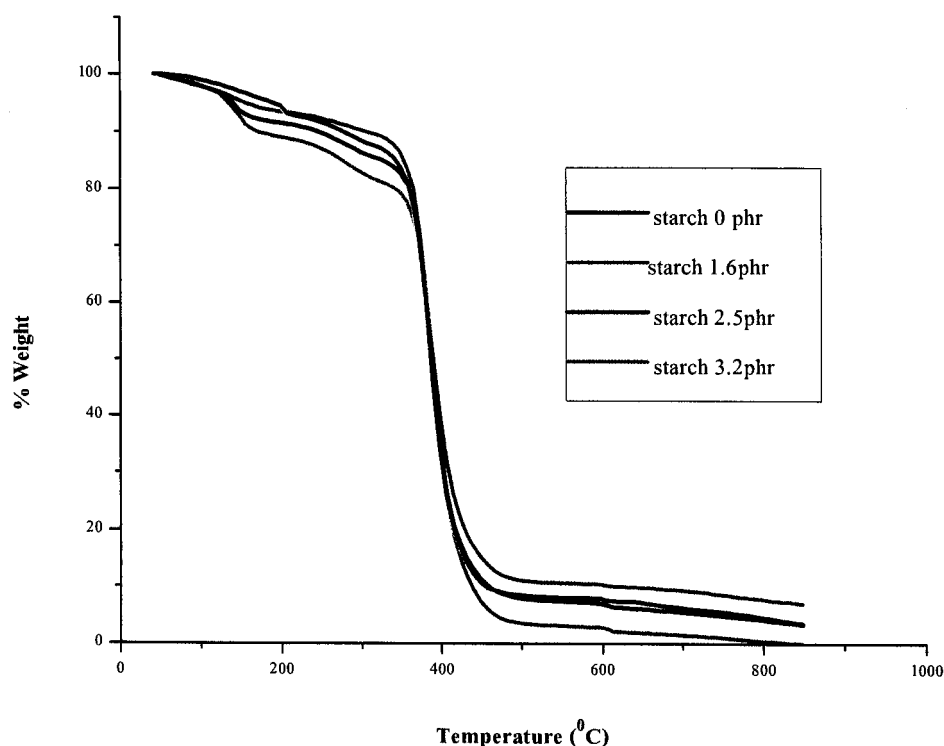
(c)

ภาพที่ 4.5 SEM แสดงลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคของแป้งในแผ่นยางที่เตรียมจากน้ำยางกับ สารละลายแป้ง-กลีเซอรอล 80/20 โดยใช้แป้งปริมาณต่างๆ (a) 1.6 phr, (b) 2.5 phr และ (c) 3.2 phr

จากภาพที่ 4.5 พบว่าอนุภาคแป้งในแผ่นยางที่มีส่วนผสมของแป้ง 1.6 phr จะมีการกระจายตัวค่อนข้างดีดังรูปที่ 4.5 a แต่เนื่องจากปริมาณของแป้งน้อยเกินไปจึงส่งผลต่อความแข็งแรงของแผ่นยางน้อย เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งเป็น 2.5 phr พบว่าอนุภาคแป้งมีการกระจายตัวได้ดีและทั่วถึงทุกพื้นที่ของแผ่นยางดังรูปที่ 4.5 b ซึ่งส่งผลต่อการเพิ่มความแข็งแรงของแผ่นยาง ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องจากอัตราส่วนของแป้งอยู่ในปริมาณที่เหมาะสมกับปริมาณน้ำยางและกลีเซอรอล

ที่ใช้เป็นส่วนผสมเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งเป็น 3.2 phr อนุภาคของแป้งมีการกระจายตัวได้ไม่ค่อยดี โดยส่วนมากจับตัวเป็นกลุ่มก้อนดังรูปที่ 4.5 c

4.6 การวิเคราะห์สมบัติการเสื่อมสภาพทางความร้อนของแผ่นยางที่มีแป้งปริมาณต่างๆ

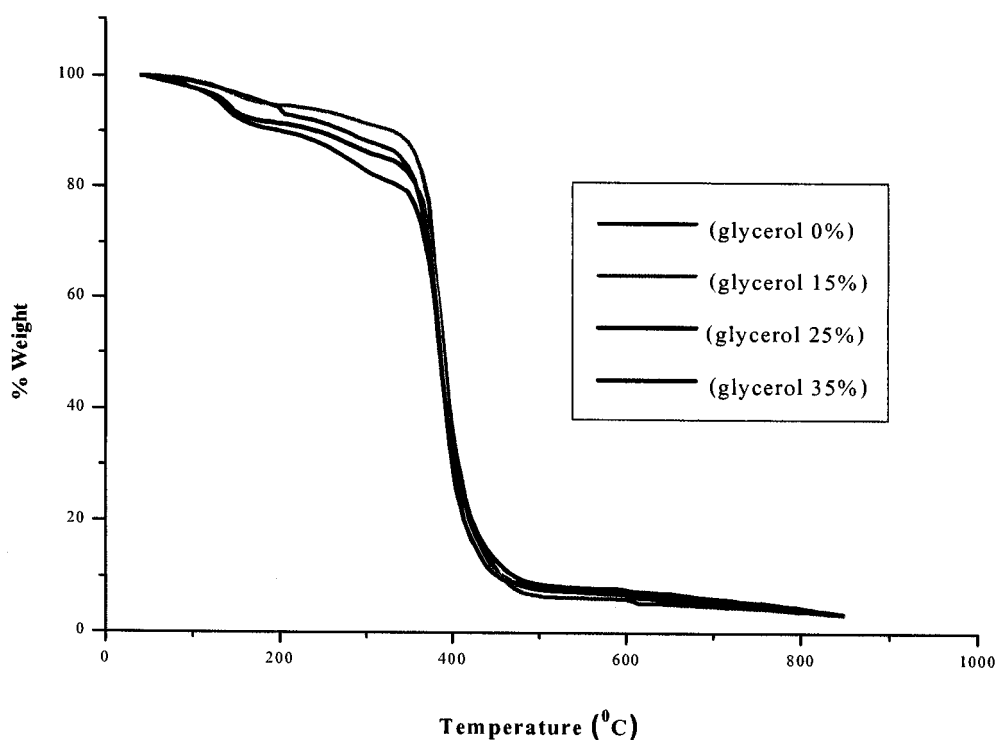


ภาพที่ 4.6 TGA thermograms ของแผ่นยางที่ไม่มีการเติมแป้งและกลีเซอรอล แผ่นยางที่เติมแป้งแต่ไม่เติมกลีเซอรอล และแผ่นยางที่มีการเติมแป้งและกลีเซอรอล โดยใช้แป้งปริมาณต่างๆ

ภาพที่ 4.6 แสดง TGA thermograms ของแผ่นยาง พบว่ารูปแบบของ mass loss ของแผ่นยางที่เตรียมจากพอลิเมอร์ผสมระหว่างน้ำยางกับสารละลายแป้ง-กลีเซอรอลมีลักษณะคล้ายกัน เนื่องจากจุดเดือดของกลีเซอรอลมากกว่า 100°C ดังนั้น mass loss ที่เกิดที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100°C น่าจะมาจากน้ำเป็นหลักและการเกิดการสลายตัว (decomposition) ตั้งแต่ 100°C น่าจะมาจากการเกิดการกลายเป็นไอ (volatilization) ของน้ำและกลีเซอรอล เมื่อเปรียบเทียบแผ่นยางที่ไม่มีการเติมแป้งและกลีเซอรอลกับแผ่นยางที่มีการเติมทั้งแป้งและกลีเซอรอล พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ

แป้ง มากขึ้นจะเกิดการเกิด mass loss ที่อุณหภูมิประมาณ 130°C (มาจากการเกิดการกลายเป็นไอของ น้ำและกลีเซอรอล)มากขึ้นทั้งนี้เพราะเมื่อเพิ่มปริมาณแป้ง ปริมาณกลีเซอรอลในแผ่นยาง ก็เพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย (เติมกลีเซอรอลเท่ากับ 25%w/w ของแป้ง) อย่างไรก็ตามการเติมแป้ง 2.5 phr ไม่ค่อยมีผลต่อการเกิด mass loss อันเนื่องมาจากน้ำและกลีเซอรอลมากนักเมื่อเทียบกับแผ่นยาง ที่ไม่มีการเติมกลีเซอรอล สำหรับอุณหภูมิที่เริ่มมีการสลายตัว (onset decomposition temperature) คือ อุณหภูมิประมาณ 360°C พบว่าเกิด mass loss ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน คือ ประมาณ 15% แต่ เมื่อเติมแป้ง 3.2 phr จะเกิด mass loss เพิ่มขึ้นคือ 20% ดังนั้นในการเตรียมพอลิเมอร์ผสม ระหว่างยางกับแป้งควรใช้แป้ง 2.5 phr เพราะสมบัติทนต่อความร้อนของแผ่นยางไม่เปลี่ยนแปลง มากนัก

4.7 การวิเคราะห์ผลของปริมาณกลีเซอรอลที่มีต่อสมบัติการเสื่อมสภาพทางความร้อนของแผ่นยาง



ภาพที่ 4.7 TGA thermograms ของแผ่นยางที่ไม่มีการเติมแป้งและกลีเซอรอลและแผ่นยางที่มีการเติมทั้งแป้งและกลีเซอรอล โดยใช้กลีเซอรอลปริมาณต่างๆ

ภาพที่ 4.7 แสดง TGA thermograms ของแผ่นยางที่ไม่มีการเติมแป้งและกลีเซอรอลและแผ่นยางที่มีการเติมทั้งแป้งและกลีเซอรอล โดยใช้ปริมาณแป้งคงที่แต่เปลี่ยนแปลงปริมาณกลีเซอรอล พบว่าแผ่นยางที่มีการเติมทั้งแป้งและกลีเซอรอลมีรูปแบบของ mass loss คล้ายกัน คือ มีการ loss น้ำและกลีเซอรอลที่อุณหภูมิประมาณ 130°C และ อุณหภูมิที่เริ่มมีการสลายตัวประมาณ 360°C

อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มปริมาณกลีเซอรอลมากขึ้นจะเกิดการเกิด mass loss อันเนื่องมาจากการสูญเสียน้ำและกลีเซอรอลเพิ่มมากขึ้น สำหรับอุณหภูมิที่เริ่มมีการสลายตัว คือ อุณหภูมิประมาณ 360°C ก็มีลักษณะที่คล้ายกัน คือเมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มมากขึ้น ปริมาณ mass loss ก็เพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตามพอลิเมอร์ผสมของยางกับแป้งที่มีปริมาณกลีเซอรอลเป็น 25% ของแป้งมีลักษณะของ TGA thermogram ไม่แตกต่างจากแผ่นยางที่ไม่มีการเติมแป้งและกลีเซอรอลมากนัก ดังนั้นในการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางกับแป้งควรใช้แป้ง 2.5 phr และ ปริมาณกลีเซอรอล 25% ของแป้ง เพราะมีสมบัติทนต่อความร้อนของพอลิเมอร์ผสมไม่เปลี่ยนแปลงจาก pure rubber มากนัก

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติกับแป้ง โดยวิธี solution blending พบว่า

5.1.1 ปริมาณ solid content ในน้ำยาง คือ 31.1%

5.1.2 ชนิดของแป้งที่เหมาะสมในการเตรียมพอลิเมอร์ผสมคือ แป้งมันสำปะหลัง เพราะแผ่นยางที่ได้มีลักษณะ homogeneous และ ไม่มีปัญหาเรื่องเชื้อราเหมือนกับการใช้แป้งข้าวเจ้า และ แป้งข้าวเหนียว

5.1.3 อัตราส่วนระหว่างน้ำยางต่อสารละลายแป้ง-กลีเซอรอล มีผลต่อสมบัติเชิงกลของแผ่นยางคือ แผ่นยางที่มีสัดส่วนของน้ำยางมากกว่าสารละลายแป้ง-กลีเซอรอลจะมีสมบัติเชิงกลที่ดีกว่าแผ่นยาง pure rubber แต่แผ่นยางที่มีสัดส่วนของน้ำยางน้อยกว่าสารละลายแป้ง-กลีเซอรอลจะมีสมบัติเชิงกลด้อยกว่าแผ่นยาง pure rubber เพราะแป้งมี tensile strength และ elongation at break ต่ำกว่ายาง และอัตราส่วนของน้ำยางต่อสารละลาย แป้ง – กลีเซอรอล ที่เหมาะสม คือ 80/20 ซึ่งจะให้ค่า tensile strength ประมาณ 2 เท่า และ elongation at break ประมาณ 1.5 เท่า ของแผ่นยาง pure rubber

5.1.4 ปริมาณกลีเซอรอลมีผลต่อสมบัติเชิงกลของแผ่นยาง คือ เมื่อเติมกลีเซอรอล 15% ของแป้ง จะไม่ค่อยมีผลต่อสมบัติเชิงกลของแผ่นยาง แต่เมื่อเพิ่มปริมาณกลีเซอรอลเป็น 25% จะให้ค่า elongation at break สูงที่สุด แต่หากเพิ่มปริมาณเป็น 35% พบว่า elongation at break มีค่าลดลง

5.1.5 ปริมาณแป้งมีผลต่อสมบัติเชิงกลของแผ่นยางคือ เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งมากขึ้นจะทำให้ tensile strength และ elongation at break เพิ่มขึ้น โดยแผ่นยางที่มีปริมาณแป้ง 2.5 phr จะให้ ค่า tensile strength และ elongation at break สูงสุด แต่เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งเป็น 3.2 phr พบว่าทั้ง tensile strength และ elongation at break ลดลง ซึ่งจาก SEM พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งมากเกินไปแป้งจะจับกันเป็นกลุ่ม (agglomerate)

5.1.6 ปริมาณแป้งและกลีเซอรอลมีผลต่อสมบัติการเสื่อมสภาพทางความร้อนของแผ่นยาง คือ แผ่นยางที่มีแป้ง 2.5 phr และกลีเซอรอล 25% มีสมบัติทนต่อความร้อนไม่แตกต่างจาก

pure rubber มากนัก การเพิ่มปริมาณแป้งและกลีเซอรอลมีแนวโน้มทำให้แผ่นยางมีสมบัติทนต่อความร้อนน้อยกว่า pure rubber

ดังนั้นการนำแป้งมาใช้ผสมกับยางธรรมชาติก็เป็นแนวทางหนึ่งในการปรับปรุงสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการปรับปรุงโครงสร้างของยางเพื่อให้เกิด interaction กับฟิลเลอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

5.2.2 อาจมีการเติมสารป้องกันการเกิดเชื้อราในการเตรียมพอลิเมอร์ผสม

5.2.3 ควรมีการใช้อุปกรณ์ที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผสมสารสำหรับการเตรียมพอลิเมอร์ผสม

เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

1. ชัยวัฒน์ เจนวาณิช. เคมีพอลิเมอร์พื้นฐาน. สงขลา : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2526.
2. ชัยวัฒน์ เจนวาณิช. พอลิเมอร์เชิงพาณิชย์. สงขลา : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2526.
3. คาวัลย์ จิมภู. โมเลกุลชีวเคมี. พิษณุโลก : มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2528.
4. พงษ์ธร แซ่ฮุย. ความรู้เบื้องต้นด้านวัสดุ. กรุงเทพมหานคร : ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค), 2004.
5. รัตน์ เพชรจันทร์. ยางพารา. กรุงเทพมหานคร : สำนักงานกองทุนสงเคราะห์ยางพารา, 2541.
6. Akamol Klaikherd, Jayanta Siripastr M.L., Boonjawat Jariya. Depolymerization of β -chaitin to mono and disaccharides by the serum fraction from the para rubber tree Hevea brasiliensis. Bangkok : Chulalongkorn University, 2004.
7. Antoine Rouily, Rigal Luc, Gilbert Robert G. Synthesis and properties of starch and chemically modified natural rubber. Australia : University of Sysney, 2004.
8. M.Arroyo, Lopez –Manchado M.A., Herrero B. Organo-montmorillonite as substitute of carbon black in natural rubber compounds. Spain : Institute of polymer science and technology, 2003.
9. A.T.F.Carvalho, Job A.E., Aives N., Curvelo A.A.S., Gandini A. Thermoplastic starch/natural rubber blends. Brazil : Industries graphiques, 2003.
10. C. Nakason, Kaesaman A., Eardrod K. Cure and mechanical properties of natural rubber-g-poly(methyl mathacrylate)-cassava starch compounds. Songkla : Songkla university, 2005.
11. S joly, Garnaud G., ollitault L R. Organocally modified layered silicates as reinforcing fillers for natural rubber. France :The University of Cincinnati, 2002.
12. Keisuke Chino and Makoto Ashiura : Thermoreversible cross-linking rubber using supramolecular hydrogen-bonding networkb. Japan : Research & The Yokohama rubber Co. Ltd., 2001.
13. Lei Jong. Charecterization of soy protein/styrene-butadiene rubber composites. USA : United states department of Agriculture, 2005.

14. J. Shey, Imam S.H., Glenn G.M., Orts W.J. Properties of baked starch foam with natural rubber latex. USA : United states department of Agriculture, 2005.
15. Yiqing Wang, Zang Huifeng, Wu Youping, Yang Jun , Zhang Liqun. Preparation and properties of natural rubber/rectorite nanocomposites. China : Beijing University of chemical technology41, 2005.
16. You-Ping Wu, Wang Qi-Qing, Li-Qun Zhang. A strategy to prepare high performance starch/rubber composites : In situ modification during latex compounding process. China : Beijing University of chemical, 2005.
17. You-Ping Wu, Wang Qi-Qing, Wang Yi-Zong, Yu Ding-Sheng, Li-Qun Zhang, Yang Jun. Rubber- pristine clay nanocomposites prepared by co-coagulating rubber latex and clay aqueous suspension. China : Beijing University of chemical. China : Beijing University of chemical, 2006.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.
การคำนวณสำหรับการเตรียมสารละลาย

ภาคผนวก

ก. การคำนวณสำหรับการเตรียมสารละลาย

ก.1 การคำนวณเตรียมสารละลายแป้ง 3% (w/w) ต่อน้ำหนักของน้ำปริมาณ 1,000 g
 ถ้าใช้น้ำปริมาณ 100 g จะต้องใช้แป้งปริมาณ 3 g
 ถ้าใช้น้ำปริมาณ 1,000 g จะต้องใช้แป้งปริมาณ 30 g
 ดังนั้นการเตรียมสารละลายแป้ง 3% (w/w) ต่อน้ำหนักของน้ำปริมาณ 1,000 g
 ต้องชั่งแป้ง มา 30 g แล้วเติมน้ำลงไป 1,000 g

ก.2 การคำนวณเตรียมกลีเซอรอล 15% (w/w) ต่อน้ำหนักของแป้ง
 ถ้าใช้แป้งปริมาณ 100 g จะต้องใช้กลีเซอรอลปริมาณ 15 g
 ถ้าใช้แป้งปริมาณ 30 g จะต้องใช้กลีเซอรอลปริมาณ 4.5 g
 ดังนั้นการเตรียมกลีเซอรอล 15% (w/w) ต่อน้ำหนักของแป้งปริมาณ 30 g
 ต้องชั่งกลีเซอรอลปริมาณ 4.5 g เพื่อผสมลงในน้ำแป้ง

ก.3 การคำนวณปริมาณของแป้งในหน่วย phr มีวิธีการดังนี้
 ตัวอย่างการคำนวณปริมาณน้ำแป้ง 2 (%w/w ต่อน้ำหนักของน้ำ)
 โดยใช้ปริมาณน้ำ 1000 g แป้ง 20 g และ กลีเซอรอล (25 %w/w ต่อน้ำหนักของแป้ง) 5 g
 จากการเตรียมคอมโพสิตของยาง/แป้งจะใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำยางต่อน้ำแป้ง/กลีเซอรอล
 เป็น 160:40 (w/w)

ดังนั้น จะได้ว่าถ้าปริมาณส่วนผสมทั้งหมด 1025 g จะมีปริมาณแป้งอยู่ 20 g
 ถ้าปริมาณส่วนผสมทั้งหมด 40 g จะมีปริมาณแป้งอยู่ = 0.78 g
 จากการหา solid content ของน้ำยางในน้ำยาง 100 กรัมจะมีปริมาณเนื้อยางแห้ง = 30.05 g
 ดังนั้นถ้าในน้ำยาง 160 g จะมีปริมาณเนื้อยางแห้ง = 48.08 g
 ดังนั้นปริมาณของแป้ง 2% ที่จะใช้ผสมในน้ำยาง

$$\text{คิดในหน่วย phr มีค่าเท่ากับ } \frac{0.78 \times 100}{48.08} = 1.62 \text{ phr}$$

ในการคำนวณปริมาณของแป้ง 3% และ 5% ใช้หลักการเดียวกัน

ก.4 Tensile strength

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

เมื่อ σ = tensile strength (MPa)

F = stress at break point (N)

A = cross sectional area ของ specimen (mm²)

ก.5 Elongation at break (EB)

$$EB = \frac{(l - l_0) \times 100}{l_0}$$

l = ความยาวของพอลิเมอร์จนกระทั่งพอลิเมอร์ขาด

l₀ = ความยาวของ gauge length

ตารางที่ ก.1 Solid content ของน้ำยาง

น้ำหนักสารก่อนอบ (g)	น้ำหนักสารหลังอบ (g)	% Solid content
21.9	6.8	31.1
22.0	6.6	30.2
22.3	7.0	31.6
22.2	6.9	31.5
21.9	6.9	30.9
เฉลี่ย		31.1

จากการวิเคราะห์ปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางตัวอย่างที่เก็บมาจากเขตพื้นที่อำเภอ
กัณฑ์ลักษณ์ จังหวัดศรีสะเกษแล้วพบว่าหลังจากการระเหยเอาส่วนที่เป็นของเหลวออก แล้วพบว่า
ในน้ำยางมีปริมาณเนื้อยางแห้งโดยเฉลี่ยอยู่ร้อยละ 31.1 โดยใช้เวลาทำการระเหยส่วนที่เป็น
ของเหลวออกจากน้ำยางโดยใช้เวลาการระเหย 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 90 °C ในตู้อบ

ภาคผนวก ข.

