



M 121423

รายงานการวิจัย

เรื่อง

การเตรียมสารเสริมแรงจากเมล็ด และเปลือกหุ้มเมล็ดยางพารา และการศึกษา

ผลกระทบต่อคุณสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติ

Preparation of the Filler from Para Rubber Seed and Shell and

Their Effect on Mechanical Properties of Natural Rubber



INS 122965

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHA SARAKHAM UNIVERSITY

ดร.ชนีย์ พลหาญ

สำนักวิทยบริการ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
วันรับ.....
วันลงทะเบียน..... 15 มิ.ย. 2560
เลขทะเบียน..... ๘๙. 249903
เลขเรียกหนังสือ..... 633.89 ๑1๗7ก

ด.2

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

2558

2558

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

(งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ปีงบประมาณ 2558)

กิตติกรรมประกาศ

รายงานโครงการวิจัยเรื่อง การเตรียมสารตัวเติมจากเมล็ด และเปลือกหุ้มเมล็ดยางพารา และ การศึกษาผลกระทบที่ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติทางความร้อนของยางธรรมชาติ ได้สำเร็จลงตามวัตถุประสงค์ เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือ และการสนับสนุนในด้านต่างๆจากบุคคลหลายฝ่าย ผู้จัดทำจึงใคร่ ขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคามที่ได้มอบ ทุนอุดหนุนการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏ มหาสารคาม ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการทดลอง

ขอขอบพระคุณนางสาวนงลักษณ์ มีแก้ว นางสาวอัญชลี มาคิน และนางสาวอรุณรัตน์ อุทัย คุ เจ้าหน้าทีประจำห้องปฏิบัติการสาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัย ราชภัฏมหาสารคาม ที่อำนวยความสะดวกในการใช้อุปกรณ์ และเครื่องมือการทดลองทาง วิทยาศาสตร์

ขอขอบพระคุณ นางสาวจรรพร พิชัยช่วง นางสาวน้ำเพชร ประทุมทอง และนางสาว พรพรรณ นิยมวัน นักศึกษา วท.บ.เคมี ในโครงการวิจัยประจำปีการศึกษา 2558 ที่ได้ช่วยเหลือใน การทำวิจัย



ดร.ชนีย์ พลหาญ

2558

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

หัวข้อวิจัย การเตรียมสารเสริมแรงจากเมล็ด และเปลือกหุ้มเมล็ดยางพารา และการศึกษาผลกระทบที่ส่งผลต่อคุณสมบัติเชิงของยางธรรมชาติ

ผู้ดำเนินการวิจัย นางสาวดรชนีย์ พลหาญ

หน่วยงาน สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

ปี พ.ศ. 2558

บทคัดย่อ

ยางธรรมชาติเป็นวัสดุทางชีวภาพที่สำคัญมากชนิดหนึ่ง เนื่องจากได้มีการนำมาใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันอย่างแพร่หลาย เหตุเนื่องจากคุณสมบัติที่โดดเด่นของยางนั้นเอง ไม่ว่าจะเป็นความสามารถในการยืดติด ความยืดหยุ่น และสามารถขึ้นรูปได้ง่าย แต่อย่างไรก็ตามยางธรรมชาติก็มีขีดจำกัดในการใช้งานอยู่คือ มีความเสถียรทางความร้อนที่ต่ำ ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้คือการปรับปรุงคุณสมบัติทางความร้อนของยางธรรมชาติให้สูงขึ้นด้วยการเติมสารตัวเติมที่ทำจากวัสดุเหลือใช้ โดยยางธรรมชาติจะถูกปรับปรุงโครงสร้างทางเคมี ให้เป็นยางธรรมชาติอิพอกไซด์ ผ่านกระบวนการอิพอกซิเดชัน ซึ่งสามารถพิสูจน์การเปลี่ยนโครงสร้างของยางได้โดยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR) ต่อจากนั้นเตรียมวัสดุผสมของน้ำยางธรรมชาติหรือน้ำยางธรรมชาติอิพอกไซด์กับ เมล็ด หรือเปลือกหุ้มเมล็ดยางพารา ในปริมาณ 0.5 1.0 2.0 และ 4.0phr ซึ่งสารที่ผสมกับยางนี้จะทำหน้าที่เป็นสารตัวเติมให้แก่ยาง การกระจายตัวของสารตัวเติมในยางวิเคราะห์ได้โดยเทคนิค scanning electron microscope (SEM) และการวิเคราะห์ความเสถียรทางความร้อนของยางด้วยเทคนิค Thermogravimetric Analysis (TGA) จากผลการวิเคราะห์พบว่าสารตัวเติมมีการกระจายตัวได้ดีในยางธรรมชาติอิพอกไซด์มากกว่ายางธรรมชาติ แต่จะมีการรวมตัวกันเป็นก้อนเล็กน้อยเมื่อผสมไปในปริมาณ 4.0phr ผลการวิเคราะห์ทางความร้อนพบว่าสารตัวเติมทั้งสองชนิดมีประสิทธิภาพช่วยเพิ่มความเสถียรทางความร้อนให้แก่ยางทั้งสองชนิดได้ โดยสารตัวเติมที่เตรียมจากเปลือกหุ้มเมล็ดยางพารามีประสิทธิภาพสูงกว่า และวัสดุผสมที่ใช้ยางธรรมชาติอิพอกไซด์นั้นจะความเสถียรทางความร้อนที่สูงกว่าการใช้ยางธรรมชาติ จากผลการวิจัยทั้งหมดจึงสรุปได้ว่าการปรับปรุงคุณสมบัติทางความร้อนของยางธรรมชาติสามารถทำได้โดยการผสมสารตัวเติมทั้งสองชนิดและการปรับโครงสร้างของยางให้กลายเป็นยางธรรมชาติอิพอกไซด์จะช่วยเพิ่มความเข้ากันได้ระหว่างยางและสารตัวเติม ดังนั้นวัสดุผสมที่เตรียมจากยางธรรมชาติอิพอกไซด์และเปลือกหุ้มเมล็ดยางพาราจึงมีความเสถียรทางความร้อนสูงที่สุด

Research Title	Preparation of the Filler from Para Rubber Seed and Shell and Their Effect on Mechanical Properties of Natural Rubber
Researcher	Miss Dutchanee Pholharn
Organization	Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Rajabhat Maha Sarakham University
Year	2015

ABSTRACT

Natural rubber (NR) is an important renewable resource biomaterial. It is used widely in our daily lives because it has features of good adhesion, high elasticity and easily to processing. However, the NR has a limitation for using because of low thermal stability. Therefore, this research aims to improve the thermal stability of NR by blending with leftover materials. The NR was modified the functional group through the epoxidation reaction to obtain the epoxidized natural rubber (ENR) which was verified by Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR). The composites of ENR and NR were prepared by blending with para rubber seed and para rubber shell 0.5, 1.0, 2.0 and 4.0phr, which it role as a filler. The dispersion of fillers on ENR and NR were investigated by scanning electron microscope (SEM). And thermal stability of the composites was analyzed by Thremogravimetric Analysis (TGA). From SEM results, the fillers had good dispersion on ENR more than on NR and when added 4.0phr of fillers, it was formed aggregation. When the fillers were blended to ENR or NR, its composites had increasing of thermal stability. It was found that when used the para rubber shell as fillers, the ENR and NR composites was decomposed at higher temperature more than using the other filler. And the ENR composites showed the higher thermal stability than NR composites. From all of results, can be concluding that the improving of thermal stability of NR has been achieved by blending with para rubber seed and para rubber shell. And the modification of NR become to ENR leads it to have a better compatibility with fillers. Therefore, ENR composited with para rubber shell presented the highest thermal stability.

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 ขอบเขตการวิจัย	3
1.4 สมมติฐานการวิจัย	3
1.5 คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย/(นิยามศัพท์เฉพาะ)	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ยางธรรมชาติ (Natural Rubber : NR)	5
2.1.1 ส่วนประกอบของน้ำยาง (Latex)	6
2.1.2 รูปแบบของยางธรรมชาติ	8
2.1.3 โครงสร้างโมเลกุลและสมบัติของยางพารา	10
2.1.4 สมบัติยางธรรมชาติ	10
2.2 อีพอกไซด์ (Epoxides)	11
2.2.1 ปฏิกิริยาการเปิดวงของอีพอกไซด์	12
2.3 ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (Epoxidized natural rubber, ENR)	13
2.3.1 ปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน	13
2.3.2 สมบัติและการใช้งานของยางธรรมชาติอีพอกไซด์	15
2.4 เมล็ดยางพารา (Para rubber seed)	16
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19
2.6 กรอบแนวคิดในการวิจัย	22
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	23
3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง	23
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	23

เรื่อง	หน้า
3.3 สารเคมี	24
3.4 การเตรียมน้ำยางธรรมชาติ	25
3.5 การหาปริมาณร้อยละเนื้อยางแห้ง (Percentage of Dry Rubber Content: %DRC)	25
3.6 การหาปริมาณร้อยละของแข็งทั้งหมดในน้ำยางธรรมชาติ (Percentage of Total Solid Content: %TSC)	26
3.7 การเตรียมสารตัวเติมจากเมล็ดและเปลือกหุ้มยางพารา	26
3.7.1 การเตรียมสารตัวเติมจากเมล็ดยางพารา	26
3.7.2 การเตรียมสารตัวเติมจากเปลือกหุ้มเมล็ดยางพารา	26
3.8 การเตรียมสารเคมีสำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดและเปลือกหุ้มเมล็ดยางพารา	26
3.8.1 การเตรียมสารเคมีและสารละลายสำหรับวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน	27
3.8.2 การเตรียมสารเคมีและสารละลายสำหรับการวิเคราะห์เยื่อใย	27
3.9 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ด และเปลือกหุ้มเมล็ดของยางพารา ..	27
3.9.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนโดยวิธีเจลดทาล (Kjeldahl Method)	28
3.9.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณไขมัน โดยวิธี (Soxhlet Extractor)	29
3.9.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์หาปริมาณเยื่อใย (Crude fiber) และปริมาณเถ้า (Ash)	29
3.10 การเตรียมยางอีพอกไซด์ (Epoxidized Natural Rubber ; ENR)	30
3.11 การทำวัสดุผสมระหว่างน้ำยางธรรมชาติกับสารตัวเติม และน้ำยางอีพอกไซด์กับสารตัวเติม	31
3.12 การวิเคราะห์คุณลักษณะต่างๆของยางธรรมชาติ ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ และวัสดุผสม	31
บทที่ 4 ผลการวิจัย	32
4.1 ปริมาณร้อยละเนื้อยางแห้ง (Percentage of Dry Rubber Content: %DRC) และปริมาณร้อยละของแข็งทั้งหมด (Percentage of Total Solid Content: %TSC)	32
4.1.1 ปริมาณร้อยละเนื้อยางแห้ง (Percentage of Dry Rubber Content: %DRC)	32
4.1.2 ปริมาณร้อยละของแข็งทั้งหมด (Percentage of Total Solid Content: %TSC)	33
4.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีต่างๆของเมล็ด และเปลือกหุ้มเมล็ดยางพารา	33
4.2.1 ปริมาณโปรตีนในเมล็ดและเปลือกหุ้มเมล็ดยางพารา	33

เรื่อง	หน้า
4.2.2 ปริมาณไขมันในเมล็ด และเปลือกหุ้มเมล็ดยางพารา	34
4.2.3 ปริมาณเยื่อใยในเมล็ด และเปลือกหุ้มเมล็ดยางพารา	35
4.2.4 ปริมาณเถ้าในเมล็ด และเปลือกหุ้มเมล็ดยางพารา	35
4.3 การศึกษาโครงสร้างของน้ำยางธรรมชาติ (Natural Rubber : NR) และยาง ธรรมชาติอีพอกไซด์ (Epoxidized natural rubber; ENR)	36
4.4 การกระจายตัวของสารตัวเติมในยางธรรมชาติ และยางธรรมชาติอีพอกไซด์	37
4.5 ความเสถียรทางความร้อนของยางธรรมชาติ และยางธรรมชาติอีพอกไซด์เมื่อ ผสมสารตัวเติม	40
4.5.1 อิทธิพลของสารตัวเติมที่ส่งผลต่อความเสถียรทางความร้อนในยาง ธรรมชาติ และยางธรรมชาติอีพอกไซด์	41
4.5.2 อิทธิพลของชนิดยางธรรมชาติเมื่อผสมด้วยสารตัวเติมที่ส่งผลต่อความ เสถียรทางความร้อน	42
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	45
5.1 สรุปผลการวิจัย	45
5.2 อภิปรายผล	45
5.3 ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้	45
5.4 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป	46
บรรณานุกรม	47
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก	48
ภาคผนวก ข	51
ภาคผนวก ค	52
ภาคผนวก ง	54
ประวัติผู้วิจัย	56

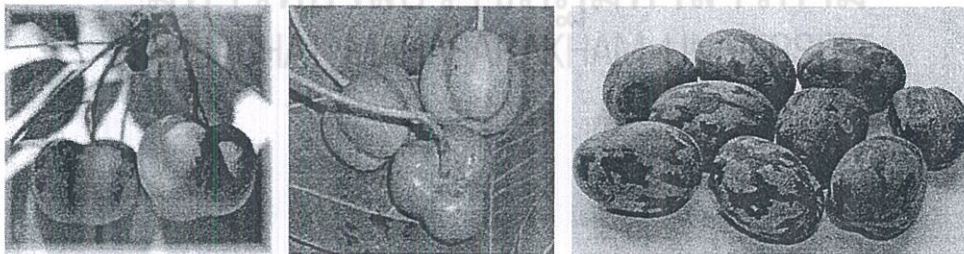
สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ส่วนประกอบของน้ำยาง	6
2.2 ส่วนประกอบของเนื้อยางแห้ง	7
2.3 การใช้งานยางธรรมชาติอ็อกไซค์	16
2.4 ผลวิเคราะห์ส่วนประกอบของเมล็ดยางพาราสดและเนื้อใน (กระเทาะเปลือกแล้ว)	17
2.5 ส่วนประกอบของโกชณะต่างๆในกากเมล็ดยางพาราชนิดมีเปลือกและไม่มีเปลือก	18
2.6 คุณสมบัติด้านทนต่อแรงดึง ของยางธรรมชาติ และวัสดุผสมระดับของยางธรรมชาติที่เชื่อมขวางโมเลกุลกับเส้นใยไฟเบอร์	20
2.7 ค่ามอดูลัสสะสม ของยางธรรมชาติ และวัสดุผสมระดับของยางธรรมชาติที่เชื่อมขวางโมเลกุลกับเส้นใยไฟเบอร์	21
3.1 กลุ่มตัวอย่างของการวิจัย	23
4.1 ปริมาณร้อยละเนื้อยางแห้งในน้ำยางธรรมชาติ (%DRC)	32
4.2 ปริมาณร้อยละของแข็งทั้งหมดในน้ำยางธรรมชาติ	33
4.3 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน	34
4.4 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณไขมัน	34
4.5 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณเยื่อใยในเมล็ด และเปลือกหุ้มเมล็ดยางพารา	35
4.6 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณเถ้าในเมล็ด และเปลือกหุ้มเมล็ดยางพารา	35

สารบัญรูปรูปภาพ

รูปที่	หน้า
1.1 โครงสร้างโมเลกุลยางธรรมชาติ (cis-1,4polyisoprene)	1
1.2 ผล และเมล็ดยางพารา	2
2.1 ต้นยางพารา และการกรีดยางพารา	5
2.2 สูตรโครงสร้างยางธรรมชาติ	10
2.3 โครงสร้างของโมเลกุลที่ประกอบด้วยหมู่อีพอกซี	12
2.4 กลไกการเปิดวงของอีพอกไซด์โดยเบส	12
2.5 กลไกการเปิดวงของอีพอกไซด์โดยกรด	13
2.6 โครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติอีพอกไซด์	14
2.7 กลไกการเกิดปฏิกิริยาอีพอกซีเดชันของยางธรรมชาติกับเปอร์แอซิด	14
2.8 ปฏิกิริยาอีพอกซีเดชันของโมเลกุลยางธรรมชาติโดยใช้กรดฟอร์มิกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	14
2.9 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิคล้ายแก้วที่ระดับหมู่อีพอกไซด์ต่างๆ	15
2.10 กราฟความสัมพันธ์ของค่า stress-strain ที่ได้จากการทดสอบแรงดึงของแผ่นฟิล์มยางผสมกับกับเส้นใยกากอ้อยขนาดนาโนเมตร	19
2.11 กราฟความสัมพันธ์ของค่ามอดูลัสสะสม และอุณหภูมิ ของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่ผสมกับเส้นใย	20
4.1 อินฟราเรดสเปกตรัมของยางธรรมชาติ (Natural rubber; NR) (A) และน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (Epoxidized natural rubber; ENR) (B)	37
4.2 SEM micrograph ของธรรมชาติผสมเมล็ดยางพาราปริมาณ 0.0 0.5 1.0 2.0 และ 4.0phr (A-E) ตามลำดับ และยางธรรมชาติอีพอกไซด์ผสมเมล็ดยางพาราปริมาณ 0.0 0.5 1.0 2.0 และ 4.0phr (F-J) ตามลำดับ	39
4.3 SEM micrograph ยางธรรมชาติผสมเปลือกหุ้มเมล็ดยางพาราปริมาณ 0.0 0.5 1.0 2.0 และ 4.0phr (K-O) ตามลำดับ และยางธรรมชาติอีพอกไซด์ผสมเปลือกหุ้มเมล็ดยางพาราปริมาณ 0.0 0.5 1.0 2.0 และ 4.0phr (P-T) ตามลำดับ	40
4.4 Thermogram ของยางธรรมชาติที่ผสมสารตัวเติมในปริมาณต่างๆ (A) และยางธรรมชาติ อีพอกไซด์ที่ผสมสารตัวเติมในปริมาณต่างๆ (B)	42
4.5 เปรียบเทียบ thermogram ระหว่างยางธรรมชาติ กับยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่ผสมเมล็ดยางพาราในปริมาณต่างๆ (A) และยางธรรมชาติ กับยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่ผสมเปลือกหุ้มเมล็ดยางพาราในปริมาณต่างๆ (B)	44

ที่ได้จะถูกนำไปขึ้นรูปในแม่พิมพ์ภายใต้ความร้อนและความดัน ปฏิกริยานี้เรียกว่า ปฏิกริยาขงรูป หรือ ปฏิกริยาวัลคาไนเซชัน (vulcanization) ยางที่ผ่านการขึ้นรูปนี้ เราเรียกว่า " ยางสุกหรือยางขงรูป " (vulcanizate) ซึ่งสมบัติของยางขงรูปที่ได้นี้จะเสถียร ไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิมากนัก และมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น [2] ถึงแม้ยางธรรมชาติจะมีสมบัติเชิงกลดีขึ้นเมื่อผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์แล้วก็ตามแต่ในด้านการใช้งานจริงยังคงต้องมีการเติมสารตัวเติมประเภทเสริมแรงลงไปในยางธรรมชาติอีก เพื่อเพิ่มคุณสมบัติของยางให้ดีขึ้นตามลักษณะการใช้งาน ยกตัวอย่างเช่น เขม่าดำ (carbon black) และซิลิกา (silica) ใส่ในยางเพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์ยางมีความแข็งแรง โมดูลัส ความทนต่อแรงดึง ทนต่อการฉีกขาด รวมถึงความต้านทานต่อการขูดถูมากขึ้น [3,4] ปัจจุบันได้มีการเน้นการผลิตวัสดุพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ หรือทำมาจากวัสดุทางธรรมชาติ เพื่อลดมลภาวะสิ่งแวดล้อมที่เป็นปัญหาไปทั่วโลก ดังนั้นจึงได้มีการวิจัยเพื่อคิดค้นสารตัวเติมที่เป็นวัสดุทางธรรมชาติ มาทดแทนสารตัวเติมที่เป็นสารเคมีสังเคราะห์ [4] ซึ่งโครงการวิจัยนี้เองก็มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติเชิงความร้อนของยางธรรมชาติให้สูงขึ้น ด้วยสารตัวเติมประเภทเสริมแรงที่ทำมาจากวัสดุทางธรรมชาติ มีราคาถูก หาได้ง่ายในท้องถิ่น จากการสำรวจ และสังเกตบริเวณสวนยางพาราแถบภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ในจังหวัดมหาสารคาม ร้อยเอ็ด และกาฬสินธุ์ พบว่าในช่วงเดือนกันยายน ถึง ตุลาคมจะมีเมล็ดยางพาราร่วงหล่นเป็นจำนวนมาก โดยลักษณะของผลและเมล็ดยางพาราแสดงดังรูปที่ 1.2 จากข้อมูลพบว่าต้นยางหนึ่งต้นจะมีเมล็ดยางพาราประมาณ 150-200 เมล็ด พื้นที่หนึ่งไร่สามารถผลิตเมล็ดยางพาราได้ถึง 133 กิโลกรัม ในปีพ.ศ. 2546 ประเทศไทยมีเมล็ดยางพาราประมาณ 1,269,920 ตัน มีการนำเมล็ดยางพาราไปสกัดน้ำมันประมาณ 152,390 ตัน ผลิตเป็นต้นยางพันธุ์ดีประมาณ 27,938 ตัน เมล็ดยางที่เหลือถูกปล่อยให้เน่าเปื่อยไปประมาณ 1,089,592 ตัน [5] ดังนั้นหากนำเมล็ดยางพาราที่ไม่ใช้ประโยชน์นี้มาเพิ่มมูลค่า โดยการนำมาผลิตเป็นสารเสริมแรงแก่ยางธรรมชาติให้มีสมบัติเชิงความร้อนดีขึ้น ก็จะเป็นการพัฒนาทั้งในด้านการผลิตผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติและด้านการใช้ประโยชน์จากเมล็ดยางพาราให้สูงขึ้นได้ในขณะเดียวกัน



