

ความคงทนและสมบัติของเส้นใยปอกระเจาที่ปรับปรุงผิว  
ผสมในวัสดุยางคอมโพสิต

DURABILITY AND PROPERTIES OF JUTE FIBER TREATMENT  
IN GREEN FILLED RUBBER

พฤติพงศ์ พันธมนัสโสภา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
ปีการศึกษา 2557  
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

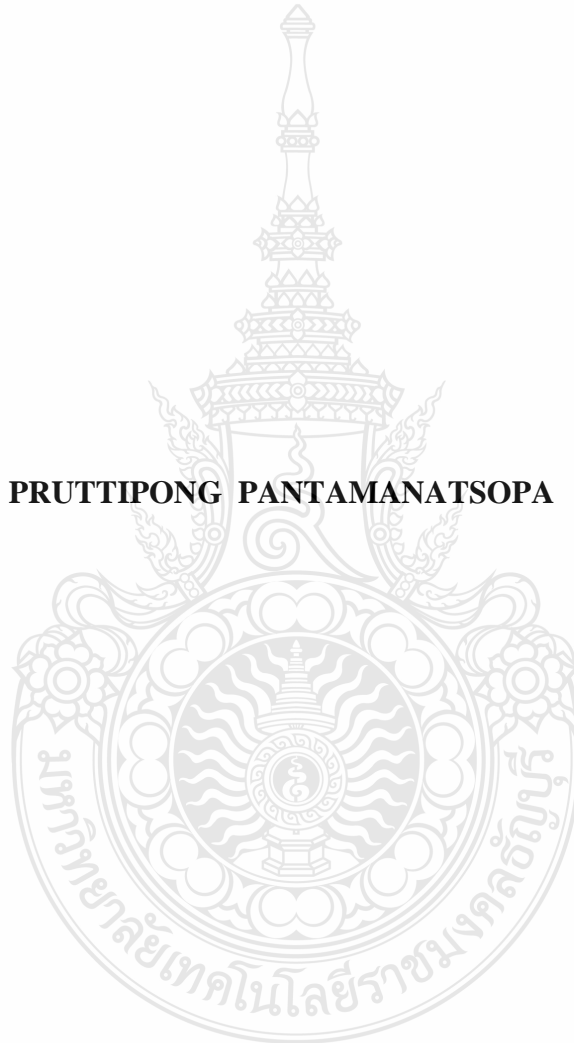
ความคงทนและสมบัติของเส้นใยปอกระเจาที่ปรับปรุงผิว  
ผสมในวัสดุคอมโพสิต

นายพุดติพงศ์ พันธมนัสโสภา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
ปีการศึกษา 2557  
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

# **Durability and properties of jute fiber treatment in green filled rubber**

**PRUTTIPONG PANTAMANATSOPA**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE  
REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING  
PROGRAM IN MATERIALS ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY THANYABURI  
ACADEMIC YEAR 2014  
COPYRIGHT OF RAJAMANGALA UNIVERSITY  
OF TECHNOLOGY THANYABURI**

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ความคงทนและสมบัติของเส้นใยปอกระเจาที่ปรับปรุงผิวผสมในวัสดุยางคอมโพสิต
ชื่อ-นามสกุล	นายพฤดิพงษ์ พันธมนัสโสภา
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์วารุณี อริยวิริยะนันท์, D. Eng.
ปีการศึกษา	2557

### บทคัดย่อ

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงผิวของเส้นใยปอกระเจา ความคงทนและสมบัติทางกลของยางคอมโพสิตเพื่อพัฒนาเป็นคอมโพสิตจากวัสดุธรรมชาติ งานวิจัยนี้ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และน้ำยางเป็นสารทำความสะอาดผิวและสารเชื่อมประสานตามลำดับ การปรับปรุงผิวเส้นใยใช้ 3 วิธีคือใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ น้ำยางที่มีความเข้มข้นของเนื้อยางแตกต่างกัน (HANR) และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับน้ำยาง (NaOH/HANR) เส้นใยที่ปรับปรุงผิวด้วยน้ำยางและ NaOH/HANR จะควบคุมความหนาด้วยระยะเวลาในการจุ่มและเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้ง (%DRC) ของน้ำยาง