**ตารางข้อมูลแสดงผลการคำนวณหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ของค่า tensile strength ของแผ่นยางที่เตรียมจากส่วนผสมและอัตราส่วนต่างๆ**

ข. ตารางข้อมูลแสดงผลการคำนวณหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า tensile strength ของแผ่นยางที่เตรียมจากส่วนผสมและอัตราส่วนต่างๆ

ตารางที่ ข.1 ค่า tensile strength และ elongation at break ของแผ่นยาง ที่มีอัตราส่วนของ
น้ำยาง : น้ำแป้ง-กลีเซอรอล 30:70 โดยมีปริมาณแป้ง 2.5 phr และกลีเซอรอล
25% w/w ของแป้ง

ตัวอย่างที่	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)
1	23.5	707.7
2	23.9	676.7
3	23.3	699.7
4	24.4	609.6
\bar{X}	23.8	673.4
SD	1.7	44.5

ตารางที่ ข.2 ค่า tensile strength และ elongation at break ของแผ่นยาง ที่มีอัตราส่วนของ
น้ำยาง : น้ำแป้ง-กลีเซอรอล 40:60 โดยมีปริมาณแป้ง 2.5 phr และกลีเซอรอล
25% w/w ของแป้ง

ตัวอย่างที่	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)
1	45.7	1369.3
2	41.1	1316.0
\bar{X}	43.4	1342.7
SD	2.7	37.7

ตารางที่ ข.3 ค่า tensile strength และ elongation at break ของแผ่นยาง ที่มีอัตราส่วนของ
น้ำยาง : น้ำแป้ง-กลีเซอรอล 60:40 โดยมีปริมาณแป้ง 2.5 phr และกลีเซอรอล
25% w/w ของแป้ง

ตัวอย่างที่	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)
1	144.5	1378.2
2	146.8	1468.2
3	146.2	1369.1
\bar{X}	145.8	1405.2
SD	1.2	54.8

ตารางที่ ข.4 ค่า tensile strength และ elongation at break ของแผ่นยาง ที่มีอัตราส่วนของ
น้ำยาง : น้ำแป้ง-กลีเซอรอล 70:30 โดยมีปริมาณแป้ง 2.5 phr และกลีเซอรอล
25% w/w ของแป้ง

ตัวอย่างที่	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)
1	248.7	1462.5
2	256.1	1487.2
3	224.7	1449.5
\bar{X}	243.2	1466.3
SD	16.4	19.3

ตารางที่ ข.5 ค่า tensile strength และ elongation at break ของแผ่นยาง ที่มีอัตราส่วนของ
น้ำยาง : น้ำแป้ง-กลีเซอรอล 80:20 โดยมีปริมาณแป้ง 2.5 phr และกลีเซอรอล
25% w/w ของแป้ง

ตัวอย่างที่	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)
1	226.5	1714.2
2	243.4	1751.2
3	247.2	1748.9
4	275.9	1781.3
5	273.2	1730.3
\bar{X}	253.2	1745.2
SD	20.9	25.2

ตารางที่ ข.6 ค่า tensile strength และ elongation at break ของแผ่นยาง ที่มีอัตราส่วนของ
น้ำยาง : น้ำแป้ง-กลีเซอรอล 80:20 โดยมีปริมาณแป้ง 1.6 phr และกลีเซอรอล
25% w/w ของแป้ง

ตัวอย่างที่	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)
1	120.1	1261.2
2	148.2	1465.7
3	204.9	1448.1
\bar{X}	132.9	1290.5
SD	47.9	12.2

ตารางที่ ข.7 ค่า tensile strength และ elongation at break ของแผ่นยาง ที่มีอัตราส่วนของ
น้ำยาง : น้ำแป้ง-กลีเซอรอล 80:20 โดยมีปริมาณแป้ง 2.5 phr และกลีเซอรอล
25% w/w ของแป้ง

ตัวอย่างที่	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)
1	226.5	1714.2
2	243.4	1751.2
3	247.2	1748.9
4	275.9	1781.3
5	273.2	1730.3
\bar{X}	253.2	1745.2
SD	20.9	25.2

ตารางที่ ข.8 ค่า tensile strength และ elongation at break ของแผ่นยาง ที่มีอัตราส่วนของ
น้ำยาง : น้ำแป้ง-กลีเซอรอล 80:20 โดยมีปริมาณแป้ง 3.2 phr และกลีเซอรอล
25% w/w ของแป้ง

ตัวอย่างที่	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)
1	113.9	1290.1
2	134.4	1394.1
3	114.4	1262.0
s4	141.4	1354.2
\bar{X}	126.1	1325.1
SD	14.0	60.0

ตารางที่ ข.9 ค่า tensile strength และ elongation at break ของแผ่นยาง ที่มีอัตราส่วนของ
น้ำยาง : น้ำแป้ง-กลีเซอรอล 80:20 โดยมีปริมาณแป้ง 2.5 phr และ glycerol
15% w/w ของแป้ง

ตัวอย่างที่	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)
1	145.3	1290.7
2	138.2	1239.9
3	134.2	1275.6
4	125.4	1244.6
\bar{X}	141.1	1262.7
SD	8.3	24.5

ตารางที่ ข.10 ค่า tensile strength และ elongation at break ของแผ่นยาง ที่มีอัตราส่วนของ
น้ำยาง : น้ำแป้ง-กลีเซอรอล 80:20 โดยมีปริมาณแป้ง 2.5 phr และ glycerol
25% w/w ของแป้ง

ตัวอย่างที่	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)
1	226.5	1714.2
2	243.4	1751.2
3	247.2	1748.9
4	275.9	1781.3
5	273.2	1730.3
\bar{X}	253.2	1745.2
SD	20.9	25.2

ตารางที่ ข.11 ค่า tensile strength และ elongation at break ของแผ่นยาง ที่มีอัตราส่วนของ
น้ำยาง : น้ำแป้ง-กลีเซอรอล 80:20 โดยมีปริมาณแป้ง 2.5 phr และ glycerol
35% w/w ของแป้ง

ตัวอย่างที่	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)
1	275.8	1516.1
2	223.3	1496.4
3	289.5	1578.4
\bar{X}	262.7	1530.3
SD	34.9	42.8

ตารางที่ ข.12 ค่า tensile strength และ elongation at break ของแผ่นยาง pure rubber

ตัวอย่างที่	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)
1	104.8	1089.5
2	107.4	1162.6
3	118.8	1142.4
4	127.2	1198.9
5	109.4	1128.3
\bar{X}	113.5	1144.4
SD	9.3	40.6

ตารางที่ ข.13 ค่า tensile strength และ elongation at break ของแผ่นยางที่มีอัตราส่วนของ น้ำยางต่อน้ำแป้ง 80:20

ตัวอย่างที่	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)
1	126.9	1245.9
2	149.6	1303.1
3	141.7	1269.8
4	130.0	1290.2
5	133.1	1277.4
\bar{X}	136.3	1277.3
SD	9.3	21.6

ตารางที่ ข.14 ค่า Tensile Strength และ elongation at break ของแผ่นยางที่เตรียมจากส่วนผสมและ อัตราส่วนที่ต่างกัน โดยรวมทุกสภาวะ

ชนิดตัวอย่าง	Tensile Strength (MPa)	Elongation at break (%)
Rubber/starch- glycerol (30/70)	24.5	710.3
Rubber/starch- glycerol (40/80)	44.2	1386.0
Rubber/starch- glycerol (60/40)	146.5	1395.5
Rubber/starch- glycerol (70/30)	243.2	1466.3
Rubber/starch- glycerol (80/20)	253.2	1745.2
Glycerol 15 %	141.1	1289.6
Glycerol 25 %	253.2	1745.2
Glycerol 35 %	280.8	1540.3
Starch 2%	132.9	1290.5
Starch 3%	253.2	1745.2
Starch 5%	126.0	1325.1
Rubber	113.5	1144.3
Rubber + Starch	136.3	1277.3

ภาคผนวก ก
สารเคมีที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงคุณภาพของยาง

ค. สารเคมีที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงคุณภาพของยาง

ค.1 พลาสติไซเซอร์ (plasticizers) เป็นสารที่ใส่ในโพลิเมอร์ (polymer) หรือผลิตภัณฑ์พลาสติกเพื่อลดจุดหลอมที่ทำให้เกิดการไหล (flexing temperature) ของพลาสติกทำให้เมื่อดพลาสติกมีความยืดหยุ่นและอ่อนนุ่มขึ้น สะดวกต่อการดัด รีด ฉาบ หรือหล่อแบบ และยังเป็นตัวรักษาความอ่อนนุ่มไม่ให้เสียไปโดยง่าย อีกทั้งยังมีคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าทนต่อกรดด่าง น้ำมันและผงซักฟอก โดยจะใส่ประมาณ 20-40% โดยน้ำหนัก พลาสติไซเซอร์จึงมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์พลาสติกอย่างยิ่ง โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมพลาสติกโพลีไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl Chloride, PVC) ซึ่งเป็นพลาสติกที่นำไปทำประโยชน์ได้มากมาย เช่น ภาชนะบรรจุอาหาร ฟิล์มห่ออาหาร เครื่องมือแพทย์ เช่น ถุงบรรจุเลือด น้ำเกลือ สายยางที่ต่อกับเครื่องมือแพทย์, รองเท้า, กระเป๋า, เสื้อผ้า, กระเบื้องยางปูพื้น, สายไฟ, เทปพันสายไฟ, ท่อน้ำ, แท็งก์เก็บสารเคมีและอื่น ๆ โดยที่มีการใช้พลาสติไซเซอร์ในอุตสาหกรรมพลาสติก PVC ถึง 65% ของปริมาณการใช้พลาสติไซเซอร์ทั้งหมด ผู้ที่เริ่มใช้พลาสติไซเซอร์ในทางอุตสาหกรรมคนแรก คือ Hyatt Brothers ในราว ค.ศ.1870 เมื่อเขาผสมแคมเฟอร์ (camphor) กับไนโตรเซลลูโลส (nitrocellulose) ต่อมาไตรครี-ซิลฟอสเฟต (tricresyl phosphate) ก็ถูกนำมาใช้เป็นพลาสติไซเซอร์ ตามด้วยพทาเลทเอสเทอร์ (phthalate esters)

1.1 กลไกของพลาสติไซเซชัน (mechanism of plasticization) พลาสติกประกอบด้วยโมเลกุลโพลิเมอร์ (polymer molecules) แต่ละโมเลกุลเชื่อมต่อกันด้วยแรง Vander Waal โดยที่พลาสติไซเซอร์ไม่ได้เกิดปฏิกิริยากับโพลิเมอร์ แต่จะแทรกตัวเองอยู่ระหว่างโมเลกุลโพลิเมอร์โดยไปทำให้แรง Vander Waal ลดลง

ค.1.2 ชนิดของพลาสติไซเซอร์ พลาสติไซเซอร์สามารถแบ่งเป็นประเภทต่างๆ ดังนี้

ค.1.2.1 โมโนเมอร์คพลาสติไซเซอร์ (monomeric plasticizers) มีอยู่หลายกลุ่ม ได้แก่ กลุ่มพทาเลทเอสเทอร์ เป็นกลุ่มที่ใช้เป็นพลาสติไซเซอร์มากที่สุด เป็นสารประกอบอะโรมาติกที่มีหมู่คาร์บอกซิเลต 2 หมู่ มีลักษณะเป็นของเหลว มีจุดเดือดสูงและความดันไอต่ำ เป็นสารที่เสถียรและละลายในไขมันได้ดี พทาเลทเอสเทอร์ที่ผลิตในอุตสาหกรรมมาจากการทำปฏิกิริยาระหว่างพทาสิกแอนไฮไดรด์ (phthalic anhydride) กับแอลกอฮอล์ โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst) เช่น กรดซัลฟูริก หรือกรดพาราโทลูอินซัลโฟนิก พทาเลทเอสเทอร์ที่ใช้เป็นพลาสติไซเซอร์ เช่น ไดเมทิลพทาเลท (dimethyl phthalate, DMP) ไดเอทิลพทาเลท (diethyl phthalate, DEP)

ไดโนนอร์มัลฟิthalate (di-n butyl phthalate, DBP) บิวทิลเบนซิลฟิthalate (butylbenzyl phthalate, BBP) ไดทูเอทิลเฮกซิลฟิthalate (di-(2-ethylhexyl) phthalate, DOP⁽¹⁾) ไดโนนอร์มัลออกทิลฟิthalate (di-n-octyl phthalate, DOP⁽²⁾) ไดไอโซโนนิลฟิthalate (diisononyl phthalate, DINP) กลุ่มอดิเพต (adipates) และอะซีเลต (azelates) ผลิตจากกรดอดิพิค (adipic acid) หรือกรดอะซีลิกกับแอลกอฮอล์ เช่น ไดทูเอทิลเฮกซิลอดิเพต (di-2-ethylhexyl adipate, DOA), ไดไอโซเดซิลอดิเพต (diisodecyl adipate, DIDA), และไดโนนอร์มัลออกทิลเดซิลอดิเพต (di-n-octyldeceyl adipate, DNODA) ตัวที่สำคัญที่สุด คือ DOA ซึ่งองค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกาอนุญาตให้ใช้ในผลิตภัณฑ์ที่บรรจุอาหารส่วนกลุ่มอะซีเลตนั้น เช่น ไดทูเอทิลเฮกซิลอะซีเลต (di-2-ethylhexyl azelate, DOZ), ไดไอโซออกทิลอะซีเลต (diisooctyl azelate, DIOZ) และไดเฮกซิลอะซีเลต (dihexyl azelate, DHZ) ซึ่งเป็นตัวที่องค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกาอนุญาตให้ใช้ในผลิตภัณฑ์ที่บรรจุอาหารเช่นกัน (octyl diphenyl phosphate) กลุ่มฟอสเฟต มีออกทิลไดเฟนิลฟอสเฟต (octyl diphenyl phosphate) ตัวเดียวเท่านั้นที่องค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา อนุญาตให้ใช้ในผลิตภัณฑ์ที่บรรจุอาหาร

ค.1.2.2 โพลีเมอร์พลาสติกไซเซอร์ (polymeric plasticizers) ได้จากปฏิกิริยาระหว่างกรดไดเบสิก (dibasic acid) เช่น กรดอดิพิค หรือ กรดอะซีลิกกับไกลคอล (glycol) เช่น โพรไพลีนไกลคอล (propylene glycol) จะได้พลาสติกไซเซอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงถึง 20 เท่าของชนิดโมโนเมอร์ และจะมีโอกาสหลุดจากพลาสติกได้น้อยกว่าที่อุณหภูมิสูง ๆ และยังทนต่อการละลายของน้ำมันและตัวทำละลาย ส่วนราคาของโพลีเมอร์พลาสติกไซเซอร์นั้นจะสูงกว่าพวกพทาเลทเอสเทอร์ประมาณ 1.5-2 เท่าความเป็นพิษ เนื่องจากพลาสติกไซเซอร์ที่นิยมใช้มากที่สุด คือ กลุ่มพทาเลทเอสเทอร์ ดังนั้นจึงมีผู้ศึกษาวิเคราะห์วิจัยและมีหลักฐานการตรวจพบในสิ่งแวดล้อมมากที่สุด พลาสติกไซเซอร์ที่นิยมใช้กันมากและอยู่ในรายการสารมลพิษ (priority pollutants) ขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมสหรัฐอเมริกา (US Environmental Protection Agency, USEPA) มีอยู่ด้วยกัน 6 ตัว คือ DMP, DEP, DBP, BBP, DOP⁽¹⁾ และ DOP⁽²⁾ โดยเฉพาะ DOP⁽¹⁾ นิยมใช้กันมากที่สุดหรือที่รู้จักกันในชื่อ ไดทูเอทิลเฮกซิลฟิthalate ซึ่งเป็นคนละตัวกับไดโนนอร์มัลออกทิลฟิthalate (DOP) สารมลพิษเหล่านี้ไม่ค่อยแสดงความเป็นพิษอย่างเฉียบพลัน แต่จะแสดงในลักษณะพิษเรื้อรังเป็นผลให้เกิดอาการตกเลือดในปอด (lung hemorrhage), ตับโต (hepatomegaly) เป็นพิษต่อเซลล์ในร่างกาย (cytotoxicity) ทำให้เกิดมะเร็ง (carcinogenicity) เกิดการก่อกลายพันธุ์ (mutagenicity) และทารกในครรภ์มีรูปร่างผิดปกติ (teratogenicity) พลาสติกไซเซอร์ที่ใส่ในผลิตภัณฑ์พลาสติกจะไม่ได้เกิดพันธะเคมีกับโพลีเมอร์เพียงแต่จะแพร่แทรกเข้าไปอยู่ระหว่างโมเลกุลดังกล่าวแล้วข้างต้น ดังนั้นจึงเกิดการถ่ายทอดสู่สิ่งแวดล้อมได้ง่าย ดังรายงาน