รูปที่ 1.2 ผล และเมล็ดยางพารา

ที่มา: http://www.baanjomyut.com/library_2/extension-3/rubber_tree/04.html

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) เพื่อผลิตสารตัวเติมแก่ยางธรรมชาติ จากเมล็ด และเปลือกนอกเมล็ดของยางพารา
- 2) เพื่อศึกษาคุณสมบัติเชิงความร้อนของยางธรรมชาติ หลังจากการผสมสารตัวเติมที่ผลิตจากเมล็ดยางพารา และเปลือกนอกเมล็ดของยางพารา

1.3 ขอบเขตการวิจัย

- 1) การเตรียมสารตัวเติมให้แก่ยางธรรมชาติจากเมล็ดยางพารา และเปลือกนอกเมล็ดของยางพารา
- 2) นำยางธรรมชาติที่นำมาทำการศึกษาความเสถียรทางความร้อนมี 2 ประเภทคือ น้ำยางธรรมชาติที่ไม่ทำการปรับปรุงโครงสร้าง และน้ำยางธรรมชาติที่ปรับปรุงโครงสร้างให้เป็นยางอิพอกไซค์
- 3) ศึกษาคุณสมบัติความเสถียรทางความร้อนของยางธรรมชาติทั้ง 2 ประเภท ทั้งก่อน และหลังเติมสารตัวเติมที่ทำจากเมล็ด หรือเปลือกนอกเมล็ดของยางพารา

1.4 สมมติฐานการวิจัย

การเติมสารตัวเติมให้แก่ยางธรรมชาติคาดว่าจะทำให้คุณสมบัติทางความร้อนของยางธรรมชาติเพิ่มขึ้น (มีความเสถียรทางความร้อนดีขึ้น) โดยสารตัวเติมที่ทำจากเมล็ด และเปลือกนอกเมล็ดของยางพาราจะส่งผลต่อคุณสมบัติทางความร้อนของยางธรรมชาติแตกต่างกัน และชนิดของน้ำยางธรรมชาติที่นำทดสอบได้แก่ยางพาราที่ไม่ได้ปรับปรุงโครงสร้าง และน้ำยางธรรมชาติอิพอกไซค์ น่าจะส่งผลต่อความเสถียรทางความร้อนที่ต่างกัน

RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

1.5 คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย/(นิยามศัพท์เฉพาะ)

- 1) สารตัวเติม (Filler) คือ วัสดุที่อยู่ในรูปของแข็ง มีขนาดอนุภาคเล็ก ซึ่งอาจเติมลงไปในยาง หรือนำยางธรรมชาติได้ในปริมาณมากเพื่อปรับปรุงสมบัติต่างๆ หรือใช้ในการลดต้นทุนการผลิต [9]
- 2) เสถียรภาพทางความร้อน (Thermal stability) คือ การรักษาสภาพเดิมของวัสดุไว้ได้โดยไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับความร้อน ซึ่งการวิเคราะห์นั้นจะทำโดยการศึกษาการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของวัสดุด้วยเทคนิค Thermogravimetric analysis (TGA) โดยน้ำหนักของวัสดุที่เปลี่ยนแปลงจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิเฉพาะของสารแต่ละชนิด โดยน้ำหนักที่หายไปนั้นเกิดมาจากการระเหย การย่อยสลาย หรือการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ [10]

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ได้ทราบถึงอิทธิพลของสารตัวเติมซึ่งผลิตจากเมล็ด และเปลือกนอกเมล็ดของยางพารา ที่จะส่งผลต่อคุณสมบัติเชิงความร้อนของยางธรรมชาติ โดยจะทำให้มีความเสถียรทางความร้อนของยางธรรมชาติสูงขึ้น
- 2) สามารถลดต้นทุนการผลิตยางได้ เนื่องจากเมล็ดยางพาราเป็นวัสดุเหลือใช้ราคาถูก
- 3) เป็นการพัฒนานวัตกรรมของวงการยางไทย



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ยางธรรมชาติ (Natural Rubber : NR)

ยางธรรมชาติเป็นน้ำยางจากต้นไม้อินตัน มีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งคือยางพาราหรือต้นยางพารา สำหรับยางพารามีถิ่นกำเนิดบริเวณลุ่มน้ำอเมซอน ประเทศบราซิล และเปรู ทวีปอเมริกาใต้ ซึ่งชาวอินเดียนแดงเผ่ามายัน ในอเมริกากลาง ได้รู้จักการนำยางพารามาใช้ก่อนปี พ.ศ. 2000 โดยการจุ่มเท้าลงในน้ำยางดิบเพื่อทำเป็นรองเท้า ส่วนเผ่าอื่นๆ ก็นำยางไปใช้ประโยชน์ ในการทำผ้ากันฝน ทำขวดใส่น้ำ แปะทำลูกบอลอย่างเล่นเกมต่างๆ เป็นต้น จนกระทั่งคริสโตเฟอร์ โคลัมบัสได้เดินทางมาสำรวจทวีปอเมริกาใต้ ในระหว่างปี พ.ศ. 2036-2039 และได้พบกับชาวพื้นเมืองเกาะไฮติที่กำลังเล่นลูกบอลยางซึ่งสามารถกระดอนได้ ทำให้คณะผู้เดินทางสำรวจประหลาดใจจึงเรียกว่า “ลูกบอลผีสิง”

ต่อมาในปี พ.ศ. 2279 นักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศสชื่อชาลส์ มาริเดอลาคองตามีน (Charles Meriede la Condamine) ได้ให้ชื่อเรียกยางตามคำพื้นเมืองของชาวไมกาว่า “คาโอชู” (Caoutchouc) ซึ่งแปลว่าต้นไม้ร้องไห้ และให้ชื่อเรียกของเหลวที่มีลักษณะข้นขาวคล้ายน้ำมันซึ่งไหลออกมาจากต้นยางเมื่อกรีดเป็นรอยแผลว่า ลาเทกซ์ (latex) และใน พ.ศ. 2369 ฟาราเดย์ (Faraday) ได้รายงานว่ายางธรรมชาติเป็นสารที่ประกอบด้วยธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจน มีสูตรเอมไพริคัล คือ C_5H_8 หลังจากนั้นจึงได้มีการปรับปรุงสมบัติของยางพาราเพื่อให้ใช้งานได้กว้างขึ้นเพื่อตอบสนองความต้องการของมนุษย์



รูปที่ 2.1 ต้นยางพารา และการกรีดยางพารา

ที่มา: <http://www.nextsteptv.com/mysci/?p=1359> (10 กันยายน 2557)

2.1.1 ส่วนประกอบของน้ำยาง (Latex)

น้ำยางเป็นของเหลวสีขาวปนเหลืองข้นขึ้นอยู่ในท่อน้ำยางซึ่งเรียงตัวกันอยู่ในเปลือกของต้นยางโดยเฉพาะอย่างยิ่งเปลือกด้านในซึ่งอยู่บนเยื่อเจริญ เอน้ำยางออกจากต้นยางจะต้องทำให้ท่อน้ำยางขาดออกจากกัน ในน้ำยางจะมีส่วนประกอบหลักที่สำคัญอยู่ 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นน้ำยางและส่วนที่ไม่ใช่ยาง ตามปกติในน้ำยางจะมีเนื้อยางแห้งประมาณร้อยละ 25-45

น้ำยางมีความหนาแน่น 0.975-0.980 กรัม/มิลลิลิตร มีพีเอชประมาณ 6.5-7.0 อนุภาคยางมีรูปร่างกลมหรือรูป ลูกแพร์ขนาด 0.05-5 ไมครอน มีอนุภาคต่างๆแขวนลอยอยู่ในของเหลว อนุภาคเหล่านี้มีประจุเป็นลบผลักกันอยู่ตลอดเวลาทำให้อนุภาคเหล่านั้นแขวนลอยและคงสภาพน้ำยางอยู่ได้ จนกว่าจะมีสภาพแวดล้อมและปัจจัยต่างๆมารบกวน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของน้ำยาง

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบของน้ำยาง

ส่วนประกอบ	ปริมาณ %
ปริมาณของแข็งทั้งหมด	ร้อยละ 22-48
ปริมาณเนื้อยางแห้ง	ร้อยละ 20-45
สารจำพวกโปรตีน	ร้อยละ 1.5
สารพวกเรซิน	ร้อยละ 2.0
คาร์โบไฮเดรต	ร้อยละ 1.0
สารอนินทรีย์	ร้อยละ 0.5

(ที่มา : วิชาวิพฒนกุล,2554)

ส่วนประกอบต่างๆในน้ำยางสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆคือ

1. ส่วนที่เป็นเนื้อยาง

1.1 อนุภาคยาง

อนุภาคยางถูกห่อหุ้มด้วยสารจำพวกไขมันและโปรตีนโดยโปรตีนนี้จะอยู่ชั้นนอกและอาจมีโลหะบางชนิด เช่น แมกนีเซียม โพแทสเซียม และทองแดงปะปนอยู่ปริมาณเล็กน้อยประมาณ 0.5% โดยปกติอนุภาคยางจะแขวนลอยในน้ำประกอบด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนมีชื่อทางเคมีว่าซิส-1,4-พอลิไอโซพรีน (cis-1,4 Polyisoprene) มีความหนาแน่นเท่ากับ 0.92 กรัมต่อมิลลิลิตร ลักษณะอนุภาคยางเป็นรูปค่อนข้างทรงกลมมีขนาดอนุภาคแตกต่างกันมากคืออยู่ระหว่าง 0.02 ไมโครเมตร จนถึง 4 ไมโครเมตรอนุภาคยางส่วนใหญ่จะมีขนาดมากกว่า 0.4 ไมโครเมตร โดยมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 1.2 ไมโครเมตรเมื่อนำน้ำยางสดมาปั่นด้วยความเร็วสูงพบว่าอนุภาคยางที่มีขนาดใหญ่จะ

แยกตัวออกจากชั้นน้ำชั้นมาอยู่ด้านบนซึ่งสามารถแยกออกได้เป็นน้ำยางชั้นส่วนอนุภาคยางที่มีขนาดเล็กจะปนอยู่กับหางน้ำยางสามารถแยกออกโดยการทำให้จับตัวเป็นก้อนด้วยกรด

1.2 โพรตีน

ส่วนของสารพวกโปรตีนที่ห่อหุ้มอยู่ตรงผิวรอบนอกของอนุภาคยางมีอยู่ประมาณ 25% ของโปรตีนทั้งหมดที่มีอยู่ในน้ำยาง ส่วนที่เหลือประมาณ 50%จะอยู่ในชั้นน้ำ และอีก 25% จะปะปนอยู่ในส่วนของลูทอยด์

1.3 ไขมัน

ไขมันซึ่งเกาะอยู่ระหว่างผิวของอนุภาคยางและโปรตีนส่วนใหญ่เป็นสารพวกฟอสโฟไลปิดชนิด α -Lecithin เชื่อว่าทำหน้าที่ยึดโปรตีนให้เกาะอยู่บนผิวของอนุภาคยาง

ตารางที่ 2.2 ส่วนประกอบของเนื้อยางแห้ง

ส่วนประกอบ	ปริมาณ (%)
เนื้อยางไฮโดรคาร์บอน	86
น้ำ กระจายอยู่ในเนื้อยาง	10
สารโปรตีน	1
สารพวกไขมัน	3

2. ส่วนที่ไม่ใช่ยาง

2.1 ส่วนที่เป็นน้ำหรือเซรัม

เซรัม (Serum) ของน้ำยางมีความหนาแน่นประมาณ 1.02 กรัมต่อมิลลิลิตร ประกอบด้วยสารชนิดต่างๆคือ

- คาร์โบไฮเดรตเป็นสารพวกแป้งและน้ำตาลมีอยู่ในน้ำยางประมาณ 1% น้ำตาลส่วนใหญ่เป็นชนิดควาซิทอลมีน้ำตาลชนิดกลูโคสซูโครสฟรุคโตสปริมาณเล็กน้อย
- โปรตีนและกรดอะมิโนเป็นส่วนที่อยู่ในเซรัมของน้ำยางส่วนใหญ่เป็นโปรตีนประเภทอัลฟาไกลูโบลิน

2.2 ส่วนของลูทอยด์และสารอื่น

- ลูทอยด์มีลักษณะเป็นอนุภาคค่อนข้างกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.5 - 3 ไมครอนห่อหุ้มด้วยเยื่อบางๆภายในเยื่อบางๆจะมีทั้งสารละลายและสารแขวนลอยมีค่า pH = 5.5 ส่วนใหญ่ประกอบด้วยโปรตีนโดยมีโปรตีนที่ละลายน้ำอยู่ประมาณ 3% และมีส่วนของโปรตีนที่ไม่ละลายน้ำอยู่ประมาณ 2%

- อนุภาคเฟรย์-วิสลิง (Frey - wyssling) เป็นสารที่ไม่ใช่ยางมีขนาดอนุภาคใหญ่กว่ายางแต่ความหนาแน่นน้อยกว่ามีรูปร่างค่อนข้างกลมมีผนังล้อมรอบสองชั้นมีปริมาณไม่มากนัก

ประกอบด้วยสารเม็ดสีพวกคาร์โบไดรด์ซึ่งทำให้ยางมีสีเหลืองเข้มสามารถรวมตัวกับแอมโมเนียและแยกตัวออกจากยางมาอยู่ในส่วนของเซรุ่มน้ำยางสดที่กรี๊ดได้จากต้นยางจะคงสภาพความเป็นน้ำยางอยู่ได้ไม่เกิน 6 ชั่วโมง

เนื่องจากแบคทีเรียในอากาศและจากเปลือกของต้นยางขณะกรี๊ดยางจะลงไปใต้น้ำยางและสารอาหารที่อยู่ในน้ำยางเช่นโปรตีนน้ำตาลฟอสโฟไลปิดโดยแบคทีเรียจะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นหลังจากแบคทีเรียกินสารอาหารคือจะเกิดการย่อยสลายได้เป็นก๊าซชนิดต่างๆเช่นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก๊าซมีเทนเริ่มเกิดการบูดเน่าและส่งกลิ่นเหม็นการที่มีกรดที่ระเหยง่ายเหล่านี้ในน้ำยางเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ค่า pH ของน้ำยางเปลี่ยนแปลงลดลงดังนั้นน้ำยางจึงเกิดการสูญเสียสภาพซึ่งสังเกตได้จากน้ำยางจะค่อยๆหนืดขึ้นเนื่องจากอนุภาคของยางเริ่มจับตัวเป็นเม็ดเล็กๆและจับตัวเป็นก้อนใหญ่ขึ้นจนน้ำยางสูญเสียสภาพโดยน้ำยางจะแยกเป็น 2 ส่วนคือส่วนที่เป็นเนื้อยางและส่วนที่เป็นเซรุ่มดังนั้นเพื่อป้องกันการสูญเสียสภาพของน้ำยางไม่ให้อนุภาคของเม็ดยางเกิดการรวมตัวกันเองตามธรรมชาติจึงมีการใส่สารเคมีลงไปใต้น้ำยางเพื่อเก็บรักษาน้ำยางให้คงสภาพเป็นของเหลวโดยสารเคมีที่ใช้ในการเก็บรักษาน้ำยางเรียกว่าสารป้องกันการจับตัว (Anticoagulant) ได้แก่แอมโมเนียโซเดียมซัลไฟด์ฟอร์มาลดีไฮด์เป็นต้นเพื่อที่รักษาน้ำยางไม่ให้สูญเสียสภาพการนำยางธรรมชาติไปใช้งานมีอยู่ 2 รูปแบบคือในรูปน้ำยางและรูปยางแห้งในรูปแบบนี้ น้ำยางสดจะถูกนำมาแยกน้ำออกเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของเนื้อยางโดยการใช้เครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็วรอบสูงในขณะเตรียมยางแห้งนั้นใช้วิธีการใส่กรดอะซิติกลงในน้ำยางสดการใส่กรดอะซิติกเจือจางลงในยางทำให้น้ำยางจับตัวเป็นก้อนเกิดการแยกชั้นระหว่างเนื้อยางและน้ำส่วนน้ำที่ปนอยู่ในยางจะถูกกำจัดออกไปโดยการรีดด้วยลูกกลิ้ง 2 ลูกกลิ้ง

2.1.2 รูปแบบของยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติสามารถแบ่งออกเป็นหลายประเภท ตามลักษณะรูปแบบของยางดิบได้แก่

1) น้ำยาง

-น้ำยางสด หมายถึง น้ำยางที่กรี๊ดได้จากต้นจะเรียกว่าน้ำยางสด

-น้ำยางข้น หมายถึง น้ำยางธรรมชาติที่ผ่านกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นโดยน้ำยางธรรมชาติที่ผ่านกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นแล้วจะมีปริมาณเนื้อยางร้อยละ 55-65 ซึ่งสูงกว่าน้ำยางที่มีปริมาณร้อยละ 25-30 ทำให้สามารถทำการขนส่งได้ง่ายขึ้น

2) ยางแผ่นผึ่งแห้ง ยางที่ได้จากการนำน้ำยางมาจับตัวเป็นแผ่น โดยสารเคมีที่ใช้จะต้องตามเกณฑ์ที่กำหนดส่วนการทำให้แห้งอาจใช้วิธีการผึ่งลมในที่ร่ม

3) ยางเครพ เป็นยางที่ได้จากการนำเอาเศษยางไปรีดด้วยเครื่องรีดยางสองลูกกลิ้ง โดยทั่วไปเรียกว่าเครื่องเครพ จะมีการใช้น้ำในการทำความสะอาดในระหว่างการรีดเพื่อนำสิ่งสกปรกออกจากยางในขณะที่รีดยางเนื่องจากยางที่ใช้โดยมากเป็นยางที่มีมูลค่าต่ำมีสิ่งสกปรกเจือปน

ค่อนข้างมาก เช่น น้ำยางสกิมเศษกันถ้วย เศษยางที่ติดบนเปลือกไม้หรือติดบนดิน และเศษยางที่ได้จากการผลิตยางแผ่นรมควันเป็นต้นหลังจากรีดในเครื่องเครพแล้วจะนำยางไปผึ่งแห้งหรืออบแห้งด้วยลมร้อน ยางเครพที่ได้จะมีสีค่อนข้างเข้ม และมีหลายรูปแบบเช่น ยาง Brown crepe, flat bark crepe, skim crepe และ blanket crepe เป็นต้นทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับความบริสุทธิ์และชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตส่วนยางเครพขาวเป็นยางเครพที่ได้มาจากน้ำยางที่มีการกำจัดสารเกดสีในน้ำยางคือ สารเบต้าแคโรทีน ซึ่งมีสีเหลืองอ่อนโดยการฟอกสียางให้มีสีขาวด้วยสารเคมีก่อนจะทำให้ยางจับตัวกันเป็นก้อนด้วยกรดยางเครพขาวเป็นยางที่มีคุณภาพและราคาค่อนข้างสูง

4) ยางแท่ง ก่อนปี 2508 ยางธรรมชาติที่ผลิตขึ้นมาส่วนใหญ่จะผลิตในรูปของยางแผ่นรมควัน ยางเครพหรือน้ำยางข้นซึ่งยางธรรมชาติเหล่านี้จะไม่มีกระบวนการมาตรฐานการจัดชั้นยางที่ชัดเจนตามปกติจะใช้สายตาในการพิจารณาตัดสินชั้นยาง ต่อมาในปี 2508 สถาบันวิจัยยางมาเลเซียได้มีการผลิตยางแท่งขึ้นเป็นแห่งแรก เพื่อเป็นการปรับปรุงและพัฒนาคุณภาพของยางธรรมชาติให้เหมาะสมกับการใช้งานจนทำให้ยางแท่งเป็นยางธรรมชาติชนิดแรกที่ผลิตมาโดยมีการควบคุมคุณภาพให้ได้มาตรฐานตลอดจนมีการระบุคุณภาพของยางดิบที่ผลิตได้แน่นอน

5) ยางแท่งความหนืดคงที่ เป็นยางที่ผลิตขึ้นมาเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมที่ต้องการควบคุมความหนืดของยางที่ใช้ในการแปรรูป เช่น อุตสาหกรรมยางแท่ง อุตสาหกรรมทำกาว เป็นต้น 6.ยางสกิมเป็นยางธรรมชาติที่ได้จากการจับตัวน้ำยางสกิมด้วยกรดแล้วนำยางที่ได้ไปทำการรีดแผ่นและทำให้การเซนตริฟิวส์แยกอนุภาคเม็ดยางออกจากน้ำ ซึ่งอนุภาคเม็ดยางเบากว่าน้ำส่วนใหญ่ออกไปแล้วยังมีส่วนของเนื้อยางออกมาด้วย ซึ่งมีอนุภาคขนาดเล็กๆมีปริมาณเนื้อยางอยู่ร้อยละ 3-6 ยางสังเคราะห์ได้มีการผลิตมานานแล้ว ตั้งแต่ ค.ศ.1940 ซึ่งสาเหตุที่ทำให้มีการผลิตยางสังเคราะห์ขึ้นในอดีต เนื่องจากการขาดแคลนยางธรรมชาติที่ใช้ในการผลิตยางสังเคราะห์เพื่อให้ได้ยางที่มีคุณสมบัติตามต้องการในการใช้งานที่สภาวะต่างๆ เช่น ที่สภาวะทนต่อน้ำ ทนความร้อน ทนความเย็น เป็นต้น การใช้งานยางสังเคราะห์จะแบ่งตามการใช้งานออกเป็น 2 ประเภทคือ

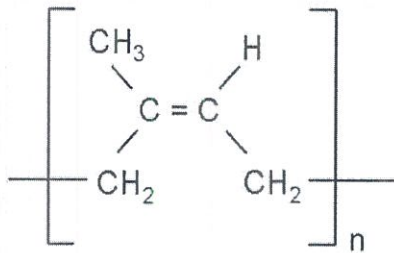
- ยางสำหรับงานทั่วไป (commodity rubber)
- ยางสำหรับงานสภาวะพิเศษ (specialty rubber)

ยางสังเคราะห์มีทั้งหมด 5 ชนิด คือ

1. ยางบิวไทล์
2. ยางบิวตาไดอิน
3. ยางสไตรีนบิวตาไดอิน
4. ยางซิลิโคน
5. ยางคลอโรพรีน