จากการศึกษาพบว่าความหนาชั้นน้ำยางบนเส้นใยที่ความเข้มข้น 10-50 %DRC ไม่ได้รับอิทธิพลใดๆจากระยะเวลาในการจุ่ม ยกเว้นกรณีน้ำยางที่มีความเข้มข้น 60 %DRC เส้นใยที่ปรับปรุงผิวด้วยน้ำยางที่มี %DRC สูงกว่าจะมีค่าความคงทนมากกว่าการปรับปรุงผิวด้วย NaOH เพียงอย่างเดียวและการปรับปรุงผิวด้วย NaOH/HANR การทดสอบสมบัติทางกลของเส้นใยพบว่าไม่มีค่าระยะยืดเท่านั้นที่สูงขึ้นหลังการปรับปรุงผิวเส้นใยโดยค่าระยะยืดจะเพิ่มขึ้นเมื่อ %DRC สูงขึ้นค่าความเหนียวของเส้นใยที่มีการปรับปรุงผิวทั้งหมดพบว่ามีค่าต่ำกว่าเส้นใยที่ไม่ปรับปรุงผิว ดังนั้นในงานวิจัยนี้เลือกการปรับปรุงผิวเส้นใยที่เหมาะสมคือการใช้ NaOH/HANR ที่ 10 % DRC ผลจากสัณฐานวิทยาแสดงให้เห็นช่องว่างระหว่างเส้นใยที่ปรับปรุงผิวมีลักษณะแคบกว่าเส้นใยที่ไม่ได้มีการปรับปรุงผิว ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความเข้ากันได้ระหว่างน้ำยางที่เคลือบผิวเส้นใยกับเนื้อยาง ส่งผลให้ค่าแรงดึงคู่ระหว่างเส้นใยและเนื้อยางมีค่าสูงขึ้นซึ่งสอดคล้องกับผลของค่าดัชนีการบวมตัวค่าความทนต่อแรงดึงของยางคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใย 10 phr ที่ปรับปรุงผิวมีค่าสูงกว่าการเสริมแรงด้วยเส้นใยที่ไม่ปรับปรุงผิวประมาณสองเท่า

คำสำคัญ : คอมโพสิตยางธรรมชาติ เส้นใยปอกระเจา ยางธรรมชาติ ความคงทน การปรับปรุงผิว

**Thesis Title** Durability and Properties of Jute Fiber Treatment in Green Filled Rubber  
**Name-Surname** Mr.Pruttipong Pantamanatsopa  
**Program** Materials Engineering  
**Thesis Advisor** Assistant Professor Warunee Ariyawiriyanan, D. Eng.  
**Academic Year** 2014

## ABSTRACT

Optimal conditions for jute fiber surface treatment, durability and properties of rubbers composite have been investigated in order to prepare green filled rubber composite. In this study, NaOH solution and HANR latex were used as surface cleaning agent and coupling agent, respectively.

Three method of surface treatments of fiber were carried out in the presence of NaOH solution, HANR latex with various dry rubber content (%DRC) and NaOH solution together with HANR (NaOH/HANR). For fiber samples treated with HANR and NaOH/HANR, thickness of latex coated layer was controlled by variation of dipping times and %DRC.

It was found that the thickness of latex layer coated using HANR with 10-50 %DRC were not affected by the dipping times while this is not the case for HANR with 60%DRC. The fibers treated using HANR with higher %DRC provided higher durability than those treated using NaOH solution and NaOH/HANR. The mechanical properties fibers were examined. Only higher elongation was obtained from treated fibers with an increase of %DRC. The tenacity of all treated fibers was lower than that of the untreated fibers. Therefore, the treated fibers used as reinforced agent for NR were selected using NaOH/HANR with 10%DRC. SEM micrographs revealed that spaces between fibers treated and natural rubber was much closer than that of untreated fibers. This was due to miscibility between latex coated layer and rubber matrix leading to an increasing of rubber-filler interaction. This was consistent with swelling index result. At 10 phr, the tensile strength obtained from composite reinforced using treated jute fibers were higher than that of untreated jute fibers twice.