การตรวจพบสารเหล่านี้ในน้ำ อากาศ ดิน ปลา อาหาร เลือด และพลาสมา Stalling, Mayer และ
 ผู้ร่วมงานแห่งห้องปฏิบัติการวิจัยสารฆ่าแมลงในปลา ในโคลัมเบีย รัฐมิสซูรี ได้ศึกษาความเป็นพิษ
 ของพทาเลทเอสเทอร์ในสิ่งมีชีวิตในน้ำ (aquatic organisms) ตรวจพบว่ามี DBP และ DOP ในปลา
 และน้ำบริเวณอเมริกาเหนือ นอกจากนี้สิ่งมีชีวิตในน้ำยังสามารถสะสมพทาเลทเอสเทอร์โดย
 หลังจาก 7 วัน ความเข้มข้นของพทาเลทเอสเทอร์ในสิ่งมีชีวิตจะเปลี่ยนจาก 350 เป็น 3900 เท่าของที่
 พบในน้ำ นั่นแสดงว่า DBP และ DOP⁽¹⁾ สามารถเข้าไปอยู่ในลูกโซ่อาหาร (food chain) ได้ด้วย และ
 ยังพบว่าพทาเลทเอสเทอร์จะรบกวนระบบนิเวศและเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ เช่น daphnia
 ในระดับความเข้มข้นเป็นไมโครกรัมต่อลิตร (ppb) นอกจากนี้ นักวิทยาศาสตร์ยังพบว่าสิ่งมีชีวิต
 ในน้ำจะไวต่อความเป็นพิษมากกว่าสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม และเพื่อความปลอดภัยของมนุษย์ USEPA
 ได้กำหนดปริมาณพทาเลทเอสเทอร์ที่อนุญาตให้มีในน้ำดังนี้คือ DMP 313 มิลลิกรัม/ลิตร (ppm),
 DEP 350 มิลลิกรัม/ลิตร, DBP 34 มิลลิกรัม/ลิตร และ DOP⁽¹⁾ ในแม่น้ำเจ้าพระยา, แม่น้ำบางปะกง,
 แม่น้ำท่าจีนและอ่าวไทยตอนบน ส่วนสุภาณีและวราภรณ์ได้ตรวจพบ DEP, DBP, BBP ในแม่น้ำ
 เจ้าพระยาและบริเวณคลอง สระน้ำต่าง ๆ ในเขตกรุงเทพมหานคร

ค.3 สารตัวเติม (filler) สารตัวเติมเป็นสารที่ใช้ผสมกับยางเพื่อช่วยเสริมแรง
 (reinforcement) ให้ผลิตภัณฑ์ยางหรือเพื่อช่วยลดต้นทุนการผลิต สารตัวเติมที่ช่วยเสริมแรง
 จะเรียกว่า สารเสริมแรง (reinforcing filler) ซึ่งจะเป็นสารที่มีขนาดอนุภาคที่เล็กมาก (มีพื้นที่ผิวสูง)
 ได้แก่ ผงเขม่าดำ (carbon black) เกรดต่างๆ และผงเขม่าขาวหรือ ซิลิกา เป็นต้น ส่วนสารตัวเติม
 ที่ไม่ช่วยเสริมแรง (inert filler or non-reinforcing filler) แต่นิยมใช้เพื่อลดต้นทุนการผลิต ได้แก่
 ดินขาว (clay) แป้ง แคลเซียมคาร์บอเนต เป็นต้น

ภาคผนวก ง
กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

ง. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

นักวิทยาศาสตร์สนใจศึกษาโครงสร้างของสิ่งที่มีชีวิตและไม่มีชีวิตผ่านทางกล้องจุลทรรศน์ แต่ยังมีโครงสร้างอีกหลายประเภทที่มีขนาดเล็กเกินกว่าที่กล้องจุลทรรศน์ธรรมดาจะสามารถมองเห็นรายละเอียดได้ ในปี ค.ศ. 1931 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนจึงได้ถือกำเนิดขึ้น โดย Ernst Ruska และ Max Knoll จาก Berlin Technische Hochschule และได้รับการพัฒนาเป็นอย่างมากในช่วงทศวรรษ 1950 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน เป็นกล้องจุลทรรศน์ที่สามารถให้กำลังขยาย (magnification) และแจกแจงรายละเอียด (resolution) ได้เหนือกว่ากล้องจุลทรรศน์แบบธรรมดา โดยในปัจจุบันกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนมีกำลังขยายสูงถึง 500,000 เท่าเลยทีเดียว กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนจะใช้ลำอิเล็กตรอนแทนลำแสงในการสะท้อนวัตถุ เนื่องจากความยาวคลื่นของอิเล็กตรอนนั้นสั้นกว่าความยาวคลื่นแสงถึง 100,000 เท่า ทำให้มีประสิทธิภาพในการแจกแจงรายละเอียดสูง กล้องจุลทรรศน์แบบธรรมดาจะแจกแจงรายละเอียดได้ประมาณ 0.2 ไมโครเมตร ในขณะที่กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนจะมีประสิทธิภาพถึง 0.1 นาโนเมตร

ง.1 หลักการทำงานทั่วไป ลำแสงอิเล็กตรอนที่มีศักย์สูงจากแคโทดที่ถูกให้ความร้อนในสภาวะสุญญากาศ จะถูกเร่งและผ่านออกมาตามท่อสุญญากาศไปยังระบบคอนเดนเซอร์ (condenser system) ซึ่งประกอบด้วยขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic coils) 4 ชุด โดยขดลวดแม่เหล็กชุดแรกจะทำให้อิเล็กตรอนผ่านไปยังด้านล่างของตัวอย่าง ส่วนชุดที่สองจะทำหน้าที่เสมือนเลนส์ใกล้วัตถุที่จะรวบรวมอิเล็กตรอนให้ผ่านหรือกระจายอยู่รอบๆ ตัวอย่าง จากนั้นอิเล็กตรอนจะผ่านไปยังขดลวดสนามแม่เหล็กชุดที่สามที่ทำหน้าที่ในการขยายภาพ โดยภาพเกิดขึ้นจากการที่อิเล็กตรอนผ่านไปยังตัวอย่างและมีการโฟกัสภาพไปยังจอรับภาพ เช่น จอรับภาพเรืองแสง หรือเซนเซอร์ไวแสง และขดลวดสนามแม่เหล็กชุดสุดท้ายจะทำหน้าที่เสมือนเลนส์ใกล้ตา ซึ่งภาพที่ได้สามารถบันทึกลงบนเพลท แผ่นฟิล์ม หรือทำการแปลงสัญญาณภาพลงสู่จอคอมพิวเตอร์ได้ ซึ่งภาพที่ได้นี้จะเรียกว่า Electron Micrograph (EM)

ง.1.1 TEMs เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่ใช้ศึกษาตัวอย่างชนิดบางซึ่งเตรียมขึ้นโดยวิธีพิเศษเพื่อให้ลำอิเล็กตรอนผ่านได้ การสร้างภาพจากกล้องประเภทนี้จะทำได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่ทะลุผ่านตัวอย่างนั่นเอง กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านเหมาะสำหรับศึกษารายละเอียดขององค์ประกอบภายในของตัวอย่าง เช่น องค์ประกอบภายในเซลล์ ลักษณะของเยื่อหุ้มเซลล์ ผนังเซลล์ เป็นต้น ซึ่งจะให้รายละเอียดสูงกว่ากล้องจุลทรรศน์ชนิดอื่นๆ เนื่องจากมีกำลังขยายและประสิทธิภาพในการแจกแจงรายละเอียดสูงมาก