2.1.3 โครงสร้างโมเลกุลและสมบัติของยางพารา

โครงสร้างทางเคมียางธรรมชาติมีชื่อทางเคมี cis-1,4-polyisoprene กล่าวคือมี isoprene (C_5H_8) โดยที่ n มีค่าตั้งแต่ 15-20,000 เนื่องจากประกอบเป็นไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นจึงละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เบนซีน เฮกเซน เป็นต้น โดยทั่วไปยางธรรมชาติโครงสร้างการจัดการจัดเรียกตัวโมเลกุลแบบอสัณฐาน แต่ในบางสภาวะโมเลกุลของยางสามารถจัดเรียงตัวค่อนข้างเป็นระเบียบที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้ยางมีสมบัติเชิงกลดี นั่นคือ ยางจะมีความทนทานต่อแรงดึง ทนทานต่อการฉีกขาด และความทนต่อความร้อนสูง



รูปที่ 2.2 สูตรโครงสร้างยางธรรมชาติ

ที่มา : <http://www.electron.rmutphysics.com>

2.1.4 สมบัติยางธรรมชาติ

คุณสมบัติของยางธรรมชาติ 7 มีดังนี้

1) ยางธรรมชาติมีสมบัติดีเยี่ยมในด้านการทนต่อแรงดึง แม้ไม่ได้เติมสารเสริมแรงและมีความยืดหยุ่นสูงมากจึงเหมาะที่ใช้ในการผลิตภัณฑ์บางชนิดเช่น ถุงมือยาง ถุงยางอนามัย ยางรัดของ เป็นต้น

2) ยางธรรมชาติมีสมบัติเชิงพลวัตที่ดีมีความยืดหยุ่นสูงในขณะที่มีความร้อนภายใน ที่เกิดขึ้นงานต่ำ และมีสมบัติการเหนียวติดกันที่ดีจึงเหมาะสำหรับการผลิตยางรถบรรทุก ยางล้อเครื่องบินหรือใช้ผสมกับยางสังเคราะห์ในการผลิตยางรถยนต์

3) ยางธรรมชาติมีความต้านทานต่อการฉีกขาดสูงทั้งที่อุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิสูงจึงเหมาะสำหรับการผลิตกระเปาะน้ำร้อนเพราะในการแกะชิ้นงานออกจากเบ้าในระหว่างกระบวนการผลิตจะต้องดึงชิ้นงานออกจากเบ้าพิมพ์ในขณะที่ร้อนยางที่ใช้จึงต้องมีความต้านทานต่อการฉีกขาดขณะร้อนสูง

4) ความยืดหยุ่นยางธรรมชาติมีความยืดหยุ่นสูง เมื่อแรงภายนอกที่มากระทำกับมันหมดไป ยางก็จะกลับสู่รูปร่างและขนาดเดิม หรือใกล้เคียง อย่างรวดเร็ว

5) สมบัติทางกายภาพ มีค่าความถ่วงจำเพาะของยางธรรมชาติที่ 29 องศาเซลเซียสเท่ากับ 0.934 และมีค่าเพิ่มขึ้นถ้าอย่างถูกแช่แข็ง หรือถูกยัด ค่าความร้อนจำเพาะ 20 องศาเซลเซียสเท่ากับ 0.502 มีความต้านทานไฟฟ้า 1015 โอห์มเซนติเมตร ซึ่งใช้เป็นฉนวนไฟฟ้าได้ดี

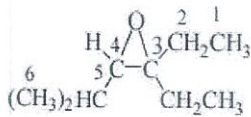
6) ความสามารถในการแปรรูป ยางธรรมชาติมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยสูงทำให้แปรรูปได้ยาก จึงต้องทำการบดก่อนแปรรูปทุกครั้ง การบดยางทำให้น้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติลดต่ำ ทำให้อย่างนี้มันลงแต่อาจทำให้เกิดปัญหาต่างๆ เช่นในกรณีการอัดเข้าจะเกิดอากาศซัง ในยางได้ง่าย นอกจากนี้ยางธรรมชาติความเหนียวติดที่ตี โหลได้ง่าย และมีความต้านทานสูงต่อการฉีกขาดที่อุณหภูมิสูงได้ดี จึงไม่มีปัญหาในการผลิตภัณฑ์ยางโดยการอัดเข้า

7) พฏิกิริยาในตัวทำลาย ยางธรรมชาติสามารถเกิดการบวมพองและละลายระดับการเชื่อมโยงตั้งนั้นการเชื่อมโยงทางเคมีจะช่วยปรับปรุงความทนทานต่อการบวมพองในตัวทำลายยางธรรมชาติได้แม้ว่ายางธรรมชาติมีสมบัติที่ดีเหมาะสำหรับการผลิต ผลิตภัณฑ์ต่างๆมากมายแต่ยางธรรมชาติก็มีข้อเสียหลักคือ การเสื่อมสภาพเร็วภายใต้แสงแดด ออกซิเจน โอโซน และความร้อน เนื่องจากโมเลกุลธรรมชาติมีพันธะคู่อยู่มาก ทำให้อย่างว่องไวต่อปฏิกิริยากับออกซิเจนและโอโซน โดยมีแสงแดดและความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นในระหว่างการผลิต ผลิตภัณฑ์จึงต้องมีการเติมสารเคมีบางชนิดเพื่อยืดอายุการใช้งาน นอกจากนี้ยางธรรมชาติยังมีประสิทธิภาพการทนต่อสารละลายไม่มีขี้ น้ำมัน และสารเคมีต่ำ จึงไม่สามารถใช้ในการผลิตภัณฑ์ที่ต้องสัมผัสกับสิ่งต่าง

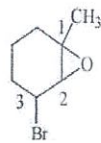
2.2 อีพอกไซด์ (Epoxydes)

อีพอกไซด์ คือ สารประกอบไซคลิกอีเธอร์ชนิดหนึ่งจัดอยู่ในสารประกอบเฮเทอโรไซคลิกอีพอกไซด์เป็นสารประกอบที่มีสองอะตอมของคาร์บอนกับหนึ่งออกซิเจนอะตอม การเรียกชื่ออีพอกไซด์แบ่งออกเป็น 2 ระบบ คือ

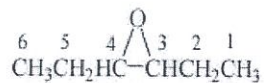
1. ระบบ epoxy ให้ -O- เป็นหมู่แทนที่บนสายโซ่ C โดยระบุตำแหน่งของ C สร้างพันธะอยู่กับ -O-
2. แบบ oxirane ยางอีพอกไซด์เป็นหลัก โดยให้ O เป็นตำแหน่งที่ 1 ตัวอย่างเช่น



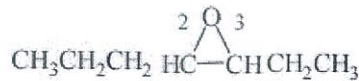
3-ethyl-5-methyl-3,4-epoxyhexane



3-bromo-1,2-epoxy-1-methylcyclohexane



3,4-epoxyhexane

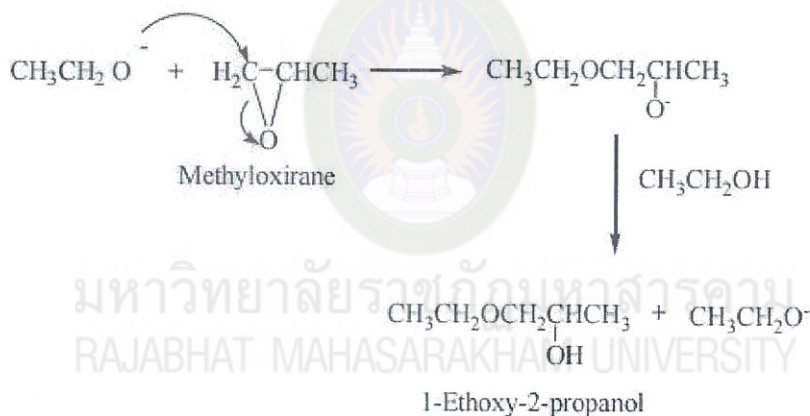


3-ethyl-2-propyloxirane

รูปที่ 2.3 โครงสร้างของโมเลกุลที่ประกอบด้วยหมู่อีพอกไซด์

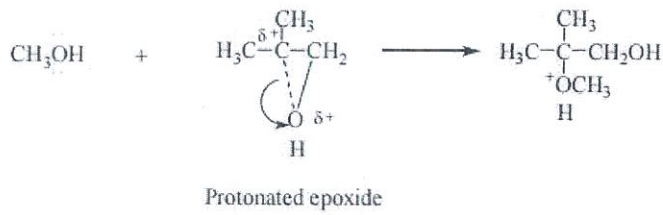
2.2.1 ปฏิริยาการเปิดวงของอีพอกไซด์

อีพอกไซด์ที่เป็นแบบไม่สมมาตร ในกรณี Base-catalyzed ring opening การ Alkoxide ion ชนิดที่อะตอมของคาร์บอนที่มีหมู่แทนที่น้อย ตัวอย่างเช่น ปฏิริยาของ Methyloxirane กับ Alkoxide ion โดยส่วนใหญ่เกิดที่อะตอมคาร์บอนปฐมภูมิ



รูปที่ 2.4 กลไกการเปิดวงของอีพอกไซด์โดยเบส

Acid-catalyzed ring opening ของอีพอกไซด์ที่ไม่สมมาตร เมื่อทำปฏิริยาโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิริยาจะเข้าชนตำแหน่งคาร์บอนที่มีหมู่แทนที่มาก ตัวอย่างเช่น



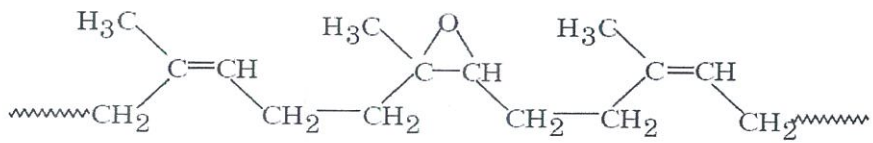
รูปที่ 2.5 กลไกการเปิดวงของอีพอกไซด์โดยกรด

2.3 ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (Epoxidized natural rubber, ENR)

ยางธรรมชาติอีพอกไซด์สามารถเตรียมได้จากการดัดแปลงโมเลกุลของยางธรรมชาติโดยผ่านปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน (Epoxidation) ทำให้เกิดวงแหวนอีพอกไซด์หรือวงแหวนออกซิเรน (Oxirane ring) ตรงตำแหน่งพันธะคู่ของโมเลกุลยางธรรมชาติ ซึ่งสามารถปรับปรุงหรือเพิ่มสมบัติความทนต่อน้ำมัน และความต้านทานต่อการซึมผ่านของอากาศ ทำให้สามารถประยุกต์ใช้งานยางธรรมชาติในอุตสาหกรรมต่างๆ ได้แพร่หลายมาก จากการศึกษาพบว่ายางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่มีปริมาณหมู่อีพอกไซด์ 50 โมลเปอร์เซ็นต์ (ENR-50) สามารถทนต่อน้ำมันและต้านทานต่อการซึมผ่านของอากาศได้เทียบเท่ากับสังเคราะห์บางชนิด เช่น ยางคลอโรพรีนและยางบิวไทล์ นอกจากนี้ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ยังสามารถเกิดการจัดเรียงสายโซ่โมเลกุลในขณะที่ดึงยึดเป็นผลึกได้ เช่นเดียวกับยางธรรมชาติที่ไม่ดัดแปลงโมเลกุลทำให้ยางธรรมชาติอีพอกไซด์มีความต้านทานต่อแรงดึง

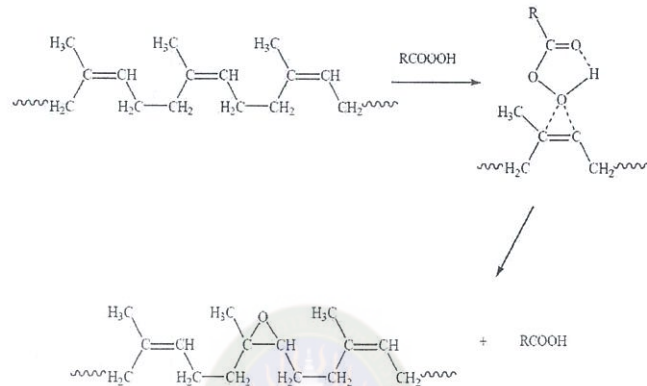
2.3.1 ปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน

การเตรียมยางธรรมชาติอีพอกไซด์จากปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันเริ่มต้นครั้งแรกในปี ค.ศ 1922 แต่ยังไม่มีการผลิตในเชิงการค้า และการใช้งานยางธรรมชาติอีพอกไซด์ยังไม่เป็นที่นิยมจนกระทั่งปี ค.ศ 1980 ปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันสามารถทำได้หลายวิธี ทั้งในสภาวะสารละลายและสภาวะที่เป็นน้ำ ยาง แต่ในเชิงการค้ามักผลิตในสภาวะน้ำยาง โดยใช้วิธีการเติมกรดฟอร์มิกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งทำให้เกิดเปอร์ฟอร์มิกในระหว่างปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน (in-situ Performicepoxidation) โดยควบคุมสภาวะในการเตรียมอย่างระมัดระวัง เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปฏิกิริยาการเปิดวงแหวนอีพอกไซด์ น้ำยางธรรมชาติที่นำมาใช้จะต้องนำมาทำให้มีความเสถียรต่อกรดเสียก่อน โดยการเติมสารช่วยเพิ่มความเสถียรชนิดที่ไม่มีประจุ (Non-ionic surfactant) จากนั้นจึงนำมาทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส น้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่ได้มาปรับสภาพให้เป็นกลาง หลังจากนั้นจับตัวด้วยเมทานอล ล้างด้วยน้ำแล้วอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ยางธรรมชาติอีพอกไซด์มีสูตรโครงสร้างแสดงดังนี้



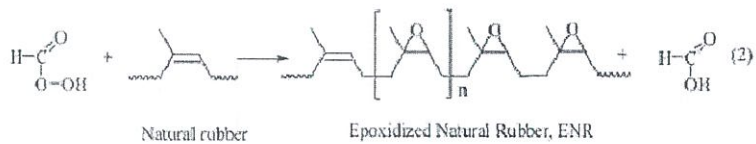
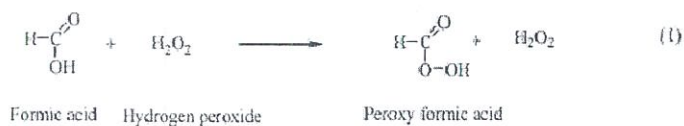
รูปที่ 2.6 โครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติอิพอกไซด์

นอกจากนี้สามารถใช้กรดเปอร์ออกซี(Peroxy acid)หรือเปอร์แอซิด(Peracid)ในการทำปฏิกิริยาอิพอกซิเดชันในสภาวะน้ำยางโดยกลไกปฏิกิริยาเริ่มจากการเกิดแรงดึงดูดของขั้วลบตรงตำแหน่งพันธะคู่ ทำให้เกิดสถานะทรานซิชันไบไซคลิก (Bicyclic transition state) หลังจากนั้นเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ได้โมเลกุลที่มีหมู่อิพอกไซด์ และกรดกลไกการเกิดปฏิกิริยาอิพอกซิเดชันของยางธรรมชาติกับเปอร์แอซิด แสดงปฏิกิริยาดังนี้



รูปที่ 2.7 กลไกการเกิดปฏิกิริยาอิพอกซิเดชันของยางธรรมชาติกับเปอร์แอซิด

กรดที่นิยมใช้ในปฏิกิริยาอิพอกซิเดชัน ได้แก่ เปอร์อะซิติค หรือกรดเปอร์ฟอร์มิก ซึ่งในการทดลองอาจจะเตรียมเปอร์แอซิดก่อน หรืออาจจะใช้แบบการเกิดเปอร์แอซิดในขณะที่ทำปฏิกิริยาอิพอกซิเดชัน (in-situ Epoxidation) ปฏิกิริยาอิพอกซิเดชันของโมเลกุลยางธรรมชาติโดยใช้กรดฟอร์มิกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ แสดงปฏิกิริยาดังนี้

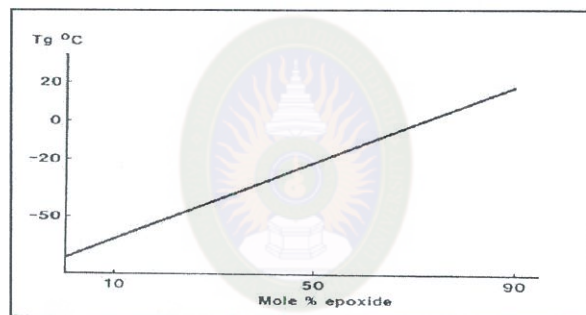


รูปที่ 2.8 ปฏิกิริยาอิพอกซิเดชันของโมเลกุลยางธรรมชาติโดยใช้กรดฟอร์มิกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

2.3.2 สมบัติและการใช้งานของยางธรรมชาติอีพอกไซด์

2.3.2.1 สมบัติของยางธรรมชาติอีพอกไซด์

ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (Epoxidized Natural Rubber; ENR) จะมีสภาพความเป็นขี้เพิ่มขึ้นตามปริมาณหมู่อีพอกไซด์ที่มีในโครงสร้างโมเลกุล ส่วนความสามารถในการละลายของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ ขึ้นอยู่กับระดับของการเกิดอีพอกซิเดชัน และชนิดของตัวทำละลาย ซึ่งยางธรรมชาติอีพอกไซด์สามารถละลายได้ง่ายขึ้นหากมีการบดขยักก่อน ตัวทำละลายที่เหมาะสมได้แก่ โทลูอีน คลอโรฟอร์ม และเตตระไฮโดรฟิวแรน (THF) เป็นต้น การเกิดหมู่อีพอกไซด์ที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 1 เปอร์เซ็นต์โมล บนโมเลกุลยางธรรมชาติ จะทำให้ค่าอุณหภูมิคล้ายแก้ว (Glass transition temperature, T_g) เพิ่มขึ้น 0.93 องศาเซลเซียสซึ่งพบว่า ENR-25 มีค่าอุณหภูมิคล้ายแก้วประมาณ -47 องศาเซลเซียสและ ENR-50 มีค่าอุณหภูมิคล้ายแก้วประมาณ -22 องศาเซลเซียสดังนั้น สามารถนำค่าอุณหภูมิคล้ายแก้วมาใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณหมู่อีพอกไซด์ในโครงสร้างโมเลกุลได้ นอกจากนี้ยังพบว่าในกรณีที่เกิดการเปิดวงแหวนอีพอกไซด์ จะมีช่วงของการทรานซิชันที่กว้าง การเปลี่ยนแปลงของค่าอุณหภูมิคล้ายแก้วจะส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิคล้ายแก้วที่ระดับหมู่อีพอกไซด์ต่างๆ

RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

2.3.2.2 การประยุกต์ใช้งานยางธรรมชาติอีพอกไซด์

จากสมบัติเด่นหลายประการของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ทำให้สามารถทำผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย ตัวอย่างการใช้งานยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (ENR-25 และ ENR-50) แสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 การใช้งานยางธรรมชาติอพอกไซด์

สมบัติเด่น	การใช้งาน	เกรดของยาง ENR
- ทนทานต่อน้ำมัน	ท่อ ข้อต่อ และสายยาง	ENR-25, ENR-50
- การซึมผ่านอากาศต่ำ	เบลตเตอร์ยางใน เคลือบ ภายในท่อ	ENR-25
- เสริมประสิทธิภาพได้ด้วยซิลิกา	ใช้งานที่ต้องการความแข็งแรง สูงแต่ไม่ต้องการ	ENR-25
- มีความต้านทานต่อการหมุนต่ำ	ให้เป็นสีดำ	
- การหน่วง	ดอกยางรถยนต์ พื้นยางพื้น รองเท้ากีฬา	ENR-25, ENR-50
- การติด	ป้องกันการสั่นของเครื่อง และใช้งานกับเครื่องกลทาง วิศวกรรม	ENR-25, ENR-50
	กาว เคลือบสายพาน PVC	PVC ENR-25, ENR-50

2.4 เมล็ดยางพารา (Para rubber seed)

คือส่วนที่จะนำไปเป็นวัตถุดิบในการผสมในสูตรอาหาร เมล็ดยางพาราจะมีสีน้ำตาลลายขาว คล้ายสีเมล็ดละหุ่ง มีขนาดยาวประมาณ 2-2.5 เซนติเมตรกว้างประมาณ 1.5-2.5 เซนติเมตร และหนัก 3.6 กรัม เมล็ดยางพาราจะมีเปอร์เซ็นต์ความงอกน้อยลงทุกวันๆ ละ 4-5% หลังจากที่ร่วงหล่นลงมา นั่นคือ เมล็ดยางจะรักษาความงอกไว้ได้ประมาณ 20 วันเท่านั้น

- เมล็ดยางสด 1 ปีบ จะมีน้ำหนัก 9-10 กิโลกรัม
- เมล็ดยางสด 1 กิโลกรัม
- เมล็ดยางสด 1 กระสอบ จะมีน้ำหนัก 55-60 กิโลกรัม หรือ 10,000-12,000 เมล็ด

2.4.1 กากเมล็ดยางพารา (Shellpara rubber)

เมล็ดยางพาราที่กะเทาะเปลือกหลังจากแยกเอาส่วนที่เป็นยางออกไปเพื่อทำยางพาราแล้ว กากสามารถนำมาเป็นอาหารสัตว์ได้โดยใช้เป็นแหล่งโปรตีนเพราะมีกากเหลือมากถึง 53% ดังตารางที่

2.4

ตารางที่ 2.4 ผลวิเคราะห์ส่วนประกอบของเมล็ดยางพาราสดและเนื้อใน (กระทาะเปลือกแล้ว)

ส่วนประกอบในเมล็ดยางพาราสด (%)		ส่วนประกอบเนื้อในเมล็ดยางพารา (%)	
เปลือก	34.1	น้ำมัน	42.0
เนื้อใน	41.2	ความชื้น	5.0
ความชื้น	100.0	กากที่แยกน้ำมันแล้ว	100.0