**Keywords :** green composite, jute fiber, natural rubber, durability, surface treatment

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงอย่างสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาและอนุเคราะห์ของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วารุณี อริยวิริยะนันท์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาเสียสละเวลาให้คำปรึกษา คำแนะนำ และให้ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้ทำการวิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ได้สนับสนุนเครื่องจักร เครื่องมือต่างๆที่ใช้ในการทดลอง รวมทั้งเจ้าหน้าที่และบุคลากรของภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการที่ได้ช่วยอำนวยความสะดวก ให้ความรู้ คำแนะนำในการใช้เครื่องมือภายในภาควิชา

ขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่และเครื่องมือในการทดสอบ รวมทั้งอาจารย์ เจ้าหน้าที่และบุคลากรของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอที่ได้ช่วยอำนวยความสะดวก ให้ความรู้ คำแนะนำในการใช้เครื่องมือภายในภาควิชา ขอขอบคุณบุคลากรบัณฑิตศึกษาทุกท่านที่เป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือตลอดช่วงเวลาของการศึกษาและทำการวิจัย

ขอขอบพระคุณและมอบความดีนี้ทั้งหมดให้แก่ คุณพ่อ คุณแม่ และครูบาอาจารย์ที่ให้การสนับสนุนและประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้ และเพื่อนๆทุกคนที่เป็นกำลังใจ

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้สนใจ หากวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้มีข้อบกพร่อง หรือไม่สมบูรณ์ประการใด ผู้วิจัยกราบขออภัยมา ณ โอกาสนี้ด้วย

พฤติพงษ์ พันธมนัสโสภา

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญตาราง.....	(8)
สารบัญรูป.....	(9)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	(11)
บทที่ 1 บทนำ.....	12
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหางานวิจัย.....	12
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย.....	13
1.3 สมมติฐานงานวิจัย.....	13
1.4 ขอบเขตของโครงการวิจัย.....	13
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	14
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	15
2.1 ยางธรรมชาติ.....	15
2.2 เส้นใยธรรมชาติ.....	21
2.3 การปรับปรุงการยึดติดระหว่างเส้นใยธรรมชาติและยางธรรมชาติ.....	25
2.4 ยางคอมโพสิต.....	26
2.5 เครื่องมือขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง.....	27
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	29
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน.....	32
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี.....	32
3.2 การเตรียมผิวและการคำนวณค่าความเหนียวของเส้นใย.....	37
3.3 สูตรยางผสม.....	38
3.4 ขั้นตอนการทดลอง.....	39
3.5 วิธีการขึ้นรูปและทดสอบ.....	41

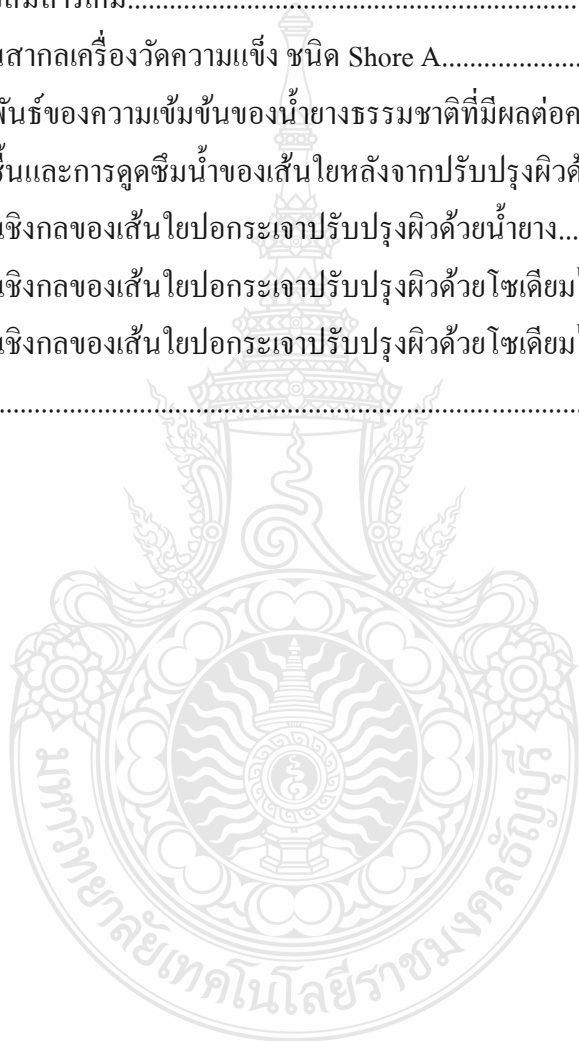
## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	47
4.1 ผลของเวลาที่มีต่อความหนาของยางธรรมชาติบนผิวเส้นใย.....	47
4.2 ความคงทนของเส้นใย.....	48
4.3 สมบัติทางกลของเส้นใย.....	50
4.4 สัณฐานวิทยาของเส้นใย.....	54
4.5 สมบัติทางกลของยางคอมโพสิต.....	58
4.6 ค่าดัชนีการบวมตัว.....	64
4.7 ค่าแรงดึงดูระหว่างเส้นใยกับยาง.....	64
4.8 สัณฐานวิทยาของคอมโพสิต.....	66
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย การอภิปรายผลและข้อเสนอแนะ.....	69
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	69
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	70
บรรณานุกรม.....	71
ภาคผนวก.....	74
ภาคผนวก ก ข้อมูลการทดสอบเส้นใยปอกระเจา.....	75
ภาคผนวก ข ข้อมูลการทดสอบคอมโพสิต.....	95
ภาคผนวก ค ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่.....	116
ประวัติผู้เขียน.....	136