ง.1.2 SEMs เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่ใช้ศึกษารายละเอียดของพื้นผิวของตัวอย่าง เช่น ลักษณะพื้นผิวด้านนอกของเนื้อเยื่อและเซลล์ หน้าตัดของโลหะและวัสดุ เป็นต้น

การสร้างภาพทำโดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่สะท้อนจากผิวหน้าของตัวอย่าง ซึ่งภาพที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์ชนิดนี้จะเป็นภาพสามมิติ นอกจากนี้ยังอาจดัดแปลงโดยต่อเติมอุปกรณ์อื่นๆ เพื่อให้มีการแสดงผลในรูปแบบต่างๆ ได้ เช่น การวิเคราะห์ธาตุ การคำนวณหามวลและปริมาตร กล้องจุลทรรศน์แบบนี้เหมาะสำหรับการเรียนการสอนและการวิจัยพื้นฐาน ข้อได้เปรียบของ SEMs คือ ภาพที่เห็นจะเป็นภาพสามมิติ ในขณะที่ภาพจาก TEMs จะให้ภาพสองมิติ รวมถึงวิธีการใช้งานซึ่งมีความรวดเร็วและง่ายกว่า TEMs มาก

ง.2 ส่วนประกอบกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ประกอบด้วยระบบที่สำคัญ 4 ระบบคือ

ง.2.1 ระบบสุญญากาศ (vacuum system) ประกอบด้วยเครื่องดูดอากาศ 2 แบบ ได้แก่ เครื่องดูดอากาศแบบ mechanical pump และเครื่องดูดอากาศที่ใช้ น้ำมันแบบ diffusion pump หรืออาจเป็นแบบ ion getter pump ซึ่งจะทำงานร่วมกัน โดยเริ่มจากการทำให้ภายในคอลัมน์เป็นสุญญากาศที่มีความดันประมาณ 10^{-3} – 10^{-8} torr และต้องกำจัดโมเลกุลของก๊าซต่างๆ ออกให้หมด เนื่องจากโมเลกุลเหล่านี้จะเกิดการดูดกลืนอิเล็กตรอนและทำให้ลำอิเล็กตรอนเกิดการกระเจิง ประจุอิเล็กตรอนกระจัดกระจายไม่เป็นระเบียบ ส่งผลให้ภาพที่ได้ไม่คมชัด นอกจากนี้ โมเลกุลของก๊าซอาจเกิดปฏิกิริยาการแผ่รังสี (ionization) ซึ่งจะทำให้ลำอิเล็กตรอนไม่คงที่หรือเคลื่อนออกไปจากทิศทางเดิม โมเลกุลของก๊าซอาจจะไปรวมตัวกับไส้หลอดที่ใช้เป็นแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนจนเกิดการเผาไหม้และขาดในที่สุด หรืออาจไปจับกับตัวอย่าง ทำให้ตัวอย่างเกิดการปนเปื้อนจนไม่สามารถนำไปศึกษาหรือวิเคราะห์ต่อไปได้

ง.2.2 ระบบแสงสว่าง (Illuminating) ประกอบด้วยปืนอิเล็กตรอนและคอนเดนเซอร์เลนส์ โดยปืนอิเล็กตรอนจะเป็นแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน และคอนเดนเซอร์เลนส์จะทำหน้าที่รวบรวมประจุอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นให้เป็นลำอิเล็กตรอนโดยใช้สนามแม่เหล็กเพื่อส่งไปยังตัวอย่าง ค่าความยาวคลื่นของอิเล็กตรอนสามารถปรับเปลี่ยนได้โดยการปรับเปลี่ยนกระแสไฟฟ้า ถ้าให้กระแสไฟฟ้าแรงสูงมากขึ้น ค่าความยาวคลื่นของอิเล็กตรอนจะสั้นลง ทำให้การแจกแจงรายละเอียดดีขึ้น ดังนั้นการปรับเปลี่ยนความยาวโฟกัสจึงทำได้โดยการควบคุมปริมาณกระแสไฟฟ้านั้นเอง คอนเดนเซอร์อาจมีได้มากกว่าหนึ่งชุด เพื่อควบคุมให้ลำอิเล็กตรอนมีความเข้มและขนาดเล็กลงทำให้ภาพที่ได้มีความสว่างมากขึ้น และยังเป็นการป้องกันตัวอย่างไม่ให้ถูกทำลายด้วยความร้อนที่เกิดจากอิเล็กตรอนด้วยระบบคอนเดนเซอร์เลนส์นี้จะมีแผ่น โมลิบดีนัมอยู่ในช่องว่างซึ่งจะมีรูกลมๆ ขนาดเล็กที่เรียกว่า aperture เพื่อควบคุมลำอิเล็กตรอนให้เป็นจุดกลมที่สมบูรณ์ รวมทั้งป้องกันการกระจายตัวของอิเล็กตรอนซึ่งจะส่งผลต่อความคมชัดของภาพ สำหรับขนาดของช่อง aperture นี้

ง.2.3 ระบบภาพ (Imaging system) ประกอบด้วยเลนส์สามแม่เหล็กไฟฟ้า 3 ตัว คือ objective lens, intermediate lens และ projector lens เมื่อทำการฉายลำอิเล็กตรอนบนตัวอย่าง ลำอิเล็กตรอนจะผ่านตัวอย่างไปยัง objective lens ที่อยู่ได้ช่องใส่ตัวอย่างและคอนเดนเซอร์เลนส์ objective lens จะทำหน้าที่ขยายภาพ จากนั้นลำอิเล็กตรอนจะผ่านไปยัง intermediate lens เพื่อทำการขยายภาพเพิ่มขึ้นอีก จากนั้นผ่านไปยัง projector lens ที่ทำหน้าที่นำภาพที่ขยายไปปรากฏบนจอซึ่งเราสามารถมองเห็นได้จากหน้าต่างสำหรับมองภาพ (viewing window)

ง.2.4 ระบบบันทึกภาพ (photographic system) ประกอบด้วยนั้ชดเตอร์และเครื่องวัดแสง โดยระบบนี้จะอยู่ได้ projectors lens ชดเตอร์จะทำหน้าที่ปิดหรือเปิดให้ลำแสงอิเล็กตรอน ไปตกกระทบบนแผ่นรับภาพเรืองแสง

ง.3 การใช้งานให้มีคุณภาพ

สิ่งที่แสดงให้เห็นต่อไปนี้เป็นตัวอย่างของการใช้งาน การตรวจสอบกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน เพื่อให้ได้ภาพที่มีคุณภาพและยืดอายุการใช้งานของตัวกล้อง

ง.3.1 ปฏิบัติตามขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง การใช้งานกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนและอุปกรณ์เสริมอย่างเคร่งครัด โดยเหมาะสมกับชนิดของตัวอย่าง ข้อมูลที่ต้องการ และภาพหรือสิ่งที่จะนำไปวิเคราะห์

ง.3.2 ตรวจสอบผลหรือภาพให้มีคุณภาพก่อนที่จะนำออกจากห้องปฏิบัติการ

ง.3.3 ทำบันทึกตรวจสอบหน้าที่การทำงานของขั้นตอนการควบคุมคุณภาพทุกรายการ

ง.3.4 ตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องมือให้พร้อมสำหรับใช้งานอยู่เสมอ