คุณสมบัติ

1. กากเมล็ดยางพาราชนิดมีเปลือกมีโปรตีน 16%
2. กากเมล็ดยางพาราชนิดกระทาะเปลือก มีโปรตีน 26-29%
3. โปรตีนในกากเมล็ดยางพารามีคุณภาพใกล้เคียงกับกากถั่วลิสง เนื่องจากมีกรดอะมิโน
4. เมทไธโอนีนต่ำ แต่มีไลซีนสูง

กากเมล็ดยางพาราที่จะนำมาเลี้ยงสัตว์จำเป็นต้องที่จะต้องกระทาะเปลือกออก เนื่องจากไม่น่ากินและสามารถทำลายทางเดินอาหารของสัตว์ได้กรดอะมิโนในเมล็ดยางพารามีคุณค่าใกล้เคียงกับกากถั่วเหลืองแต่มี Methionine ต่ำกว่าและเนื้อในของเมล็ด (Kernel) มีสารพิษ Cyanogenic glucoside ซึ่งสารนี้จะสลายตัวได้ง่าย ให้ HCN ออกมาในเมล็ดสดจะมีสารนี้สูงถึง 200 มล./100 กรัม แต่สารนี้จะลดลงไปเรื่อยๆ ตามอายุการเก็บ สารพิษนี้สามารถทำลายได้โดยความร้อนหรือกรรมวิธีสกัดน้ำมันออกจากเมล็ด หรือการหมักโดยเชื้อรา *Aspergillus* sp

ข้อแนะนำในการใช้

1. ควรใช้กากเมล็ดยางพาราที่ผ่านขั้นตอนการลดสารพิษดังกล่าวโดยวิธีการ เช่น ใช้กากเมล็ดยางพาราที่ได้จากการเก็บเมล็ดสดไว้เป็นเวลานานก่อนนำมาบิบน้ำมันหรือ การให้ความร้อนแก่เมล็ดยางพาราก่อนบิบน้ำมัน
2. ควรใช้กากเมล็ดยางพาราระดับต่ำในสูตรอาหาร คือ 10% ในสัตว์เล็ก และ 20-30% ในสัตว์ระยะรุ่น-ขุน และต้องเสริมไขมันหรือปรับระดับพลังงานให้พอเพียงด้วย

การนำไปใช้ [5]

สามารถนำไปใช้เลี้ยงสุกรได้สูงถึง 20-25% ในสูตรอาหารแต่ให้ผลดีที่สุดที่ระดับ 10% ในไก่กระหงและไก่ไข่ที่ระดับ 20% ไม่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตตามปกติ และการให้ไข่แต่อย่างใด ในสุกรขุนหากมีการปรับปรุงสูตรให้เหมาะสมสามารถใช้ได้ถึง 50% โดยไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพเนื้อและการเพิ่มน้ำหนักตัว ซึ่งส่วนประกอบของโภชนะต่างๆ ในกากเมล็ดยางพาราได้แสดงในตารางที่

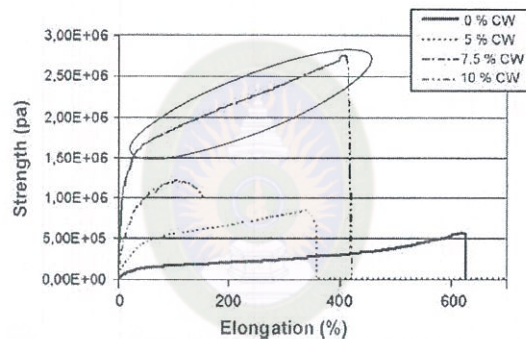
ตารางที่ 2.5 ส่วนประกอบของโภชนะต่างๆในกากเมล็ดยางพาราชนิดมีเปลือกและไม่มีเปลือก (คิดจากวัตถุดิบแห้ง, เปอร์เซ็นต์)

ส่วนประกอบ	กากยางพารา มีเปลือก	กากยางพาราไม่มีเปลือก	
		อัดน้ำมัน	สกัดน้ำมัน
โปรตีน	15.6	29.12	37.8
ไขมัน	6.33	12.47	-
เยื่อใย	41.92	9.39	3.9
เถ้า	0.002	5.29	5.3
ไซยาไนด์	4390	0.00172	-
Gross energy (Kcal/kg)	0.22	4713	-
แคลเซียม	0.26	0.28	-
ฟอสฟอรัส	-	0.57	-

กากเมล็ดยางพาราทุกชนิดมีสารพิษกรดไฮโดรไซยานิค ประเภทเดียวกับที่พบในมันเส้น การเก็บกากเมล็ดยางพาราไว้เฉยๆเป็นเวลา 1 เดือน สามารถลดปริมาณสารพิษดังกล่าวได้กว่า 90% การอบกากเมล็ดยางพาราด้วยความร้อน 100 องศาเซลเซียส นาน 18 ชั่วโมง สามารถลดปริมาณสารพิษได้ราว 85% หรือการผึ่งกากเมล็ดยางพารากลางแดดจัดเป็นเวลา 2 แดด สามารถลดปริมาณสารพิษลงได้ประมาณ 55% ดังนั้นก่อนจะใช้กากเมล็ดยางพาราเป็นอาหารสัตว์ จึงควรจะผ่านกรรมวิธีลดสารพิษวิธีใดวิธีหนึ่งดังกล่าวข้างต้นเสียก่อน กากเมล็ดยางพาราที่ผลิตได้ในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นชนิดไม่กะเทาะเปลือก มีปริมาณเยื่อใยและไขมันในระดับสูง การใช้กากเมล็ดยางพาราชนิดนี้ระดับสูงในสูตรอาหารจะทำให้อาหารมีลักษณะฟ้าม สัตว์กินอาหารได้น้อย การเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารเลวลง นอกจากนี้ไขมันในซากสัตว์เมื่อเจียวแล้วจะมีกลิ่นน้ำมันยางด้วย กากเมล็ดยางพาราควรจะใช้ในสูตรอาหารสุกรตั้งแต่ระยะเจริญเติบโต(นน. 20 กก.)เป็นต้นไป และสามารถใช้ได้สูงสุด 30% ในสูตรอาหาร ลูกไก่และไก่รุ่น ไก่ไข่ สามารถใช้กากเมล็ดยางพาราในสูตรอาหารได้ในระดับสูงสุด 10-15 และ 25% ตามลำดับ ทั้งนี้ต้องปรับพลังงานในสูตรอาหารให้เพียงพอแก่ความต้องการของสัตว์ด้วย

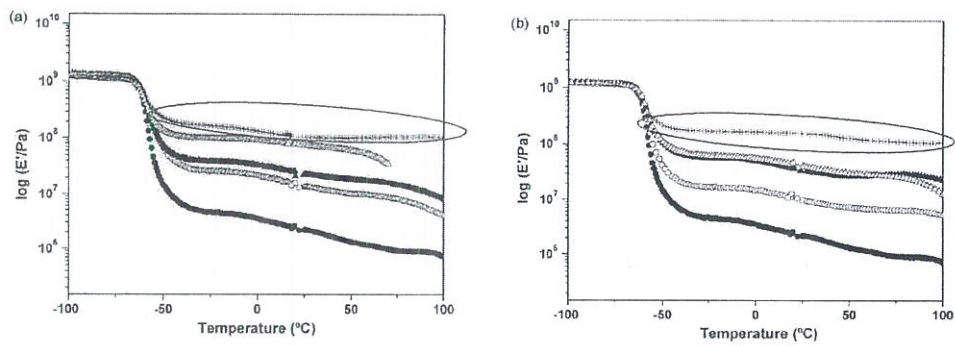
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Julien Bras และคณะ [7] ได้ทำการวิจัยเรื่อง Mechanical, barrier, and biodegradability properties of bagasse cellulose whiskers reinforced natural rubber nanocomposites โดยนำเซลลูโลสที่สกัดได้จากกากอ้อยที่เหลือจากกระบวนการผลิตน้ำตาล มาเป็นสารเสริมแรงให้แก่วัสดุธรรมชาติ โดยเส้นใยเซลลูโลสที่สกัดได้มีความยาวประมาณ 84-102nm กว้างประมาณ 4-12 nm เมื่อทำการผสมเส้นใยจากกากอ้อยเข้ากับยางธรรมชาติแล้ว ทำการศึกษาคุณสมบัติการทนต่อแรงดึง (tensile properties) คุณสมบัติทางความร้อน (thermal properties) การดูดซับความชื้น (moisture sorption) การซึมผ่านของไอน้ำ (water vapor permeation) และการย่อยสลายทางชีวภาพในดิน (soil biodegradation) จากผลการทดลองพบว่า เมื่อมีการผสมเส้นใยจากกากอ้อยในน้ำยาง จะทำให้ความแข็งแรงของยางเพิ่มขึ้น ทนต่อแรงดึงได้เพิ่มขึ้น โดยจะแข็งแรงมากที่สุดเมื่อผสมเส้นใยอ้อยเป็นปริมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ดังดูได้จากกราฟความสัมพันธ์ของค่า stress-strain ในรูปที่ 2.10 ค่าการดูดซับความชื้น และการซึมผ่านของไอน้ำในแผ่นฟิล์มยางที่ผสมเส้นใยอ้อยมีค่าลดลง เมื่อปริมาณการผสมสูงขึ้น และการสลายตัวทางชีวภาพในดินมีค่าเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.10 กราฟความสัมพันธ์ของค่า stress-strain ที่ได้จากการทดสอบแรงดึงของแผ่นฟิล์มยางผสมกับกับเส้นใยกากอ้อยขนาดนาโนเมตร

Daniel Pasquini และคณะ [8] ได้ทำการวิจัยเรื่อง Extraction of cellulose whiskers from cassava bagasse and their applications as reinforcing agent in natural rubber โดยได้ทำการสกัดเซลลูโลสจากกากมันสำปะหลัง ที่เหลือจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังของโรงงานอุตสาหกรรม พบว่าสามารถสกัดเส้นใยเซลลูโลสได้ถึงร้อยละ 17.5 ของน้ำหนักกากมันสำปะหลัง และนำเส้นใยมันสำปะหลังที่สกัดได้มาผสมกับน้ำยางธรรมชาติ และทำการศึกษาคูสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติ จากผลการทดลองพบว่ายางธรรมชาติที่ผสมกับเส้นใยเซลลูโลสของมันสำปะหลัง มีคุณสมบัติเชิงกลสูงขึ้น โดยจะเห็นได้จากค่าของมอดูลัสสะสมที่สูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 กราฟความสัมพันธ์ของค่ามอดูลัสสะสม และอุณหภูมิ ของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่ผสมกับเส้นใย

เซลลูโลสมันสำปะหลังในปริมาณ 0 (●), 2 (○), 5 (▲), 7 (△) and 10 wt% (+) เมื่อเส้นใยได้จากการบวนการไฮโดรไลซิสเป็นเวลา 20 นาที (a) และ 40 นาที (b)

P.M. Visakh และคณะ [3] ได้ทำการวิจัยเรื่อง Crosslinked natural rubber nanocomposites reinforced with cellulose whiskers isolated from bamboo waste: Processing and mechanical/thermal properties ซึ่งเป็นการผลิตวัสดุผสมระดับนาโนของยางธรรมชาติที่เชื่อมขวางโมเลกุลแล้ว โดยการนำเส้นใยขนาดนาโนของไม้ ที่สกัดมาจากกากไม้ซึ่งเหลือจากกระบวนการการผลิตกระดาษเยื่อไม้ มาผสมเพื่อเป็นสารเสริมแรงให้กับยางธรรมชาติที่ผ่านการเชื่อมขวางแล้ว จากผลการทดลองพบว่ายางธรรมชาติที่เชื่อมขวาง แล้วเมื่อได้มีการผสมเส้นใยไม้ผสมสามารถทำให้คุณสมบัติเชิงกลด้านต่างๆของยางสูงขึ้น ได้แก่ความทนต่อแรงดึง (tensile strength) ดังแสดงในตารางที่ 2.6 ค่ามอดูลัสสะสม (storage modulus) ดังแสดงในตารางที่ 2.7 และความเสถียรทางความร้อน

ตารางที่ 2.6 คุณสมบัติด้านทนต่อแรงดึง ของยางธรรมชาติ และวัสดุผสมระดับนาโนของยางธรรมชาติที่เชื่อมขวางโมเลกุลกับเส้นใยไม้

Samples	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	Young's modulus (MPa)
NR	9.2 ± 1.3	554 ± 9	1.7 ± 0.2
NR-CNW _{2.5}	14.0 ± 2.1	539 ± 14	2.6 ± 0.1
NR-CNW ₅	14.5 ± 2.6	477 ± 13	3.0 ± 0.3
NR-CNW ₁₀	17.3 ± 1.4	455 ± 11	3.8 ± 0.2

ตารางที่ 2.7 ค่ามอดุลัสสะสม ของยางธรรมชาติ และวัสดุผสมระดับของยางธรรมชาติที่เชื่อมขวาง โมเลกุลกับเส้นใยไฟ

Sample	Storage modulus		tan δ ($^{\circ}$ C)
	At -70° C (GPa)	At $+25^{\circ}$ C (MPa)	
NR	2.27	1.55	-47
NR-CNW _{2.5}	3.14	2.32	-46
NR-CNW ₅	3.53	2.79	-44
NR-CNW ₁₀	2.68	3.77	-42

อดุลย์ ณ วิเชียร และคณะ [6] ศึกษาการเตรียมยางธรรมชาติอิพอกไซด์จากน้ำยางสดและสมบัติทางกายภาพเปรียบเทียบกับยางธรรมชาติทดสอบลักษณะวัลคาไนซ์ด้วยเครื่องรีโอมิเตอร์แบบโรเตอร์ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส และทดสอบสมบัติทางกายภาพก่อนและหลังการบ่มเร่งด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 22 ชั่วโมงพบว่ายางธรรมชาติอิพอกไซด์ที่เตรียมได้ที่ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาอิพอกซิเดชันเป็นเวลา 60 และ 360 นาทีจะทำให้ได้ยางธรรมชาติพอกไซด์ที่มีปริมาณหมู่อิพอกไซด์เท่ากับ 25 และ 50 ร้อยละโดยโมลตามลำดับ ยางธรรมชาติมีระยะเวลาที่ยางเริ่มเกิดการคงรูปและระยะเวลาวัลคาไนซ์นานกว่ายางธรรมชาติอิพอกไซด์นอกจากนี้ยางธรรมชาติอิพอกไซด์มีสมบัติทางกายภาพต่ำกว่ายางธรรมชาติแต่มีความต้านทานต่อน้ำมันที่ดีกว่ายางธรรมชาติแต่หลังจากการบ่มเร่งยางธรรมชาติอิพอกไซด์มีการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพมากกว่ายางธรรมชาติ

H. Nabil and H. Ismail [11] รายงานไว้ว่า โดยส่วนใหญ่แล้วยางธรรมชาติสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ แต่อัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับชนิดของยาง กระบวนการผลิตและสภาวะการใช้งาน ผลการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะทำให้ยางมีคุณสมบัติเชิงกลที่ลดต่ำลง ซึ่งได้แก่ ความทนต่อแรงดึง ความสามารถในการยืดจนขาด และความยืดหยุ่น ดังนั้นอายุการใช้งานของยางจึงสามารถวิเคราะห์ได้จากค่า ความเสถียรของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และคุณสมบัติทางความร้อนก็สัมพันธ์กับอายุการใช้งานของวัสดุพอลิเมอร์เช่นเดียวกัน ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเตรียมวัสดุผสมระหว่างยางธรรมชาติ และ recycled ethylene-propylene-diene rubber (NR/R-EPDM) ซึ่งได้ศึกษาผลกระทบของเวลาการวัลคาไนซ์ EPDM และปริมาณการฉายรังสีแก่ EPDM ต่อความเสถียรทางความร้อนของวัสดุผสม โดยเทคนิคที่ได้นำมาใช้เพื่อวิเคราะห์ความเสถียรทางความร้อนของยางมีสองเทคนิคคือ thermo-oxidative และ thermogravimetric analysis (TGA) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า EPDM ที่ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์เป็นเวลา 3.45 นาที ทำให้วัสดุมีอุณหภูมิการสลายตัวที่สูงที่สุด และมีค่าพลังงานกระตุ้นสูงที่สุด ซึ่งชี้ให้เห็นว่าวัสดุมีความเสถียรทางความร้อนสูงขึ้น และผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่า การฉายรังสีแก่วัสดุผสมสามารถเพิ่มความเสถียรทางความร้อนให้สูงขึ้นได้ด้วย ทั้งนี้ประเมินได้จากอุณหภูมิการสลายตัว และค่าพลังงานกระตุ้น

2.6 กรอบแนวคิดในการวิจัย

การทำวัสดุผสม คือการนำวัสดุตั้งแต่ 2 ชนิด ที่คุณสมบัติแตกต่างกัน หรือใกล้เคียงกัน นำมาผสมกัน เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุแต่ละชนิดให้เด่นขึ้น และ/หรือให้มีคุณสมบัติที่ดีขึ้นกว่าตอนที่ยังไม่ได้นำมาผสมกัน ซึ่งเป็นแนวทางในการปรับปรุงคุณสมบัติของพอลิเมอร์ที่ได้รับความนิยมแนวหนึ่ง พอลิเมอร์ที่นำมาผสมกันอาจเข้ากันได้ (miscible) หรือเข้ากันไม่ได้ (immiscible)

ยางธรรมชาติถือว่าเป็นวัสดุประเภทพอลิเมอร์ประเภทหนึ่ง ดังนั้นจึงได้นำหลักการทำวัสดุผสมมาใช้เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของยางธรรมชาติ โดยคาดว่าเมื่อผสมสารตัวเติมที่ผลิตจากเมล็ดยางพารา หรือเปลือกนอกเมล็ดของยางพาราลงไปในยางธรรมชาติทั้ง 2 ประเภท คือ น้ำยางธรรมชาติที่ไม่ได้ทำการปรับปรุงโครงสร้าง และน้ำยางธรรมชาติที่ผ่านการปรับปรุงโครงสร้างให้เป็นยางอิพอกไซด์ จะสามารถทำให้ความเสถียรทางความร้อนของยางธรรมชาติสูงขึ้นได้ โดยสาเหตุที่ใช้ น้ำยางธรรมชาติ 2 ประเภทในการทดลองคือ เพื่อต้องการเปรียบเทียบความเข้ากันได้ระหว่างน้ำยางและสารตัวเติม ซึ่งอาจส่งผลต่อความเสถียรทางความร้อนที่แตกต่างกันของน้ำยางทั้งสองหลังการเติมสารตัวเติมแล้ว



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรของการวิจัย คือ น้ำยางธรรมชาติ เมล็ด และเปลือกหุ้มเมล็ดของยางพารา
กลุ่มตัวอย่างของการวิจัย คือน้ำยางธรรมชาติชนิดต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.1 คือ น้ำยางธรรมชาติ น้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ น้ำยางธรรมชาติที่ผสมเมล็ดยางพารา น้ำยางธรรมชาติ

ตารางที่ 3.1 กลุ่มตัวอย่างของการวิจัย

ที่	ชนิดน้ำยางธรรมชาติ	ชนิดและปริมาณสารตัวเติมที่ผสมในน้ำยาง	
		เมล็ดยางพารา (phr)	เปลือกหุ้มเมล็ดยางพารา (phr)
1	น้ำยางธรรมชาติ (ไม่ปรับปรุงโครงสร้าง)	-	-
2	น้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์	-	-
3	วัสดุผสมของน้ำยางธรรมชาติ (ไม่ปรับปรุงโครงสร้าง)กับเมล็ดยางพารา	0.5 1.0 2.0 และ4.0	-
4	วัสดุผสมของน้ำยางธรรมชาติ (ไม่ปรับปรุงโครงสร้าง)กับเปลือกหุ้มเมล็ดยางพารา	-	0.5 1.0 2.0 และ4.0
5	วัสดุผสมน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์กับเมล็ดยางพารา	0.5 1.0 2.0 และ4.0	-
6	วัสดุผสมน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์กับเปลือกหุ้มเมล็ดยางพารา	-	0.5 1.0 2.0 และ4.0

หมายเหตุ phr ย่อมาจาก parts per hundred of rubber (ส่วนในร้อยส่วนของยาง)

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1) กระบอกตวง (Cylinder)
- 2) เครื่องชั่งไฟฟ้า 4 ตำแหน่ง (Balance)
- 3) ถุงมือ (Nitrile gloves blue)
- 4) ผ้าขาวบาง (Linin clothes)

- 5) ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask)
- 6) ครุชีเบิลแก้ว (Crucible)
- 7) ช้อนตักสาร (Spatula)
- 8) โถดูดความชื้น (Desiccator)
- 9) บีกเกอร์ (Beaker)
- 10) บิวเรต (buret)
- 11) ปิเปต (pipette)
- 12) ขวดก้นกลม (Flat Bottom Flask)
- 13) เครื่องกวนสารละลายด้วยแท่งแม่เหล็ก (Magnetic Stirrer)
- 14) หลอดหยด (Dropper)
- 15) เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)
- 16) จานเพาะเชื้อ (Petri dish plate)
- 17) แท่งแก้วคน (Stirring rod)
- 18) เครื่องกลั่นโปรตีน (Distillator)
- 19) เครื่องย่อยโปรตีน (Digester and Scrubber) รุ่น Distillation Unit B-316
- 20) เครื่องวิเคราะห์ไขมัน (Soxhlet Extractor) รุ่น Extraction System
- 21) เครื่องสกัดเยื่อใย (Crude Fiber) รุ่น EV 16
- 22) เครื่อง Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) รุ่น Speatrum 2000
- 23) เครื่อง Scanning electron microscope (SEM) รุ่น JSM-6460 LV
- 24) เครื่อง Thermogravimetric analysis (TGA) รุ่น SHIMADZU TGA-50