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างสมบัติทางเคมีของเส้นใยธรรมชาติ.....	24
ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างสมบัติทางกายภาพของเส้นใยธรรมชาติ.....	24
ตารางที่ 3.1 สูตรยางผสมสารเคมี.....	38
ตารางที่ 3.2 มาตรฐานสากลเครื่องวัดความแข็ง ชนิด Shore A.....	44
ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของน้ำยางธรรมชาติที่มีผลต่อความแตกต่างของการ ดูดความชื้นและการดูดซึมน้ำของเส้นใยหลังจากปรับปรุงผิวด้วยน้ำยาง.....	49
ตารางที่ 4.2 ค่าสมบัติเชิงกลของเส้นใยปอกระเจาปรับปรุงผิวด้วยน้ำยาง.....	51
ตารางที่ 4.3 ค่าสมบัติเชิงกลของเส้นใยปอกระเจาปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์.....	52
ตารางที่ 4.4 ค่าสมบัติเชิงกลของเส้นใยปอกระเจาปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับ น้ำยาง.....	53



## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ดัชนียางธรรมชาติ.....	15
รูปที่ 2.2 ลักษณะของยางแผ่น.....	16
รูปที่ 2.3 ลักษณะของยางเครฟ.....	17
รูปที่ 2.4 ลักษณะของยางแท่ง.....	17
รูปที่ 2.5 สูตรโครงสร้างของยางธรรมชาติ.....	18
รูปที่ 2.6 ชนิดของเส้นใยธรรมชาติ.....	21
รูปที่ 2.7 โครงสร้างโมเลกุลเซลลูโลสแสดงการเกาะเกี่ยวของหน่วยโมเลกุลซ้ำ.....	22
รูปที่ 2.8 โครงสร้าง แผนผัง และโมเลกุลของเส้นใยธรรมชาติ.....	23
รูปที่ 2.9 ลักษณะจำลองของเส้นใยระหว่างการทำอัลคาไลน์เซชัน.....	25
รูปที่ 2.10 ส่วนประกอบของยางคอมโพสิต.....	26
รูปที่ 2.11 รูปร่างและการกระจายตัวของสารเสริมแรงในแมทริกซ์.....	27
รูปที่ 3.1 เครื่องบดผสมยางสองลูกกลิ้ง.....	32
รูปที่ 3.2 เครื่องอัดเบ้า.....	33
รูปที่ 3.3 เครื่องทดสอบ Universal Testing Machine.....	33
รูปที่ 3.4 เครื่องทดสอบความแข็ง.....	34
รูปที่ 3.5 ลักษณะชิ้นงานมาตรฐาน ASTM D412 type C.....	34
รูปที่ 3.6 เครื่องทดสอบลักษณะสัมฐานวิทยา.....	35
รูปที่ 3.7 เครื่องเคลือบตัวอย่างทดสอบ SEM.....	35
รูปที่ 3.8 เครื่องทดสอบแรงดึงของเส้นใย.....	36
รูปที่ 3.9 เครื่องวิเคราะห์ความชื้น.....	36
รูปที่ 3.10 ขั้นตอนการปรับผิวเส้นใย.....	39
รูปที่ 3.11 ขั้นตอนการทดลอง.....	40
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ของเวลาที่มีผลต่อความแตกต่างของน้ำหนักเส้นใยหลังจากปรับปรุงผิวด้วยน้ำยางธรรมชาติ.....	48
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้น-ความเครียดของเส้นใยปรับปรุงผิวด้วยน้ำยาง.....	51