ง.3.5 มีการรายงานและปรับปรุงศักยภาพของผู้ใช้งาน

ง.3.6 ทำการสอบเทียบกล้องเป็นประจำ

ง.3.7 หมั่นตรวจสอบ contamination rates และ drift rates ของกล้อง และเวลาที่ใช้ในแต่ละขั้นตอน

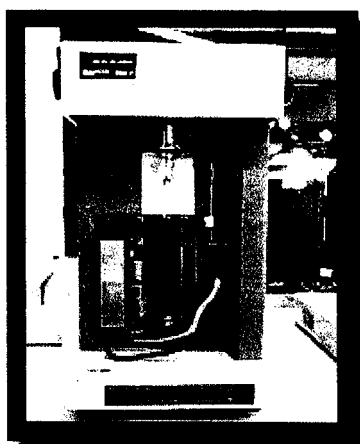
ง.3.8 ชิ้นส่วนสำรองต่างๆ ชิ้นจะต้องมีเอกสารบอกถึงแหล่งที่มา วิธีการติดต่อผู้ขาย ราคา เวลาที่ส่ง และถ้าเป็นไปได้ควรทราบตัวแทนจำหน่ายรายอื่นๆ ด้วย

ภาคผนวก จ

เครื่องวิเคราะห์ทางความร้อน (Thermogravimetric Analyser,TGA)

จ.เครื่องวิเคราะห์ทางความร้อน (Thermogravimetric Analyser, TGA)

เครื่องวิเคราะห์ทางความร้อน ที่ จี เอ เป็นเครื่องวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสาร เมื่อสารตัวอย่างได้รับความร้อนสูงและเกิดการสลายตัวเครื่อง TGA มีประโยชน์ต่อการวิเคราะห์ทั้งเชิงคุณภาพและปริมาณของตัวอย่าง เช่น พอลิเมอร์ ยาง และตัวอย่างทางวัสดุศาสตร์ เช่น เซรามิกส์ เป็นต้น ใช้ศึกษาวิเคราะห์หาปริมาณองค์ประกอบของสาร เช่น ปริมาณตัวทำละลาย, ความชื้น, สารเติมแต่ง, คาร์บอนแบล็ก, พลาสติกไฮดริสเซอร์ และ การศึกษาความเสถียรภาพทางความร้อน ของตัวอย่างพอลิเมอร์ ยาง วิเคราะห์ตัวอย่างได้ทั้งสถานะของแข็งของเหลว ผง แผ่นฟิล์ม และ เส้นใย ระบบเครื่องซึ่งมีความละเอียดในการวิเคราะห์สูงถึง 0.1 ไมโครกรัม มีความถูกต้องของน้ำหนักมากกว่า 0.1% ความแม่นยำของอุณหภูมิ ± 5 องศาเซลเซียส แหล่งให้ความร้อนเป็นระบบเตาเผา สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ตั้งแต่ 50-1500 องศาเซลเซียส มีอัตราการเพิ่มลดอุณหภูมิ 0.1-200 องศาเซลเซียส ต่อนาที มีระบบทำให้เตาเผาเย็นอย่างรวดเร็วโดยใช้อากาศ ระบบการทำงาน และการประมวลผลถูกควบคุมโดยระบบคอมพิวเตอร์ แสดงผลการวิเคราะห์ในรูปแบบ เทอร์โมแกรมระหว่างเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงกับอุณหภูมิ หรือเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ ลักษณะตัวอย่างของเครื่อง TGA แสดงดังภาพที่ จ.1



ภาพที่ จ.1 ลักษณะภายนอกของเครื่อง Thermogravimetric Analyser (TGA)

ภาคผนวก ฉ

เครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล (Universal testing machine)

ฉ. เครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล (Universal testing machine)

ฉ.1 คุณลักษณะเฉพาะ เครื่อง Universal testing machine เป็นเครื่องทดสอบแรงประเภท static load test ให้แรงทดสอบคงที่กระทำต่อชิ้นทดสอบ ใช้ทดสอบความต้านทานต่อแรงกระทำของวัสดุ ทั้งแรงดึง แรงอัด แรงคดขวางและแรงเฉือน เมื่อนำชิ้นทดสอบมาติดตั้งกับเครื่องทดสอบ และให้ load cell ออกแรงกระทำต่อชิ้นทดสอบ strain gauge ใน load cell จะเปลี่ยนแปลงรูปร่างและแปลงค่าเป็นสัญญาณไฟฟ้าเพื่อประมวลผลเป็น load และ displacement ที่เกิดขึ้นกับชิ้นทดสอบ

ฉ.2 ขั้นตอนการใช้งาน

ฉ.2.1 การเลือกใช้ Load cell ที่ถูกต้องนั้น ขนาดของแรงที่ใช้ในการทดสอบ จะต้องมิต่ำไม่น้อยกว่า 2% ของ Load cell และไม่ควรเกิน 95% ของ load cell เช่น Load cell ขนาด 10 N จะวัดแรงได้ถูกต้องที่ 0.2 N ขึ้นไป หรือ Load cell ขนาด 5 kN จะวัดแรงได้ถูกต้องที่ 100 N ขึ้นไป

ฉ.2.2 การเตรียมชิ้นทดสอบต้องตรงตามมาตรฐานและติดตั้งกับตัวจับได้ถูกต้อง ดังนั้นผู้ใช้งานจำเป็นต้องออกแบบ ตัวจับชิ้นทดสอบให้เหมาะสม

ฉ.2.3 การเลือกวิธีการทดสอบที่เหมาะสมกับชิ้นทดสอบ เช่นการทดสอบ tensile ของวัสดุเปราะ ควรเลือกใช้วิธีทดสอบแบบ diametral tensile strength แทนการทดสอบ tensile strength แบบทั่วไป

ฉ.2.4 ผู้ใช้ต้องทราบมาก่อนว่า จะใช้ความเร็วในการทดสอบ (crosshead speed) ระยะการทดสอบ (displacement) ขนาดของแรงที่ใช้ (Load) และตัวแปรอื่นๆที่เกี่ยวข้อง ในการคำนวณค่าเชิงกลที่ต้องการ อย่างไร

ฉ.3 อุปกรณ์ประกอบ

ฉ.3.1 Load cell ขนาด 10 นิวตัน

ฉ.3.2 Load cell ขนาด 250 นิวตัน

ฉ.3.3 Load cell ขนาด 5 กิโลนิวตัน

ฉ.3.4 Heavy duty parallel wedge grips ลักษณะปากจับเป็นฟันเลื่อย ใช้ทดสอบวัสดุที่มีความแข็งแรงสูง

ฉ.3.5 Universal parallel wedge grips เหมาะสำหรับชิ้นทดสอบแรงดึงต่ำๆ

ฉ.3.6 Disc type grips สำหรับทดสอบแรงดึงเส้นใย ลวดอ่อนหรือสายไฟ

น.3.7 Pneumatic grips สำหรับทดสอบวัสดุประเภทกระดาษ ขาง สิ่งทอ ต้องใช้งาน
ร่วมกับปั้มลม

น.3.8 Heavy duty circular compression platen สำหรับทดสอบแรงอัด

น.3.9 Three point bending test สำหรับทดสอบแรงค้ดขวางแบบสามจุด

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	นายขรรยง ลอยหา
ประวัติการศึกษา	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, พ.ศ.2540-2544 วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมี) มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, พ.ศ.2547-2549 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์ศึกษา)
ประวัติการทำงานวิจัย	ทำสารนิพนธ์ในการศึกษาระดับวิทยาศาสตรบัณฑิต ในปีการศึกษา 2544 ที่ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ประวัติการทำงาน	พ.ศ.2545 – ปัจจุบัน โรงเรียนอัสสัมชัญอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี
ตำแหน่งและสถานที่ทำงานปัจจุบัน	ครูผู้สอน โรงเรียนอัสสัมชัญอุบลราชธานี อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี โทรศัพท์ (045) 284444