3.3 สารเคมี

- 1) กรดซัลฟูริกเข้มข้น (conc. Sulfuric acid : H_2SO_4)
- 2) กรดบอริก (Boric acid : H_2BO_3)
- 3) กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (conc. Hydrochloric acid : HCl)
- 4) คอปเปอร์ซัลเฟต (Copper sulfate : $CuSO_4 \cdot 5H_2O$)
- 5) โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium hydroxide : NaOH)
- 6) น้ำ REVERSE OSMOSIS (RO)
- 7) โบรโมคลีซอลกรีน (Bromocresol green)
- 8) โพแทสเซียมซัลเฟต (Potassium sulfate : K_2SO_4)
- 9) เอทานอล (ethanol : C_2H_6O)
- 10) แอมโมเนียมคลอไรด์ (Ammonium chloride : NH_4Cl)

- 11) เฮกเซน(Hexane : C_6H_{14})
- 12) โซเดียมลอริลซัลเฟต (Sodium lauryl sulfate : SDS)
- 13) กรดฟอร์มิก (Formic acid : $HCOOH$)
- 14) กรดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide : H_2O_2)
- 15) โทลูอีน (Toluene : C_7H_8)
- 16) เมล็ดยางพารา
- 17) เปลือกหุ้มเมล็ดยางพารา

3.4 การเตรียมน้ำยางธรรมชาติ

น้ำยางธรรมชาติ หรือน้ำยางพาราที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้จากสวนยาง บ้านหนองกลางโคก ตำบลนาตุน อำเภอนาตุน จังหวัดมหาสารคาม นำน้ำยางพาราที่ได้จากการกรีดจากต้นยางพารามากรองด้วยผ้าขาวบาง 2 ครั้ง เพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อน จากนั้นทำการเติมแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 0.6 โดยปริมาตร เพื่อช่วยในการรักษาสภาพของน้ำยาง จากนั้นนำไปเก็บที่อุณหภูมิ $6^{\circ}C$

3.5 การหาปริมาณร้อยละเนื้อยางแห้ง (Percentage of Dry Rubber Content: %DRC)

ก่อนที่จะนำน้ำยางพาราไปใช้ในการทดลอง จำเป็นต้องทำการวิเคราะห์หาปริมาณร้อยละเนื้อยางแห้งในน้ำยางก่อน เนื่องจากหากต้องการมีการเติมสารเคมี หรือสารตัวเติมลงไปผสมกับยาง จะต้องคำนวณสัดส่วนของสารต่างๆจากปริมาณเนื้อยางแห้งที่มีในน้ำยาง

การหาร้อยละเนื้อยางแห้งในน้ำยางพารา ทำได้โดยการชั่งน้ำหนักของน้ำยางตัวอย่าง หรือวิธีมาตรฐานให้ปฏิบัติการตามขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

1. สุ่มตัวอย่างน้ำยางที่เตรียมไว้ในข้อ 3.4 เพื่อนำมาหาร้อยละของเนื้อยางแห้ง
2. ชั่งน้ำยางในงานเพาะเชื้อ งานละ 5 กรัม 3 ตัวอย่าง
3. เติมสารละลายกรดอะซิติก ความเข้มข้นร้อยละ 5 ปริมาตร 15-20 มิลลิลิตรลงในน้ำยางคนให้เข้ากัน
4. ตั้งทิ้งไว้ให้ยางจับตัวกันประมาณ 30 นาที
5. นำยางที่จับตัวกันสมบูรณ์แล้ว ไปรีดให้เป็นแผ่นบางๆความหนาไม่เกิน 2 มิลลิลิตร
6. ล้างแผ่นยางที่รีดได้ด้วยน้ำกลั่น
7. นำยางแผ่นที่ล้างจนสะอาดแล้วไปอบให้แห้งที่ตู้อบที่อุณหภูมิ $70^{\circ}C$ เป็นระยะเวลา 12-16 ชั่วโมง
8. นำแผ่นยางที่อบที่แห้งแล้วออกจากตู้อบ ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก พร้อมบันทึกน้ำยางที่แห้ง

9. คำนวณหาร้อยละเนื้อเยื่อแห้งจากสมการต่อไปนี้

$$\text{ร้อยละของเนื้อเยื่อแห้ง} = \frac{\text{น้ำหนักแผ่นยางแห้ง (กรัม)}}{\text{น้ำหนักยางสด (กรัม)}} \times 100$$

3.6 การหาปริมาณร้อยละของแข็งทั้งหมดในน้ำยางธรรมชาติ (Percentage of Total Solid Content: %TSC)

เนื่องจากน้ำยางเป็นของเหลวในรูปสารแขวนลอย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องรู้ค่าความเข้มข้นในน้ำยาง ในรูปปริมาณของแข็ง และของเหลว ว่ามีอยู่เท่าไรโดยนำน้ำยางไปทำการระเหยส่วนที่เป็นของเหลว(น้ำ)ออก แล้วทำการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่เหลืออยู่

การหาปริมาณของแข็งทั้งหมดที่มีขั้นตอนเช่นเดียวกับการหาปริมาณเนื้อเยื่อแห้งในหัวข้อที่ 3.5 แต่ไม่ต้องทำขั้นตอนการเติมกรดอะซิติกจากนั้นซึ่งน้ำยางใส่จานเพาะเชื้อแล้วนำไปอบให้แห้งแล้วทำการคำนวณหาปริมาณของแข็งทั้งหมดจากสูตรต่อไปนี้

$$\text{ร้อยละของแข็ง} = \frac{\text{น้ำหนักแผ่นยางแห้ง (กรัม)}}{\text{น้ำหนักยางสด (กรัม)}} \times 100$$

3.7 การเตรียมสารตัวเติมจากเมล็ดและเปลือกหุ้มยางพารา

3.7.1 การเตรียมสารตัวเติมจากเมล็ดยางพารา

- 1) กะเทาะเมล็ดยางพาราออกจะได้ส่วนของเมล็ดข้างในและเปลือกหุ้มเมล็ดยางพาราจากนั้นนำส่วนที่เป็นเมล็ดผ่านให้บางๆแล้วนำไปตากแดด 120 ชั่วโมง
- 2) นำเมล็ดที่แห้งมาบดละเอียดแล้วนำมาผ่านตะแกรงร่อนขนาด 500 ไมโครเมตร

3.7.2 การเตรียมสารตัวเติมจากเปลือกหุ้มเมล็ดยางพารา

- 1) กะเทาะเมล็ดยางพาราจะได้ส่วนของเมล็ดข้างในและเปลือกหุ้มเมล็ดยางพาราจากนั้นนำส่วนที่เป็นเปลือกหุ้มเมล็ดยางพารามาบดให้ละเอียด แล้วนำมาผ่านตะแกรงร่อน ขนาด 500 ไมโครเมตร

3.8 การเตรียมสารเคมีสำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดและเปลือกหุ้มเมล็ดยางพารา

3.8.1 การเตรียมสารเคมีและสารละลายสำหรับวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

- 1) สารเร่งปฏิกิริยา (catalyst ; $K_2SO_4 : CuSO_4 \cdot 5H_2O$) 20:1 ชั่งโพแทสเซียมซัลเฟล(K_2SO_4)100 กรัม และคอปเปอร์ซัลเฟต($CuSO_4 \cdot 5H_2O$) 5 กรัม บดผสมให้ละเอียด
- 2) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 40% เตรียมโดยชั่งสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ปริมาณ 40 กรัม ละลายในน้ำกลั่นใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตรปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดวัดปริมาตร (ถ้าเตรียมโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นสูงๆจะทำให้สารละลายร้อนมากควรเตรียมก่อนใช้ 1 วัน สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มีสมบัติกัดแก้ว และทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศได้ ดังนั้นถ้าจะเก็บไว้นานๆจะต้องเก็บในขวดพลาสติก)
- 3) สารละลายบอริกอินดิเคเตอร์ (Boric acid mixindicator) ละลายกรดบอริก 40 กรัมในน้ำกลั่นประมาณ 500 มิลลิลิตรแล้วนำไปตั้งเตาให้ความร้อน ต้มและคนจนละลายหมด จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรประมาณ 800 มิลลิลิตรทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องแล้วหยดสารละลายอินดิเคเตอร์ผสม (โบรโมครีโซลกรัม 0.099 กรัม และ เมธิลเรด 0.066 กรัมในเอทานอล 100 มิลลิลิตร) ลงไป 20 มิลลิลิตรปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ 1000 มิลลิลิตร
- 4) สารละลายไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.05 นอร์มอลเตรียมโดยปิเปตสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 37% มาประมาณ 2.06 มิลลิลิตรใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตรพร้อมคนให้เข้ากันแล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดวัดปริมาตร (ก่อนใช้งานต้องทำการ Standarditation กับ Na_2CO_3 ก่อนเพื่อหาความเข้มข้นที่แน่นอน)

3.8.2 การเตรียมสารเคมีและสารละลายสำหรับการวิเคราะห์เยื่อใย

- 1) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์(NaOH)เข้มข้น 1.25% โดยการชั่งสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 12.5กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตรปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดวัดปริมาตร
- 2) สารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 12.5% ปิเปตสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 98.9% ปริมาณ 13.02 มิลลิลิตรใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตรปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดวัดปริมาตร

3.9 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ด และเปลือกหุ้มเมล็ดของยางพารา [12]

องค์ประกอบทางเคมีต่างๆของเมล็ด และเปลือกหุ้มเมล็ดของยางพาราที่ได้ทำการวิเคราะห์ได้แก่ ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน ปริมาณเถ้า และปริมาณเยื่อใย จากการวิเคราะห์นี้จะทำให้ทราบถึงองค์ประกอบพื้นฐานของเมล็ด และเปลือกหุ้มเมล็ดของยางพารา ซึ่งปริมาณเยื่อใย และเถ้า นั้นจะส่งผลกระทบต่อความเสถียรทางความร้อนของยางธรรมชาติ เมื่อนำไปใช้เป็นสารตัวเติม ส่วนปริมาณไขมัน และโปรตีนของเมล็ด และเปลือกหุ้มเมล็ดของยางพาราก็จะส่งผลต่อการกระจายตัวในยางธรรมชาติ ขั้นตอนในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีต่างๆมีดังนี้

3.9.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนโดยวิธี เจลดาลท์ (Kjeldahl Method)

1) กระบวนการย่อยตัวอย่าง (Digestion)

1.1 ชั่งตัวอย่าง 1 กรัม (ทราบน้ำหนักที่แน่นอน) ใส่ใน Digestion Tube
 1.2 ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst : K_2SO_4 : $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ = 20:1) ประมาณ 2 กรัม และกรดซัลฟูริกเข้มข้น จำนวน 20 มิลลิลิตรแล้วเขย่าเบาๆ (ทำ Blank เปรียบเทียบโดยไม่ต้องเติมตัวอย่าง)

1.3 นำตัวอย่างไปย่อยด้วยเครื่อง Digestion and Scrubber (สวมเครื่อง ดักจับไอกรดบนส่วนบนสุดของ digestion tube ก่อนเปิดเครื่องย่อย) ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที แล้วจึงปรับเป็น 450 องศาเซลเซียสจนสารละลายใสและมีสีฟ้า ใช้เวลาประมาณ 3 ชั่วโมง

1.4 นำ Digestion Tube ออกจากเครื่องย่อยแล้ว ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง (ปิดเครื่องย่อยแต่ยังคงเปิดเครื่องดักจับไอกรดไว้เพื่อดักจับไอกรดที่ยังเหลืออยู่) เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตรลงใน Digestion Tube นำตัวอย่างที่ผ่านการย่อยเก็บไว้ในขวดวัดปริมาตร ปิดฝาให้สนิท เก็บไว้สำหรับกลั่นหาแอมโมเนีย

2) กระบวนการกลั่นหาปริมาณไนโตรเจน (Distillation)

2.1 เปิดสารละลายที่ผ่านการย่อยมา 20 มิลลิลิตรใส่ลงในหลอดเพื่อใช้ สำหรับการกลั่น Digestion Tube เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40% ลงในหลอดตัวอย่าง 20% ประกอบเข้าเครื่องกลั่น

2.2 แล้วนำขวดชมพู ขนาด 250 มิลลิลิตร นำใส่สารละลายบอริกอินดิเคเตอร์ใน ปริมาตร 5 มิลลิลิตรไปรองรับสารที่กลั่นได้ (สีของสารละลายจะเปลี่ยนจากสีม่วงเป็นสีเขียว) ตั้งเวลาใน การกลั่น 4 นาที จะได้สารละลายสีเขียว ปริมาตร 150 มิลลิลิตร

3) กระบวนการไทเทรตหาปริมาณไนโตรเจน (Titration)

3.1 นำสารละลายในขวดชมพู ที่มีสีเขียวจากการกลั่นได้ไปไทเทรตด้วย สารละลายมาตรฐาน 0.05 N HCl จนสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวใสเป็นสีชมพูอ่อนๆ แสดงว่าถึงจุด ยุติ บันทึกปริมาณของ HCl ที่ใช้ไป เพื่อคำนวณหาปริมาณไนโตรเจน

3.2 นำปริมาณของ HCl ไปคำนวณหาปริมาณไนโตรเจนและโปรตีนได้จากสมการ

$$\text{ปริมาณโปรตีน (\%)} = \frac{(A-B) \times N \times 14.007 \times F}{W} \times 100$$

เมื่อ A = ปริมาณ HCl ที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

B = ปริมาณ HCl ที่ใช้ไทเทรตกับ Blank (มิลลิลิตร)

N = ความเข้มข้นของกรด HCl (นอร์มอล)

F = แฟกเตอร์ของถั่วเหลือง (ใช้แทนของเมล็ดถั่วเหลือง)

W = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

3.9.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณไขมัน โดยวิธี (Soxhlet Extractor)

- 1) นำ Extraction Cups อบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสประมาณ 45 นาที ทำให้เย็นลงในโถดูดความชื้น จากนั้นทำการชั่งน้ำหนัก จดน้ำหนักที่แน่นอนของ Extraction Cups
- 2) ชั่งตัวอย่างปริมาณ 2.0000 กรัม (น้ำหนักที่แน่นอน) ลงในกระดาษ แล้วใส่ลงใน Thimbles ชนิดกระดาษหรือแก้วก็ได้
- 3) เติมเฮกเซนลงใน Extraction Cups แล้วนำไปประกอบเข้ากับ Holder และประกอบ Extraction thimble กับเครื่องวิเคราะห์ไขมัน
- 4) ทำการตั้งโปรแกรมของเครื่องสกัดไขมันโดยขั้นตอน Extraction phase ตั้งอุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสตั้งรอบ (Cycle) การสกัด 20 รอบ (โดยการสกัด 1 รอบ หมายถึง ตัวทำละลายหยดลงใน Soxhletจนท่วม Thimbles) เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง ขั้นตอน Rinsing phase ตั้งอุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 5 นาที และขั้นตอน Drying phase ตั้งอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 10 นาที จากนั้นเริ่มทำการสกัดไขมัน
- 5) เมื่อทำการสกัดเสร็จนำ Extraction Cups เข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 45 นาทีเพื่อระเหยตัวทำละลายออกและไล่ความชื้น ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น จากนั้นทำการชั่งน้ำหนักจนได้น้ำหนักที่แน่นอนติดต่อกันไม่เกิน 0.0002 กรัม คำนวณหาปริมาณไขมันในตัวอย่างได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{ปริมาณไขมัน (\%)} = \frac{W_2 - W_1}{W} \times 100$$

เมื่อ W = น้ำหนักตัวอย่าง

W_1 = น้ำหนัก Extraction Cups (กรัม)

W_2 = น้ำหนัก Extraction Cups และ น้ำหนักไขมันหลังอบ (กรัม)

3.9.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์หาปริมาณเยื่อใย (Crude fiber) และปริมาณเถ้า (Ash)

- 1) นำครุชีเบลแก้วไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสปล่อยให้เย็นที่โถดูดความชื้น และชั่งน้ำหนักและบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน
- 2) ชั่งตัวอย่างที่ผ่านการสกัดไขมันแล้ว 1-2 กรัม ใส่ลงในครุชีเบล นำครุชีเบลแก้วประกอบเข้าเครื่องสกัดเยื่อใย
- 3) เติมสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 1.25% ปริมาตร 75 มิลลิลิตรและหยดเอทานอล 3-5 หยด เพื่อป้องกันการเกิดฟอง ปรับระดับความร้อนของเครื่องที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียสต้มให้เดือด 30 นาที เปิดสวิตซ์เครื่องดูดสุญญากาศ แล้วไปเปิดวาล์วเพื่อถ่ายกรดออกจากตัวอย่าง แล้วล้างตะกอนด้วยน้ำร้อน 3 ครั้ง ครั้งละ 150 มิลลิลิตรแล้วถ่ายออก (โดยใช้บีบลมช่วย)
- 4) เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1.25% ปริมาตร 75 มิลลิลิตร

และหยดเอทานอล 3-5 หยด เพื่อป้องกันการเกิดฟอง ปรับระดับความร้อนของเครื่องที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียสต้มให้เดือด 30 นาที เปิดสวิทซ์เครื่องดูดสุญญากาศ แล้วเปิดวาล์วเพื่อถ่ายต่างออกจากตัวอย่าง แล้วล้างตะกอนด้วยน้ำร้อน 3 ครั้งๆ ละ 15 มิลลิลิตรล้างด้วยน้ำเย็น 1 ครั้ง ล้างด้วยอะซิโตน 3 ครั้ง ครั้งละ 15 มิลลิลิตรแล้วถ่ายออก (โดยใช้ปั๊มลมช่วย) นำครุชชีเบลแก้ว เข้าอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสนาน 1 ชั่วโมง ปลดปล่อยไว้ให้เย็นที่โถดูดความชื้น และชั่งน้ำหนักและบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน

5) หาน้ำหนักแก้ว โดยการนำครุชชีเบลเข้าเผาในเตาเผา(Muffle furnace)

อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียสนาน 3 ชั่วโมง ปลดปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นที่โถดูดความชื้น และชั่งน้ำหนักและบันทึกน้ำหนักแก้วที่แน่นอน

$$\text{ปริมาณเยื่อใย (\%)} = \frac{W_1 - W_2}{W} \times 100$$

เมื่อ W = น้ำหนักตัวอย่างแห้ง (กรัม)

W_1 = น้ำหนักครุชชีเบล+ น้ำหนักแก้ว + น้ำหนักเยื่อใยก่อน(กรัม)

W_2 = น้ำหนักครุชชีเบล+ น้ำหนักแก้วหลังเผา (กรัม)

$$\text{ปริมาณเถ้า (\%)} = \frac{W_1 - W_2}{W} \times 100$$

เมื่อ W = น้ำหนักตัวอย่างแห้ง (กรัม)

W_1 = น้ำหนักครุชชีเบล+ น้ำหนักแก้วหลังเผา (กรัม)

W_2 = น้ำหนักครุชชีเบล(กรัม)

3.10 การเตรียมยางอีพอกไซด์ (Epoxidized Natural Rubber ; ENR)

1. นำน้ำยางพารามา 42 มิลลิลิตรโดยคิดเป็นปริมาณเนื้อยางแห้งประมาณ 20 กรัม
2. เติมโซเดียมลอลิลซัลเฟต 2 phr เพื่อให้อนุภาคยางเสถียรในน้ำยาง ปั่นกวนผสมอย่างช้าๆเป็นเวลา 30นาทีหยดกรดฟอร์มิก ในปริมาณ 10 phr อย่างช้าๆ พร้อมทั้งปั่นกวนเป็นเวลา 30 นาที
3. หยดกรดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ในปริมาณ 20 phr อย่างช้าๆ พร้อมทั้งปั่นกวนเป็นเวลา 30นาที
4. โดยในการทำปฏิกิริยาจะควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ ประมาณ 50 องศาเซลเซียส แล้วให้ปฏิกิริยาดำเนินต่อไปเป็นเวลา 6 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดเวลา แล้วทิ้งไว้ให้เย็นแล้ว

3.11 การทำวัสดุผสมระหว่างน้ำยางธรรมชาติกับสารตัวเติม และน้ำยางอิพอกไซด์กับสารตัวเติม

นำน้ำยางธรรมชาติ และน้ำยางธรรมชาติอิพอกไซด์ ผสมกับเมล็ดหรือเปลือกหุ้มเมล็ด ยางพารา 0.5, 1, 2 และ 4 phr ปั่นจนอย่างรวดเร็วมำเสมอเป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยวัสดุผสมที่ถูกต้องเตรียมได้ทั้งหมดแสดงในตารางที่ 3.1

3.12 การวิเคราะห์คุณลักษณะต่างๆของยางธรรมชาติ ยางธรรมชาติอิพอกไซด์ และวัสดุผสม

3.12.1 วิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของน้ำยางธรรมชาติ และน้ำยางธรรมชาติอิพอกไซด์ ด้วยเครื่อง Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) รุ่นSpeatrum 2000 โดยนำน้ำยางธรรมชาติ และน้ำยางธรรมชาติอิพอกไซด์ 5 กรัมไปอบให้แห้ง ที่อุณหภูมิ 50-70 องศาเซลเซียส แล้วนำยางแห้งที่ได้ ละลายด้วยโทลูอิน แล้วนำตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์

3.12.2 วิเคราะห์การกระจายตัวของสารตัวเติมในน้ำยางธรรมชาติ และน้ำยางธรรมชาติอิพอกไซด์ด้วยเครื่อง Scanning electron microscope (SEM) รุ่น JSM-6460LV โดยนำน้ำยางธรรมชาติ น้ำยางธรรมชาติอิพอกไซด์ และวัสดุผสมที่เตรียมได้ในหัวข้อ 3.11 ชนิดละ 5 กรัมไปอบที่อุณหภูมิ 50-70 องศาเซลเซียส แล้วนำตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์

3.12.3 วิเคราะห์ความเสถียรทางความร้อนของน้ำยางธรรมชาติ น้ำยางอิพอกไซด์ และวัสดุผสมด้วยเครื่อง Thermogravimetric analysis (TGA) รุ่น SHIMADZU TGA-50 โดยนำน้ำยางธรรมชาติ น้ำยางธรรมชาติอิพอกไซด์ และวัสดุผสม ชนิดละ 5 กรัม ไปอบที่อุณหภูมิ อุณหภูมิ50-70 องศาเซลเซียส แล้วนำตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์

บทที่ 4

ผลการวิจัย

งานวิจัยเรื่องการเตรียมสารตัวเติมจากเมล็ดยางพารา และการศึกษาผลกระทบที่ส่งผลต่อคุณสมบัติทางความร้อนของยางธรรมชาตินี้ ใช้วัตถุดิบคือ ยางธรรมชาติ หรือน้ำยางพาราที่ได้จากสวนยาง บ้านหนองกลางโคก ตำบลนาตุน อำเภอนาตุน จังหวัดมหาสารคาม มาทำการคัดแยกสิ่งเจือปนในน้ำยาง โดยการกรองน้ำยางผ่านผ้าขาวบาง 2 ชั้น 3 ซ้ำ จากนั้นทำการรักษาสภาพของน้ำยางโดยการเติมแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) ร้อยละ 0.6 โดยปริมาตร จากนั้นทำการศึกษาปริมาณร้อยละเนื้อยางแห้ง ร้อยละของแข็งทั้งหมดในน้ำยางธรรมชาติจากนั้นทำการปรับโครงสร้างในน้ำยางให้เกิดเป็นน้ำยางอีพอกไซด์ (Epoxidized natural rubber; ENR) แล้วนำมาผสมสารตัวเติมที่เตรียมได้จากเมล็ด และเปลือกหุ้มเมล็ดยางพารา และทำการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมี การกระจายตัวของสารตัวเติมในน้ำยาง และความเสถียรทางความร้อน ผลการทดลองในขั้นต่างๆเป็นดังต่อไปนี้

4.1 ปริมาณร้อยละเนื้อยางแห้ง (Percentage of Dry Rubber Content: %DRC) และปริมาณร้อยละของแข็งทั้งหมด (Percentage of Total Solid Content: %TSC)

4.1.1 ปริมาณร้อยละเนื้อยางแห้ง (Percentage of Dry Rubber Content: %DRC)

ปริมาณร้อยละเนื้อยางแห้งของน้ำยางธรรมชาติที่ได้จากสวนยาง บ้านหนองกลางโคก ตำบลนาตุน อำเภอนาตุน จังหวัดมหาสารคาม ที่นำมาใช้ในการทดลองในครั้งนี้มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 48.66 ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ซึ่งจัดว่าน้ำยางที่ได้นี้มีปริมาณเนื้อยางแห้งค่อนข้างสูง ผลของ %DRC นี้จะนำไปใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณสัดส่วน เมื่อต้องการผสมสารเคมี หรือสารตัวเติมลงในน้ำยางธรรมชาติ

ตารางที่ 4.1 ปริมาณร้อยละเนื้อยางแห้งในน้ำยางธรรมชาติ (%DRC)

ลำดับ	น้ำหนักยาง (กรัม)	น้ำหนักเนื้อยางแห้ง (กรัม)	ร้อยละเนื้อยางแห้ง (%DRC)	ร้อยละเนื้อยางแห้งเฉลี่ย \pm S.D.
1	5.1215	2.5207	49.22	48.66 \pm 0.32
2	5.0103	2.4048	47.99	
3	5.0070	2.4415	48.76	

4.1.2 ปริมาณร้อยละของแข็งทั้งหมด (Percentage of Total Solid Content: %TSC)

ปริมาณร้อยละของแข็งทั้งหมดของน้ำยางธรรมชาติที่ได้จากสวนยาง บ้านหนองกลางโคก ตำบลนาตุน อำเภอนาตุน จังหวัดมหาสารคาม ที่นำมาใช้ในการทดลองในครั้งนี้มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 50.24 ดังแสดงในตารางที่ 4.2 ซึ่งโดยปกติแล้วค่า %TSC จะมีค่ามากกว่า %DRC

ตารางที่ 4.2 ปริมาณร้อยละของแข็งทั้งหมดในน้ำยางธรรมชาติ

ลำดับ	น้ำหนักยาง (กรัม)	น้ำหนักเนื้อยางแห้ง (กรัม)	ร้อยละของแข็ง ทั้งหมด (%TSC)	ร้อยละของแข็ง ทั้งหมดเฉลี่ย \pm S.D.
1	5.0172	2.5087	50.00	50.24 \pm 0.68
2	5.0366	2.5348	50.33	
3	5.0248	2.5315	50.38	

4.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีต่างๆของเมล็ด และเปลือกหุ้มเมล็ดยางพารา

องค์ประกอบทางเคมีต่างๆของเมล็ด และเปลือกหุ้มเมล็ดของยางพาราที่ได้ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน ปริมาณเถ้า และปริมาณเยื่อใย จากการวิเคราะห์นี้ทำให้ทราบถึงองค์ประกอบพื้นฐานของเมล็ด และเปลือกหุ้มเมล็ดของยางพารา ซึ่งปริมาณเยื่อใย และเถ้า นั้นจะส่งผลกระทบต่อความเสถียรทางความร้อนของยางธรรมชาติ เมื่อนำไปใช้เป็นสารตัวเติม ส่วนปริมาณไขมัน และโปรตีนของเมล็ด และเปลือกหุ้มเมล็ดของยางพาราก็จะส่งผลกระทบต่อการกระจายตัวในยางธรรมชาติ ผลการวิเคราะห์เป็นดังต่อไปนี้

4.2.1 ปริมาณโปรตีนในเมล็ดและเปลือกหุ้มเมล็ดยางพารา

ปริมาณโปรตีนในเมล็ดและเปลือกหุ้มเมล็ดยางพารา วิเคราะห์ด้วยเครื่องย่อยโปรตีน (Digester and Scrubber) รุ่น Distillation Unit B-316 และ เครื่องสกัดโปรตีน (Distillator) ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน

ตัวอย่าง	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	ปริมาณ HCl (มิลลิลิตร)	ปริมาณ ไนโตรเจน (กรัม)	ปริมาณ โปรตีน (%)	ปริมาณ โปรตีนเฉลี่ย \pm S.D.
เมล็ดยางพารา	2.0210	13.7	1.2190	6.4607	7.0308 \pm 0.59
	2.0201	14.4	1.3167	6.9785	
	2.0158	15.3	1.4440	7.6532	
เปลือกหุ้มเมล็ดยางพารา	1.0600	4.6	0.5700	3.5967	3.6755 \pm 0.14
	1.0603	4.6	0.5700	3.5967	
	1.0601	4.8	0.6075	3.8332	

จากตารางที่ 4.3 นี้สามารถอธิบายได้ว่า ปริมาณร้อยละของโปรตีนในเมล็ด และเปลือกหุ้มเมล็ดยางพารา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.0308 และ 3.6755 ตามลำดับ

4.2.2 ปริมาณไขมันในเมล็ด และเปลือกหุ้มเมล็ดยางพารา

ปริมาณไขมันในเมล็ด และเปลือกหุ้มเมล็ดยางพาราวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ไขมัน (Soxhlet Extractor) รุ่น Extraction System ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณไขมัน

ตัวอย่าง	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	น้ำหนักไขมัน (กรัม)	ปริมาณไขมัน (%)	ปริมาณไขมันเฉลี่ย \pm S.D.
เมล็ดยางพารา	2.0017	0.7332	36.6289	36.4673 \pm 1.17
	2.0022	0.7113	35.5260	
	2.0015	0.7455	37.2470	
เปลือกหุ้มเมล็ดยางพารา	2.0120	0.0088	15.3474	15.2900 \pm 5.89
	2.0211	0.0061	15.1452	
	2.0019	0.0080	15.3854	

จากตารางที่ 4.4 นี้สามารถอธิบายได้ว่า ปริมาณร้อยละของไขมันในเมล็ด และเปลือกหุ้มเมล็ดยางพารา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 36.4673 และ 15.2900 ตามลำดับ

4.2.3 ปริมาณเยื่อใยในเมล็ด และเปลือกหุ้มเมล็ดยางพารา

ปริมาณเยื่อใยในเมล็ด และเปลือกหุ้มเมล็ดยางพารา วิเคราะห์ด้วยเครื่องสกัดเยื่อใย (Crude Fiber) รุ่น EV 16 ผลการวิเคราะห์เป็นดังนี้

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณเยื่อใยในเมล็ด และเปลือกหุ้มเมล็ดยางพารา

ตัวอย่าง	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	น้ำหนักเยื่อใย (กรัม)	ปริมาณเยื่อใย (%)	ปริมาณเยื่อใย เฉลี่ย \pm S.D.
เมล็ดยางพารา	0.6531	0.0553	8.4673	8.0124 \pm 0.69
	1.2535	0.1047	8.3526	
	0.5653	0.0408	7.2174	
เปลือกหุ้มเมล็ด ยางพารา	0.6480	0.2721	41.9907	36.6933 \pm 5.35
	1.2499	0.4600	36.8029	
	0.5520	0.1727	31.2862	

จากตารางที่ 4.5 นี้สามารถอธิบายได้ว่า ปริมาณร้อยละของเยื่อใยในเมล็ดและเปลือกหุ้มเมล็ดยางพารา (% เยื่อใย) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.0124 และ 36.6933 ตามลำดับ

4.2.4 ปริมาณเถ้าในเมล็ด และเปลือกหุ้มเมล็ดยางพารา

ปริมาณเถ้าในเมล็ด และเปลือกหุ้มเมล็ดยางพารา วิเคราะห์ด้วยเครื่องสกัดเยื่อใย (Crude Fiber) รุ่น EV 16 ผลการวิเคราะห์เป็นดังนี้

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณเถ้าในเมล็ด และเปลือกหุ้มเมล็ดยางพารา

ตัวอย่าง	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	ปริมาณเถ้า (%)	ปริมาณเถ้า เฉลี่ย \pm S.D.
เมล็ดยางพารา	1.7600	0.0828	4.7045	4.5156 \pm 1.19
	1.8272	0.0240	5.6042	
	1.8220	0.0500	3.2382	
เปลือกหุ้มเมล็ด ยางพารา	1.7698	0.1474	8.3286	8.6611 \pm 0.52
	1.8572	0.1556	8.3782	
	1.8423	0.1709	9.2764	

จากตารางที่ 4.6 นี้สามารถอธิบายได้ว่า ปริมาณร้อยละของเถ้าในเมล็ด และเปลือกหุ้มเมล็ด ยางพารา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.5156 และ 8.6611 ตามลำดับ

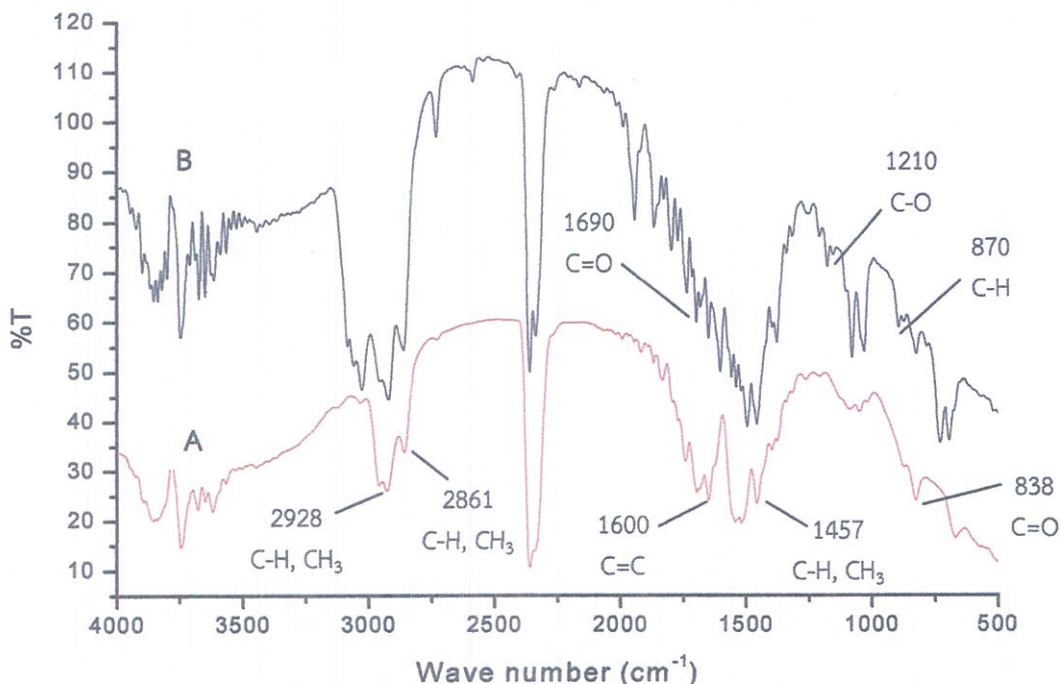
จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีต่างๆของเมล็ด และเปลือกหุ้มเมล็ดของยางพารา จะเห็นว่าในส่วนของเมล็ดซึ่งมีลักษณะอ่อนนุ่มคล้ายเมล็ดถั่ว จะมีปริมาณของโปรตีน และไขมันอยู่สูงกว่าในส่วนของเปลือกหุ้มเมล็ดซึ่งมีลักษณะที่แข็ง ซึ่งมีงานวิจัยอื่นๆก่อนหน้านี้ได้นำส่วนของเมล็ด ยางพาราไปใช้ประโยชน์ในแง่เป็นอาหารสัตว์ สำหรับผลของปริมาณของเยื่อใย และเถ้าที่พบในส่วน ของเปลือกหุ้มเมล็ดยางพารา จะมีปริมาณเยื่อใย และเถ้าสูงกว่าที่พบในเมล็ด ซึ่งปริมาณเยื่อใย และ เถ้าที่สูงนี้ อาจส่งผลดีในการใช้เป็นสารตัวเติม เพื่อเพิ่มความเสถียรทางความร้อนให้แก่ยางธรรมชาติ

4.3 การศึกษาโครงสร้างของน้ำยางธรรมชาติ (Natural Rubber : NR) และยางธรรมชาติ

อีพอกไซด์ (Epoxydized natural rubber; ENR)

ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ สามารถเตรียมได้จากการตัดแปลงโมเลกุลของยางธรรมชาติโดยผ่าน ปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน โดยให้น้ำยางธรรมชาติทำปฏิกิริยากับกรดฟอร์มิก และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สารเคมีทั้งสองชนิด จะส่งให้น้ำยางจับตัวจึงต้องเติมโซเดียมลอริลซัลเฟต (Sodium Laury sulfate : SDS) ในปริมาณ 2 phr จะสามารถทำให้อนุภาคยางเสถียรและกระจายตัวอยู่ได้โดยไม่จับตัวกันเป็น ก้อน เมื่อทำการเติมกรดฟอร์มิกปริมาณ 7 phr และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 15 phr น้ำยางอีพอก ซิดที่เตรียมได้ไปศึกษาโครงสร้างด้วยเครื่อง Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) โดยผลการศึกษาเป็นดังรูปที่ 4.1

จากรูปที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบสเปกตรัมการดูดกลืนแสงรังสีอินฟราเรดของยางธรรมชาติ (A) และสเปกตรัมการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (B) พบพีคการดูดกลืนที่เลข คลื่น 838 cm^{-1} ซึ่งแสดงการสั่นแบบงอนอกระนาบของหมู่ $-\text{CH}$ บนพันธะคู่ ($\text{C}=\text{C}$) ในยางธรรมชาติ สัญญาณการดูดกลืนที่ $1,380\text{ cm}^{-1}$ และ $1,457\text{ cm}^{-1}$ เป็นการสั่นแบบงอของ $-\text{CH}$ ในหมู่ $-\text{CH}_2$ และ CH_3 ของยางธรรมชาติ ส่วนพีคที่ปรากฏที่เลขคลื่นเท่ากับ $1,600\text{ cm}^{-1}$ เป็นการสั่นยืดของพันธะคู่ ($\text{C}=\text{C}$) ในยางธรรมชาติและพีคที่ปรากฏเลขคลื่นประมาณ $2,861$ และ $2,928\text{ cm}^{-1}$ เป็นการสั่นยืดของ $-\text{CH}$ ในหมู่ $-\text{CH}_2$ และ $-\text{CH}_3$ ของยางธรรมชาติ [13]



รูปที่ 4.1 อินฟราเรดสเปกตรัมของยางธรรมชาติ (Natural rubber; NR) (A) และยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (Epoxidized natural rubber; ENR) (B)

รูปที่ 4.1 (B) เมื่อพิจารณาสเปกตรัมการดูดกลืนแสง จะพบพีคดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของหมู่อีพอกไซด์ของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่ตำแหน่ง 870 cm^{-1} แสดงถึงการสั่นของพันธะ -CH ที่เกาะอยู่บนหมู่อีพอกไซด์ในยางธรรมชาติอีพอกไซด์ สัญญาณดูดกลืนที่ $1,210\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งพบว่าเป็นการสั่นของวงแหวนอีพอกไซด์ และการสั่นแบบยึดของพันธะ -CO ในหมู่อีพอกไซด์ นอกจากนี้จะเห็นสเปกตรัมของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ มีพีคการดูดกลืนที่เลขคลื่นประมาณ $1,690\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งแสดงการสั่นของหมู่ C=O ที่อาจเกิดจากการเปิดวงแหวนอีพอกไซด์ที่ได้จากการสังเคราะห์ [13] จากผลการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยเทคนิค FTIR แสดงให้เห็นว่าการวิจัยนี้สามารถทำการเตรียมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ได้สำเร็จ ซึ่งได้นำไปเตรียมวัสดุผสมกับสารตัวเติมจากเมล็ด และเปลือกหุ้มเมล็ดของยางพาราที่ได้เตรียมขึ้น และทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติกับ วัสดุผสมที่เตรียมจากน้ำยางธรรมชาติที่ไม่ได้ปรับปรุงโครงสร้าง ดังผลที่จะแสดงในหัวข้อต่อไป

4.4 การกระจายตัวของสารตัวเติมในยางธรรมชาติ และยางธรรมชาติอีพอกไซด์

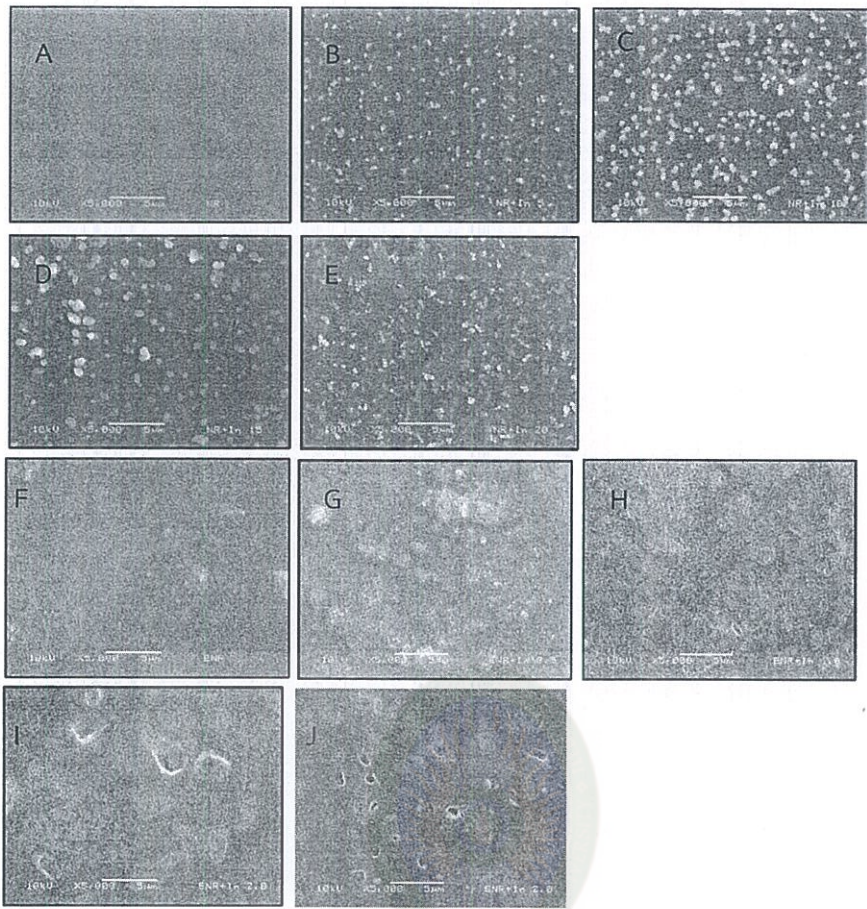
หลังจากที่ทำการเตรียมน้ำยางอีพอกไซด์ และสารตัวเติมที่ทำจากเมล็ดยางพารา และเปลือกหุ้มเมล็ดยางพาราได้สำเร็จ ผู้ทำการวิจัยก็ได้เตรียมวัสดุผสมขึ้น โดยทำการผสมสารตัวเติมแต่ละชนิดลงในน้ำยางธรรมชาติ และน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ ในปริมาณ 0.5 1.0 2.0 และ 4.0 phr หลังจาก

เตรียมวัสดุผสมแล้ว นำวัสดุผสมที่ได้มาวิเคราะห์ความกระจายตัวของสารตัวเติมในน้ำยางทั้งสองชนิด ด้วยเทคนิค SEM ผลการกระจายตัวของเมล็ดยางพาราปริมาณต่างๆ ในยางธรรมชาติ และในยางธรรมชาติอ็อกไซด์ แสดงดังรูปที่ 4.2 และผลการกระจายตัวของเปลือกหุ้มเมล็ดยางพาราปริมาณต่างๆ ในยางธรรมชาติ และยางธรรมชาติอ็อกไซด์ แสดงดังรูปที่ 4.3

รูปที่ 4.2 แสดง SEM micirgraph ของวัสดุผสมของยางธรรมชาติ และยางธรรมชาติอ็อกไซด์ ที่ผสมเมล็ดยางพาราในปริมาณต่างๆ รูปที่ 4.2(A) และ 4.2(F) คือยางธรรมชาติ และยางธรรมชาติอ็อกไซด์ที่ไม่ได้มีการผสมเมล็ดยางพารา ตามลำดับ จะสังเกตเห็นว่าพื้นผิวของวัสดุมีลักษณะเรียบเป็นเนื้อเดียวกัน เนื่องจากไม่มีสิ่งใดเจือปน รูปที่ 4.2 (B-E) คือยางธรรมชาติที่ทำการผสมเมล็ดยางพาราในปริมาณ 0.5 1.0 2.0 และ 4.0 Phr ตามลำดับ จะเห็นได้ชัดเจนว่าสารตัวเติม ซึ่งในที่นี้คือเมล็ดยางพารามีการกระจายตัวในเนื้อยางธรรมชาติได้ค่อนข้างชัดเจน และกระจายตัวสม่ำเสมอเมื่อมีปริมาณสารตัวเติมน้อย แต่การผสมสารตัวเติมในปริมาณมากคือ 4.0 phr สารตัวเติมจะมีการรวมกลุ่มกันเล็กน้อย และพบว่ามีการแยกเฟสกันอย่างชัดเจนระหว่างสารตัวเติมและยางธรรมชาติซึ่งลักษณะที่สังเกตเห็นนี้แสดงให้เห็นว่าการเข้ากันได้ระหว่างเมล็ดยางพาราและยางธรรมชาติยังไม่ได้เท่าที่ควร เพราะยังเห็นการแยกกันอยู่อย่างชัดเจน ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน แต่ในทางกลับกัน รูปที่ 4.2 (G-J) แสดงถึงการกระจายตัวของเมล็ดยางพาราปริมาณต่างๆ ในน้ำยางธรรมชาติอ็อกไซด์ พบว่าลักษณะพื้นผิวของวัสดุผสมค่อนข้างเรียบเป็นเนื้อเดียวกัน ไม่เห็นการแยกเฟสอย่างชัดเจนของเมล็ดยางพารา ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมล็ดยางพาราสามารถเข้ากันได้ดีกับน้ำยางธรรมชาติอ็อกไซด์ มากกว่าน้ำยางธรรมชาติ

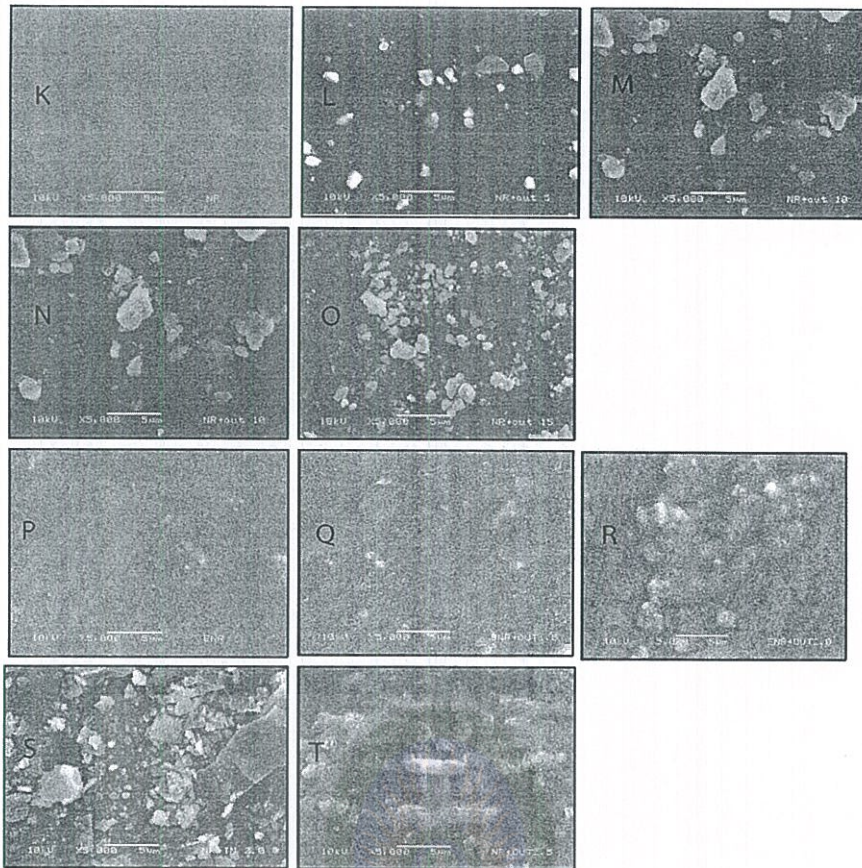
สาเหตุเนื่องมาจาก โครงสร้างของยางธรรมชาติอ็อกไซด์มีหมู่ฮิพอกซีปรากอยู่ ซึ่งเป็นการทำให้ยางธรรมชาติมีสภาพขรุขระเพิ่มมากขึ้น และเมล็ดยางพาราซึ่งมีองค์ประกอบเป็นโปรตีนในปริมาณมากโดยมีสภาพขรุขระเป็นบวก ดังนั้นจึงทำให้เกิดแรงดึงดูดทางไฟฟ้า แรงยึดเหนี่ยวที่มากขึ้นระหว่างเมล็ดยางพารา และน้ำยางธรรมชาติอ็อกไซด์ จึงส่งผลต่อความเข้ากันได้ที่มากขึ้นกว่ายางธรรมชาติที่ไม่ได้มีการปรับปรุงโครงสร้าง ซึ่งการที่สารตัวเติมเข้ากันได้ดีกับยางธรรมชาติอ็อกไซด์มากกว่านี้ จะส่งผลต่อความเสถียรทางความร้อนของวัสดุที่มากกว่าด้วย ดังจะได้อภิปรายในหัวข้อต่อไป

รูปที่ 4.3 แสดง SEM micirgraph ของวัสดุผสมของยางธรรมชาติ และยางธรรมชาติอ็อกไซด์ ที่ผสมสารตัวเติมในปริมาณต่างๆ เช่นเดียวกับกับรูปที่ 4.2 แต่สารตัวเติมเป็นคณละชนิด ซึ่งผลในรูปที่ 4.3 นี้ใช้สารตัวเติมเป็นเปลือกหุ้มเมล็ดยางพารา แนวโน้มของลักษณะการกระจายตัวเป็นเช่นเดียวกับกับของเมล็ดยางพารา คือเปลือกหุ้มเมล็ดยางพาราสามารถกระจายตัวและเข้ากันได้กับน้ำยางธรรมชาติอ็อกไซด์ มากกว่าน้ำยางธรรมชาติที่ไม่ได้ปรับปรุงโครงสร้าง ซึ่งสามารถอธิบายเหตุผลได้ในทำนองเดียวกันดังได้กล่าวมาแล้วเบื้องต้น และเมื่อเปรียบเทียบการกระจายตัวของสารตัวเติมทั้ง 2 ชนิดจะพบว่า สารตัวเติมทั้งสองมีการกระจายตัว และความเข้ากันได้กับเนื้อยางที่ไม่แตกต่างกันมากนัก



รูปที่ 4.2 SEM micrograph ของธรรมชาติผสมเมล็ดยางพาราปริมาณ 0.0 0.5 1.0 2.0 และ4.0phr (A-E) ตามลำดับ และยางธรรมชาติอีพอกไซด์ผสมเมล็ดยางพาราปริมาณ 0.0 0.5 1.0 2.0 และ 4.0phr (F-J) ตามลำดับ

RAJABHAT MANITOPHAKKAM UNIVERSITY



รูปที่ 4.3 SEM micrograph ยางธรรมชาติผสมเปลือกหุ้มเมล็ดยางพาราปริมาณ 0.0 0.5 1.0 2.0 และ 4.0phr (K-O) ตามลำดับ และยางธรรมชาติอิพอกไซด์ผสมเปลือกหุ้มเมล็ดยางพาราปริมาณ 0.0 0.5 1.0 2.0 และ 4.0phr (P-T) ตามลำดับ

4.5 ความเสถียรทางความร้อนของยางธรรมชาติ และยางธรรมชาติอิพอกไซด์เมื่อผสมสารตัวเติม

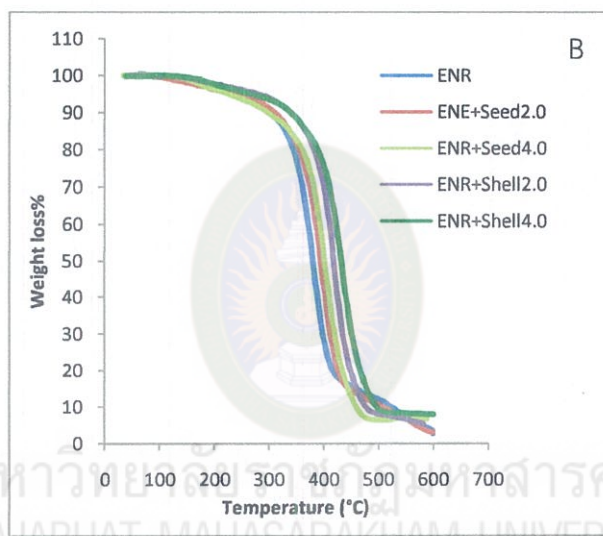
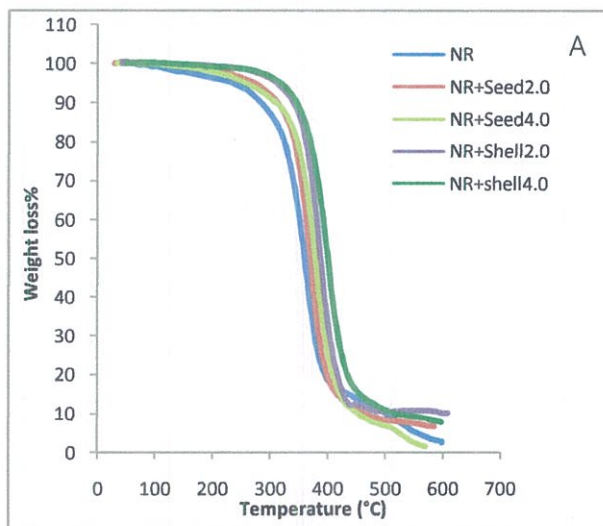
หลังจากทำการเตรียมวัสดุผสมของยางธรรมชาติกับสารตัวเติมทั้งสองชนิด และยางธรรมชาติอิพอกไซด์กับสารตัวเติมทั้งสองชนิดแล้ว ได้นำวัสดุผสมมาวิเคราะห์ความเสถียรทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA ดังได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 3.12.3 ซึ่งผลการวิเคราะห์เป็นดังต่อไปนี้

4.5.1 อิทธิพลของสารตัวเติมที่ส่งผลต่อความเสถียรทางความร้อนในยางธรรมชาติ และยางธรรมชาติอีพอกไซด์

ดังได้กล่าวมาแล้วว่าสารตัวเติมที่นำมาใช้ในการวิจัยมี 2 ชนิดได้แก่ เมล็ดยางพารา และเปลือกหุ้มเมล็ดยางพารา และจากการวิเคราะห์ปริมาณเยื่อใย และปริมาณเถ้าในสารตัวเติมทั้งสองชนิดในหัวข้อ 4.2.3 และ 4.2.4 ตามลำดับ พบว่าเปลือกหุ้มเมล็ดยางพารามีทั้งปริมาณเยื่อใย และปริมาณเถ้าที่สูงกว่าในเมล็ดยางพารา ซึ่งส่งผลทำให้เปลือกหุ้มเมล็ดมีความทนความร้อนได้สูงกว่าเมล็ดยางพารา และจากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TGA เมื่อนำสารตัวเติมทั้งสองชนิดผสมในน้ำยางธรรมชาติ และในน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์แล้วก็สามารถทำให้น้ำยางทั้งสองชนิดมีความเสถียรทางความร้อนที่สูงขึ้นได้ โดยสังเกตจาก thermogram แสดงในรูปที่ 4.4 (A) และ (B) โดยที่ยางธรรมชาติ (NR) หรือยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (ENR) ที่ไม่ได้เติมสารตัวเติมจะมีการสลายตัวที่อุณหภูมิที่ต่ำที่สุดประมาณ 350°C และหลังจากเติมเมล็ดยางพารา หรือเปลือกหุ้มเมล็ดยางพารา แล้วพบว่าการสลายตัวของยางธรรมชาติ และยางธรรมชาติอีพอกไซด์เกิดที่อุณหภูมิสูงขึ้น โดยสารตัวเติมชนิดที่ทำจากเปลือกหุ้มเมล็ดนั้นทำให้ความเสถียรทางความร้อนของยางสูงกว่าสารตัวเติมที่จากเมล็ดยางพารา นอกจากนี้ยังพบว่าความเสถียรของยางทั้งสองชนิดเพิ่มมากขึ้น เมื่อปริมาณของสารตัวเติมเพิ่มขึ้น



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



รูปที่ 4.4 Thermogram ของยางธรรมชาติที่ผสมสารตัวเติมในปริมาณต่างๆ (A) และยางธรรมชาติอิพอกไซด์ที่ผสมสารตัวเติมในปริมาณต่างๆ (B)

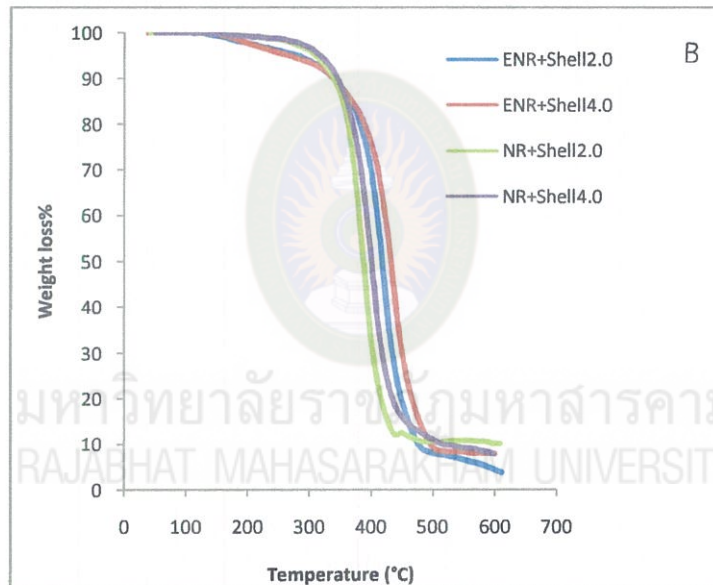
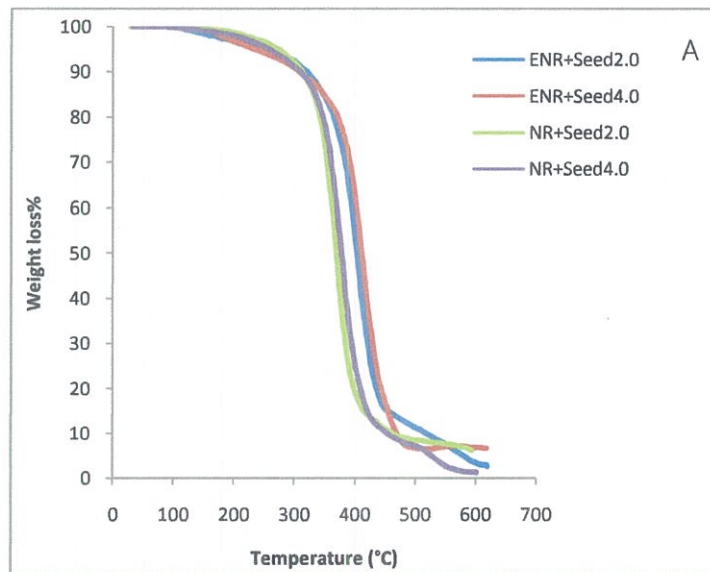
4.5.2 อิทธิพลของชนิดยางธรรมชาติเมื่อผสมด้วยสารตัวเติมที่ส่งผลต่อความเสถียรทางความร้อน

ดังได้กล่าวมาแล้วว่ายางธรรมชาติที่ได้นำมาทำการวิจัยนี้มี 2 ชนิด ได้แก่ ยางธรรมชาติ และยางธรรมชาติอิพอกไซด์ ที่ทำการปรับปรุงโครงสร้างผ่านกระบวนการอิพอกซิเดชัน ทำให้บนสายโซ่โมเลกุลของยางธรรมชาติ ปรากฏหมู่อิพอกไซด์เกิดขึ้น ดังผลที่วิเคราะห์ด้วย FTIR ในหัวข้อ 4.3 ซึ่งยางทั้งสองชนิดนี้ เมื่อนำมาทำการผสมสารตัวเติมแล้ว ส่งผลต่อความเข้ากันได้ของสารตัวเติมทั้งสองชนิดที่แตกต่างกัน คือ น้ำยางธรรมชาติอิพอกไซด์สามารถเข้ากันได้กับสารตัวเติมทั้งสองชนิดดีกว่า น้ำยาง

ธรรมชาติที่ไม่ได้มีการปรับปรุงโครงสร้าง ดังได้อภิปรายมาแล้วในหัวข้อ 4.4 ซึ่งการที่สารตัวเติมสามารถเข้ากันได้ดีกว่ากับน้ำยางธรรมชาติอพอกไซด้นั้น ส่งผลต่อความเสถียรทางความร้อนที่สูงกว่าด้วย เนื่องจากเนื้อยาง และสารตัวเติมได้รวมตัวกันเกิดแรงยึดเหนี่ยวกันสูงทำให้สามารถรับพลังงานความร้อนไว้ได้สูงและเกิดการสลายตัวได้ยากขึ้น โดยสังเกตได้จาก thermogram ดังแสดงในรูปที่ 4.5 (A) และ (B) ซึ่งเห็นได้ชัดเจนว่าการลดลงของร้อยละของน้ำหนักตัวของยางธรรมชาติอพอกไซดที่ผสมเมล็ดยางพารา (ENR+Seed) หรือยางธรรมชาติอพอกไซดที่ผสมเปลือกหุ้มเมล็ดยางพารา (ENR+Shell) ในปริมาณต่างๆ เกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงกว่าของยางธรรมชาติที่ผสมเมล็ดยางพารา (NR+Seed) หรือยางธรรมชาติที่ผสมเปลือกหุ้มเมล็ดยางพารา (NR+Shell) ในปริมาณต่างๆ จึงสรุปได้ว่าวัสดุผสมที่เกิดจากยางธรรมชาติอพอกไซดที่ผสมสารตัวเติมทั้งสองชนิดนั้น มีความเสถียรทางความร้อนที่สูงกว่า วัสดุผสมที่เกิดจากยางธรรมชาติที่ผสมสารตัวเติมทั้งสองชนิด โดยสารตัวเติมชนิดที่ทำจากเปลือกหุ้มเมล็ดยางพารานั้นทำให้เกิดความเสถียรทางความร้อนสูงสุดคือ ชนิดที่ทำจากเมล็ดยางพารา โดยผสมในยางปริมาณ 4.0phr โดยทำให้อุณหภูมิการสลายตัวเพิ่มสูงขึ้นเป็นประมาณ 400°C



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบ thermogram ระหว่างยางธรรมชาติ กับยางธรรมชาติอโฟกไซด์ที่ผสมเมล็ด
 ยางพาราในปริมาณต่างๆ (A) และยางธรรมชาติ กับยางธรรมชาติอโฟกไซด์ที่ผสมเปลือกหุ้มเมล็ด
 ยางพาราในปริมาณต่างๆ (B)

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

สารตัวเต็มทั้งสองชนิด ที่เตรียมจากเมล็ดยางพารา และเปลือกหุ้มเมล็ดยางพารา เมื่อนำมาผสมในยางธรรมชาติ หรือยางธรรมชาติอ็อกไซด์สามารถปรับปรุงคุณสมบัติทางความร้อนของยางทั้งสองชนิดให้สูงขึ้นได้ ซึ่งจากเดิมมีการสลายตัวอยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 350°C หลังจากเติมสารตัวเต็มแล้วทำให้สลายตัวที่อุณหภูมิสูงกว่าเดิมทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณ โดยสารตัวเต็มชนิดที่เตรียมจากเปลือกหุ้มเมล็ดยางพารามีประสิทธิภาพช่วยเพิ่มความเสถียรทางความร้อนให้แก่ยางสูงมากกว่าที่เตรียมจากเมล็ดยางพารา โดยเมื่อใช้ในปริมาณ 4 phr ความเสถียรทางความร้อนจะเพิ่มขึ้นสูงสุด และวัสดุผสมที่เตรียมจากยางธรรมชาติอ็อกไซด์ผสมกับสารตัวเต็มมีคุณสมบัติทางความร้อนที่สูงกว่าวัสดุผสมที่เตรียมจากยางธรรมชาติที่ไม่ได้ปรับโครงสร้างผสมกับสารตัวเต็ม

5.2 อภิปรายผล

การวิจัยในครั้งนี้ถือว่าประสบความสำเร็จตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ คือสามารถเตรียมสารตัวเต็มจากเมล็ดยางพารา และเปลือกหุ้มเมล็ดยางพาราได้สำเร็จ อีกทั้งสารตัวเต็มทั้งสองชนิดที่ทำการเตรียมขึ้นมีประสิทธิภาพในการใช้งาน โดยสามารถทำให้ยางธรรมชาติ และยางธรรมชาติอ็อกไซด์มีความเสถียรทางความร้อนที่สูงขึ้นได้ ซึ่งวิเคราะห์จากอุณหภูมิการสลายตัวของยางที่เกิด ณ อุณหภูมิที่สูงขึ้นจากเดิม แต่ทั้งนี้สารตัวเต็มทั้งสองชนิดก็มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน คือสารตัวเต็มที่เตรียมจากเปลือกหุ้มเมล็ดยางพาราจะมีประสิทธิภาพในการเพิ่มความเสถียรทางความร้อนได้สูงกว่าเนื่องจากองค์ประกอบของเยื่อใย และเส้นใยที่มีปริมาณสูงกว่านั่นเอง

5.3 ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

ดังได้กล่าวไปแล้วเบื้องต้น แม้ว่าสารตัวเต็มทั้งสองชนิดที่เตรียมขึ้นจะมีประสิทธิภาพช่วยเพิ่มความเสถียรทางความร้อนให้แก่ยางธรรมชาติ แต่จากผลการวิเคราะห์เห็นได้ชัดเจนว่าสารตัวเต็มที่เตรียมจากเปลือกหุ้มเมล็ดยางพาราจะมีประสิทธิภาพในการเพิ่มความเสถียรทางความร้อนได้สูงกว่า ดังนั้นผู้วิจัยจึงเสนอให้เลือกใช้สารตัวเต็มที่เตรียมจากเปลือกหุ้มเมล็ด และโครงสร้างของยางธรรมชาติก็ส่งผลต่อความเข้ากันได้กับสารตัวเต็มด้วย หากปรับปรุงโครงสร้างของยางธรรมชาติ ให้เป็นยางธรรมชาติอ็อกไซด์แล้ว จะทำให้ยางและสารตัวเต็มเข้ากันได้ดีกว่า ซึ่งส่งผลต่อความเสถียรทางความ

ร้อนที่สูงกว่านั่นเอง ดังนั้นจึงเสนอให้มีการปรับปรุงให้กลายเป็นยางธรรมชาติอีพอกไซด์ด้วย แต่ทั้งนี้ต้นทุนในการผลิตก็จะสูงขึ้นตามด้วย

5.4 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

การนำยางธรรมชาติไปใช้ในทางอุตสาหกรรมนั้นจะมีขั้นตอนการทำให้ยางเกิดการคงตัว ด้วยกระบวนการวัลคาไนเซชันเสียก่อน ด้วยการใช้สารเคมีต่างๆ และความร้อน ซึ่งมีงานวิจัยหลายงานได้ออกสูตรที่เหมาะสมเอาไว้แล้ว ดังนั้นหากการวิจัยขั้นนี้ได้ทำการวัลคาไนเซชันก่อนที่จะทำการผสมสารตัวเติม แล้วนำมาทดสอบคุณสมบัติทางความร้อน และควรจะมีการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล จะทำให้ได้ผลการวิจัยที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น คือเป็นผลที่สามารถเป็นข้อมูลในการใช้งานทางอุตสาหกรรมได้จริง แต่ทั้งนี้สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการวัลคาไนเซชันมีราคาแพง และกระบวนการผสม กระบวนการทดสอบ ต้องใช้เครื่องมือเฉพาะทาง ผู้วิจัยจึงต้องการทุนสนับสนุนที่สูงกว่าที่เคยได้รับมา



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บรรณานุกรม

- [1] สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร. (2555). *ข้อมูลวิชาการยางพารา*. กรุงเทพมหานคร: ชุมชนผู้สหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.
- [2] หน่วยวิจัยยางและเทคโนโลยี. (2556). *ยางธรรมชาติ*. 25 มิถุนายน 2557.
<http://rubber.sc.mahidol.ac.th/rubbertech/rubbertech.htm>
- [3] P.M. Visakh, Sabu Thomas, Kristiina Oksman, Aji P. Mathew. (2012). Crosslinked natural rubber nanocomposites reinforced with cellulose whiskers isolated from bamboo waste: Processing and mechanical/thermal properties. *Composites*, (43), 735-741.
- [4] ดร.พงษ์ธร แซ่ฮ้อย. (2552). พัฒนาการของเขม่าดำ. *วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยียาง วารสารเพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมยางไทย*, 3(2), 11.
- [5] รศ.ดร.ปิ่น จันจุฬา และคณะ. (2551). *การใช้ประโยชน์ของเนื้อในเมล็ดยางพารา และกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันเพื่อทดแทนกากถั่วเหลืองในอาหารแพะ. ระดับปริญญาตรี*. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่.
- [6] Adul Na Wichian. (2013). Preparation and Mechanical Property of the Epoxidized Natural Rubber from Field Latex. *Rubber Thai Journal*, (2), 1-8.
- [7] Julien Brasa, Mohammad L. Hassanb, Cecile Bruzessea, Enas A. Hassanb, Nahla A. El-Wakilb and Alain Dufresnea. (2010). Mechanical, barrier, and biodegradability properties of bagasse cellulose whiskers reinforced natural rubber nanocomposites. *Industrial Crops and Products*, (32), 627–633.
- [8] Daniel Pasquini, Elingela de Morais Teixeira, Antunio da Silva Curvelob, Mohamed Naceur Belgacemc and Alain Dufresne. (2010). Extraction of cellulose whiskers from cassava bagasse and their applications as reinforcing agent in natural rubber. *Industrial Crops and Products*, 32. 486–490.

- [9] เคมีรามคำแหง. (2551). สารเคมีในยาง. 8 กรกฎาคม 2558. <http://www.bloggang.com/viewdiary.php?id=rubber-chemist&month=07-2008&date=21&group=4&gblog=8>
- [10] ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ. (2013). หลักการ Thermogravimetric analysis. 8 กรกฎาคม 2558. http://www.nanotec.or.th/th/?page_id=569.
- [11] H. Nabil and H. Ismail. (2014). Enhancing the thermal stability of natural rubber/recycled ethylene-propylene-diene rubber blends by means of introducing pre-vulcanised ethylene-propylene-diene rubber and electron beam irradiation. *Materials and Design*, (56), 1056-1067.
- [12] AOAC. (1990). *Official Methods of Analyses*. Arlington: VA.
- [13] Bac, viet.Nguyen.,Levon,Terlemezyan. And Mihailov. (1991). on the Stability and In Situ Epoxidation of Natural Rubber in Latex by Performic Acid. *Journal of Applied Polymer Science*, 42(11), 2965-2973.



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

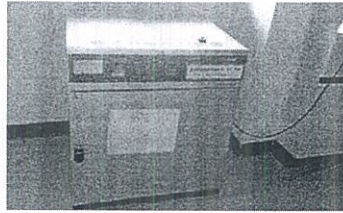
ภาคผนวก



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาคผนวก ก

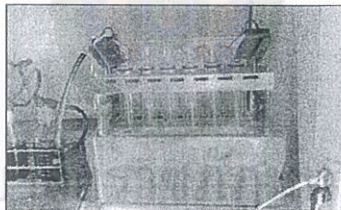
เครื่องมือที่ใช้ในโครงการวิจัย



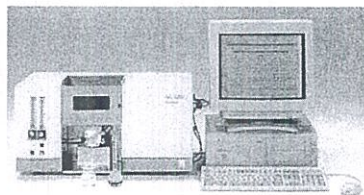
รูปที่ ก-1 ตู้อบลมร้อนแบบไฟฟ้า(Hot air oven)



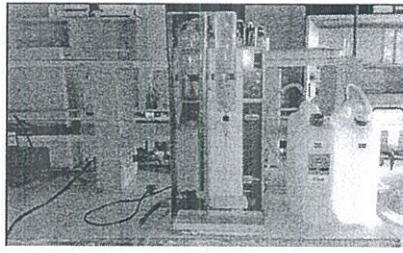
รูปที่ ก-2 เครื่องชั่งไฟฟ้า 4 ตำแหน่ง(Electrical or Analytical Balance)



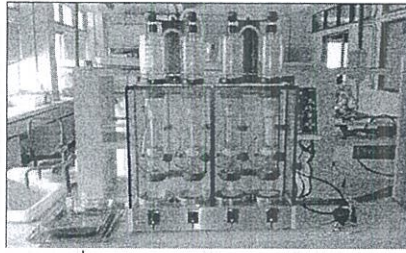
รูปที่ ก-3 เครื่องย่อยโปรตีน (Digester and Scrubber)analysis



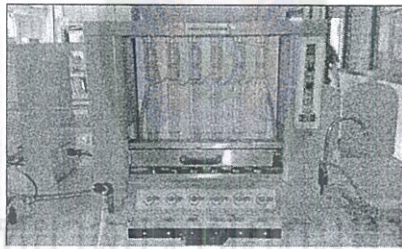
รูปที่ ก-4 เครื่อง Thermogravimetric Analysis (TGA) SHIMADZU TGA-50



รูปที่ ก-5 เครื่องกลั่นโปรตีน(Distillator)



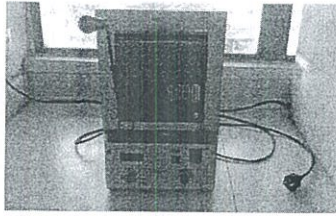
รูปที่ ก-6 เครื่องวิเคราะห์ไขมัน(Soxhlet Extractor)



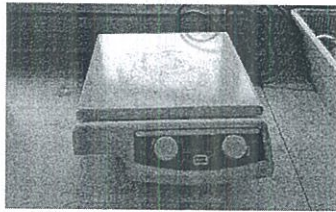
รูปที่ ก-7 เครื่องสกัดเยื่อใย (Crude Fiber)



รูปที่ ก-8 โถดูดความชื้น (Desiccator)



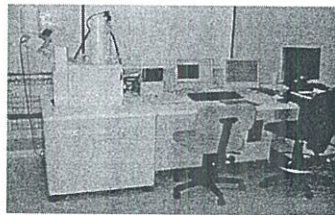
รูปที่ ก-9 เตาเผาความร้อนสูง (Muffle Furnace)



รูปที่ ก-10 เครื่องกวนสารละลายด้วยแท่งแม่เหล็ก (Magnetic Stirrer)



รูปที่ ก-11 เครื่อง Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) microscope รุ่น JSM-6460



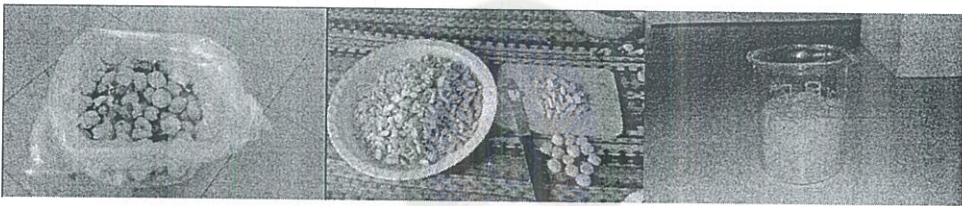
รูปที่ ก-12 Scanning electron microscope (SEM) LV รุ่น Speatrum 2000

ภาคผนวก ข

วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

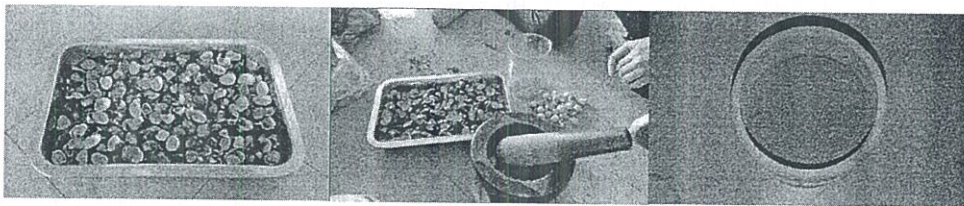


รูปที่ ข-1 ยางธรรมชาติ จากบ้านหนองกลางโคก
ต.นาตุน อ.นาตุน จ.มหาสารคาม



รูปที่ ข-2 สารตัวเติมที่ได้จากเมล็ดยางพารา

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



รูปที่ ข-3 สารตัวเติมที่ได้จากเปลือกนอกยางพารา

ภาคผนวก ค

1. หลักการวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน

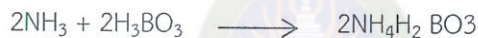
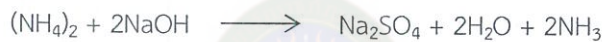
สารประกอบอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบจะถูกทำให้สลายตัวด้วยกรดซัลฟูริก ที่มีความเข้มข้น คาร์บอนและไนโตรเจนในสารประกอบจะถูกออกซิไดซ์เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และกรดซัลฟูริกส่วนหนึ่งจะเปลี่ยนไปเป็นเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งจะเปลี่ยนสารประกอบไนโตรเจนให้เป็นแอมโมเนียม และแอมโมเนียมจะรวมตัวกับกรดซัลฟูริกได้เป็นแอมโมเนียมซัลเฟต และเมื่อมีการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงไปในการละลายที่มีการย่อยแอมโมเนียมจะลอยตัวขึ้นมา จึงทำให้การกลั่นแอมโมเนียมในกรดบอริกที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน ปัจจุบันนิยมใช้บอริกเป็นตัวจับแอมโมเนียม จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน

ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยา

1. การย่อย (Digestion) นำมาตัวอย่างมาย่อยสลาย (Digest) ด้วยกรดซัลฟูริกที่เข้มข้นเพื่อเปลี่ยนองค์ประกอบของไนโตรเจนในสารตัวอย่างนั้นเป็นแอมโมเนียมซัลเฟต ดังนี้



2. การกลั่น (Distillation) เมื่อปฏิกิริยาการย่อยเกิดสมบูรณ์ และสารตัวอย่างที่ย่อยเสร็จทิ้งไว้ให้เย็นแล้วทำการเติมสารละลายต่างลงไปจะทำให้เกิดก๊าซแอมโมเนีย ซึ่งทำให้การเก็บก๊าซแอมโมเนียโดยใช้การสลายตัวกรดมาตรฐานที่เกินพอหรือกรดบอริก



3. การไทเทรต (Titration) เป็นขั้นตอนการหาปริมาณไนโตรเจนในสารตัวอย่าง โดยการไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐาน



ในกรณีที่ใช้กรดบอริกเป็นตัวจับแอมโมเนีย จะทำการไทเทรตกับสารละลายกรดแก่มาตรฐานเนื่องจากเกลือบอเรตสมมูลพอดีกับ แอมโมเนีย มีความเป็นเบสมากและกรดบอริกที่มีเกินพอดีก็เป็นกรดอ่อนซึ่งไม่รบกวนการไทเทรต

วิธีการหาปริมาณโปรตีน วิธีที่รู้จักกันคือ Kjeldahl method โดยใช้หลักว่าไนโตรเจนที่มีอยู่ในสารอินทรีย์ส่วนมากมาจากโปรตีน ดังนั้นการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจน ซึ่งเป็นหลักการของวิธีนี้จึงใช้ได้กับอาหารทุกชนิด เมื่อต้องการคำนวณหาปริมาณโปรตีน ก็เปลี่ยนค่าไนโตรเจนอีกครั้งด้วยค่าคงที่คือ Conversion factor หลักการของวิธีนี้คือ ย่อยตัวอย่างด้วยกรดกำมะถันอย่างเข้มข้นที่อุณหภูมิสูงๆเพื่อให้โปรตีนหรือไนโตรเจนในตัวอย่างเปลี่ยนแปลงมาอยู่ในรูปของแอมโมเนียมซัลเฟตแล้วใช้สารละลายต่างเข้มข้น เป็นตัวทำละลายกับเกลือดังกล่าวจะเกิดก๊าซแอมโมเนียขึ้น จับก๊าซที่เกิดขึ้นโดยใช้กรดบอริก นำไปไทเทรตกับกรดโดยมีอินดิเคเตอร์เป็นตัวชี้บอก แล้วนำไปคำนวณหาปริมาณโปรตีน ปริมาณโปรตีนที่วิเคราะห์นี้เป็นค่าประเมินที่เรียกว่า Crude protein

2. หลักการวิเคราะห์หาปริมาณไขมัน

หลักการของเครื่องมือซอลเลต จะใช้ตัวทำละลายในปริมาณน้อย เนื่องจากตัวทำละลายที่สกัดสารแล้วจะถูกทำให้ระเหยและควบแน่นกลับมาเมื่อเจอบรรยากาศเย็น ทำให้สกัดได้อีกเป็นลักษณะหมุนเวียน โดยตัวทำละลายที่เราใส่ลงไป เครื่องมือจะหมุนเวียนผ่านสารที่เราต้องการสกัด หลายๆครั้งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการสกัด จนกระทั่งสารที่เราสกัดออกมามีปริมาณมากพอ ในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดพืชนั้น มีวิธีการทำได้ 3 วิธี การใช้แรงบีบอัด การสกัดด้วยตัวทำละลาย และสกัดแบบผสม คือ การบีบอัดแล้วสกัดด้วยตัวทำละลาย น้ำมันพืชจะไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น เฮกเซน ปีโตรเลียมอีเทอร์ เบนซีน เฮปเทน เอทานอล อะซิโตน คาร์บอนเตตระคลอไรด์ และ คีโตน เนื่องจากมีตัวทำละลายหลายชนิดที่ใช้ในการสกัดน้ำมัน และตัวทำละลายแต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่ต่างกันไป จึงมีการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวทำละลายชนิดต่างๆ พบว่า เฮกเซน มีอัตราการทำละลายเท่ากับส่วนคาร์บอนไดออกไซด์ มีอัตราการทำละลายได้สูงกว่า เฮกเซน



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาคผนวก ง

1. การคำนวณค่าเฉลี่ย

$$\text{สูตรที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล } \bar{X} = \frac{\sum x}{n}$$

เมื่อ \bar{X} = ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของกลุ่มตัวอย่าง

n = จำนวนข้อมูลทั้งหมด

$\sum x$ = ผลรวมปริมาณข้อมูล

2. ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$$\text{สูตรที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล S.D.} = \frac{\sqrt{\sum (\bar{x} - x)^2}}{n-1}$$

เมื่อ S.D = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

x = ข้อมูลแต่ละครั้ง

\bar{X} = ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของกลุ่มตัวอย่าง

N = จำนวนข้อมูลทั้งหมด

3. การคำนวณหาปริมาณโปรตีน

$$\text{ปริมาณโปรตีน (\%)} = ((A-B) \times n \times 14.007 \times F) / W \times 100$$

A = ปริมาณ HCl ที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

B = ปริมาณ HCl ที่ใช้ไทเทรตกับ Blank (มิลลิลิตร)

n = ความเข้มข้นของกรด HCl (นอร์มอล)

F = แฟกเตอร์ของถั่วเหลือง

W = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

4. การคำนวณหาปริมาณไขมัน

$$\text{ปริมาณไขมัน (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักของไขมัน}}{\text{น้ำหนักของตัวอย่าง}} \times 100$$

ตัวอย่างเช่น

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณไขมัน (\%)} &= \frac{0.7332}{2.0017} \times 100 \\ &= 36.6289\% \end{aligned}$$

5. การคำนวณหาปริมาณเยื่อใย

$$\text{ปริมาณเยื่อใย (\%)} = \frac{w_2 - w_1}{w} \times 100$$

เมื่อ W = น้ำหนักตัวอย่าง

W_1 = น้ำหนัก Extraction Cups (กรัม)

W_2 = น้ำหนัก Extraction Cups และ น้ำหนักไขมันหลัอง (กรัม)

ตัวอย่างเช่น

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณเยื่อใย} &= \frac{29.8286 - 29.8839}{0.6531} \times 100 \\ &= 8.4673\% \end{aligned}$$

6. การคำนวณหาปริมาณเถ้า

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณเถ้า} \quad (\%) &= \frac{W_1 - W_2}{W} \times 100 \\ \text{เมื่อ } W &= \text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง (กรัม)} \\ W_1 &= \text{น้ำหนักครุชีเบิล + น้ำหนักเถ้าหลังเผา (กรัม)} \\ W_2 &= \text{น้ำหนักครุชีเบิล (กรัม)} \\ \text{ตัวอย่างเช่น} \\ \text{ปริมาณเถ้า} &= \frac{31.7579 - 31.6105}{1.7698} \times 100 \\ &= 8.3286\% \end{aligned}$$



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ นางสาวดรชนีย์ พลหาญ
ตำแหน่ง อาจารย์
หน่วยงานสังกัด สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
โทรศัพท์ 084-112-0116

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2550 วิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) สาขาเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
พ.ศ. 2553 วิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.ม.) สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีพอลิเมอร์
มหาวิทยาลัยมหิดล
พ.ศ. 2556 กำลังศึกษาต่อ ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (ปร.ด.) สาขาเคมี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
งานวิจัย / ผลงานวิจัย

1. Jitladda T. Sakdapipanich, Pawasut Rodkerd, Nataphon Phupewkeaw and Dutchanee Pholharn, "A comparative study of oleoresin from the Doi Tung Development Project and commercial grade from China", 34th Congress on Science and Technology of Thailand (STT34), 31 October - 2 November 2008, Queen Sirikit National Convention Center, Bangkok, Thailand.
2. Dutchanee Pholharn and Jitladda Sakdapipanich, "THE DEVELOPMENT OF PUNCTURE SEALING AGENT FOR USING AT WIDE RANGES OF TEMPERATURE", 35th Congress on Science and Technology of Thailand (STT35), 15-17 October 2009, Burapha University, Chonburi, Thailand.
3. Jitladda Sakdapipanich, Dutchanee Pholharn and Teeraphan Toterakul, "Characterization of oleoresin from pine trees in Thailand", Asia Pacific Natural Products expo (NATPRO) 2008, Naresuan University, Phayao, Thailand.
4. Dutchanee Pholharn, and Jitladda Sakdapipanich, "Development of Puncture Sealing Agent for Use Over a Wide Temperature Range", International Conference on Functionalized and Sensing Materials 2009, 7-9 December 2009, Bangkok, Thailand.
5. Dutchanee Pholharn and Jitladda Sakdapipanich, "Development of low temperature applicable puncture sealing agent from natural rubber latex", 2nd Polymer Graduate Conference of Thailand, 21-22 May 2009, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand.
6. Dutchanee Ph., Jaruporn P., Namphet Pr. and Pornpun N.' "Improving Thermal stability of Natural Rubber by Modified Functionality and Compositated with Para Rubber Seed and Shell", The 4th Global Conference on Materials Science and Engineering, 3-6 August 2015, Macau, China.
7. Yottha Srithep, Dutchanee Pholharn, Onpreeya Veang-in and John Morris, "Effect of Nucleation and Stereocomplex Formation of Poly(lactic acid)", The 4th Global Conference on Materials Science and Engineering, 3-6 August 2015, Macau, China.