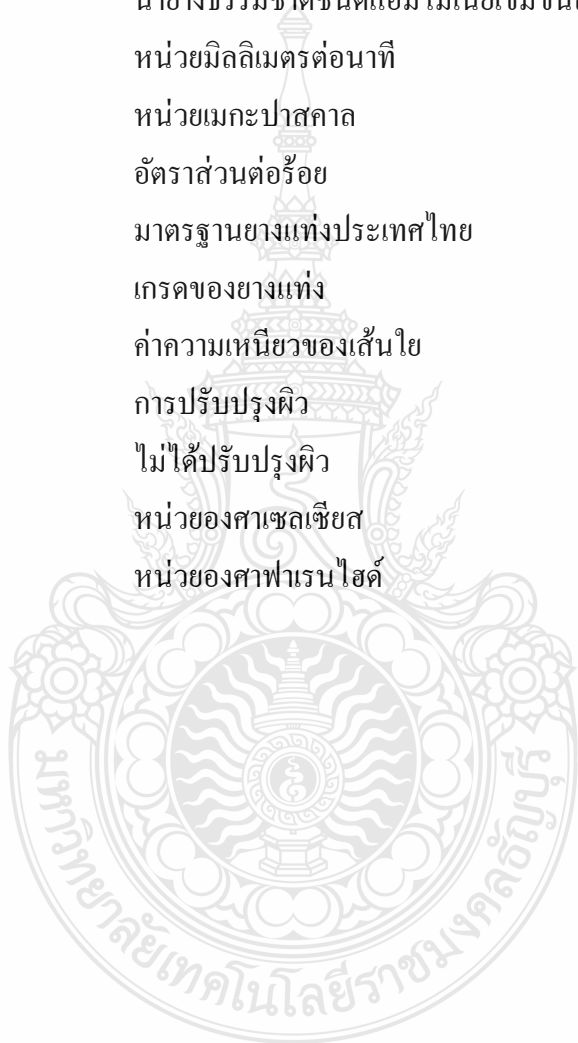
## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้น-ความเครียดของเส้นใยปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์.....	52
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้น-ความเครียดของเส้นใยปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับน้ำยาง.....	53
รูปที่ 4.5 ลักษณะผิวของเส้นใยปอกระเจาที่กำลังขยาย 4000 เท่า.....	55
รูปที่ 4.6 ลักษณะของเส้นใยปอกระเจาที่กำลังขยาย 45 เท่า.....	55
รูปที่ 4.7 ลักษณะพื้นที่หน้าตัดของเส้นใยปอกระเจาปรับปรุงผิวด้วยน้ำยางธรรมชาติที่ปริมาณยางแห้ง.....	56
รูปที่ 4.8 ลักษณะผิวของเส้นใยปอกระเจาปรับปรุงผิวด้วยน้ำยางธรรมชาติที่ปริมาณยางแห้ง....	57
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการทนแรงดึงต่อปริมาณเส้นใยปอกระเจา.....	58
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการทนแรงดึงต่อปริมาณเส้นใยก่อนและหลังปรับปรุงผิว....	59
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดูลัสต่อปริมาณเส้นใยก่อนและหลังปรับปรุงผิว.....	60
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า 100% มอดูลัสต่อปริมาณเส้นใยก่อนและหลังปรับปรุงผิว...	61
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า 300% มอดูลัสต่อปริมาณเส้นใยก่อนและหลังปรับปรุงผิว...	61
รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า 500% มอดูลัสต่อปริมาณเส้นใยก่อนและหลังปรับปรุงผิว...	62
รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืด ณ จุดขาดต่อปริมาณเส้นใยก่อนและหลังปรับปรุงผิว.	63
รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งที่ผิวต่อปริมาณเส้นใยก่อนและหลังปรับปรุงผิว.....	63
รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการบวมตัวต่อปริมาณเส้นใยก่อนและหลังปรับปรุงผิว.....	64
รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดึงคู่ระหว่างเส้นใยกับยางต่อปริมาณเส้นใยก่อนและหลังปรับปรุงผิว.....	65
รูปที่ 4.19 ภาพไมโครกราฟของคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยปอกระเจาปรับปรุงผิวด้วยน้ำยางธรรมชาติที่มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 60 เปอร์เซ็นต์.....	66
รูปที่ 4.20 การเปรียบเทียบไมโครกราฟของคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยปอกระเจา.....	67
รูปที่ 4.21 การเปรียบเทียบไมโครกราฟของคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยปอกระเจาปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับน้ำยางธรรมชาติที่มีปริมาณยางแห้ง 10 %.....	68



## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

ASTM	American Society of Testing and Materials
DRC	ปริมาณเนื้อยางแห้ง
g/cm <sup>3</sup>	หน่วยกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
HANR	น้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียเข้มข้นสูง
mm/min	หน่วยมิลลิเมตรต่อนาที
MPa	หน่วยเมกะปาสกาล
phr	อัตราส่วนต่อร้อย
STR	มาตรฐานยางแห่งประเทศไทย
STR 20	เกรดของยางแห้ง
Tenacity	ค่าความเหนียวของเส้นใย
Treated	การปรับปรุงผิว
Untreated	ไม่ได้ปรับปรุงผิว
°C	หน่วยของศาเซลเซียส
°F	หน่วยของศาฟาเรนไฮต์



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ยางธรรมชาติเป็นผลผลิตทางการเกษตรซึ่งมีมูลค่าต่ำ โดยทั่วไปแล้วเส้นใยธรรมชาติมีสมบัติเฉพาะตัวแตกต่างกันเพื่อการใช้งานที่หลากหลาย เช่น นำไปทำเป็นเสื้อผ้า กระสอบ เชือก เป็นต้น ในขณะที่ยางธรรมชาติถูกนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความยืดหยุ่น เช่น ยางล้อ แผ่นกันกระแทก เป็นต้น หากต้องการนำเอายางธรรมชาติไปใช้งานด้านอื่นๆ ก็จะต้องมีการปรับปรุงสมบัติให้ตรงตามการใช้งาน การเสริมแรงให้กับผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติมีสมบัติดีขึ้น

ดังนั้นจึงได้มีการปรับปรุง โดยการเพิ่มเส้นใยเพื่อเสริมแรงให้กับผลิตภัณฑ์เพื่อที่จะเพิ่มสมบัติทางกล สมบัติความแข็งที่ผิวให้กับผลิตภัณฑ์ ซึ่งส่วนใหญ่เส้นใยที่ใช้ในการเสริมเรานั้นมักจะเลือกใช้เส้นใยสังเคราะห์เพราะเส้นใยสังเคราะห์จะมีสมบัติทางกลที่ดีเมื่อนำมาเติมในผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติแล้วจะส่งผลให้สมบัติเชิงกลของผลิตภัณฑ์ยางนั้นเพิ่มสูงขึ้น แต่เส้นใยสังเคราะห์ในปัจจุบันมีราคาที่สูงมากเนื่องด้วยวัตถุดิบที่จะใช้ผลิตเส้นใยสังเคราะห์มีราคาแพง อีกทั้งขั้นตอนผลิตเส้นใยสังเคราะห์มีขั้นตอนในการผลิตที่ยากและซับซ้อน และเส้นใยสังเคราะห์ยังมีอันตรายต่อมนุษย์หากมีการสูดดมเข้าไปและยังเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมหากมีการแพร่กระจายไปในอากาศ ดังนั้นด้วยปัจจัยทางเศรษฐกิจและปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมที่ยากที่ถูกระดมด้วยเส้นใยธรรมชาติจึงเป็นที่น่าสนใจสำหรับอุตสาหกรรมยางเพราะมีกระบวนการขึ้นรูปที่ง่าย ต้นทุนต่ำและผลิตภัณฑ์ที่ได้ยังมีน้ำหนักเบา วัสดุคอมโพสิตนี้ยังคงมีสมบัติที่ดีของยาง เช่น นุ่มและให้ความยืดหยุ่น เป็นต้น

จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดนำเอาเส้นใยธรรมชาติมาใช้เป็นสารเสริมแรงให้กับผลิตภัณฑ์ยางเพราะมีต้นทุนที่ถูกอีกทั้งยังไม่เป็นพิษต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมด้วย แต่จากงานวิจัยที่ผ่านมา [18] ยังได้พบปัญหาในเรื่องการยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยธรรมชาติกับส่วนที่เป็นเนื้อยาง งานวิจัยนี้จึงเลือกที่จะใช้น้ำยางธรรมชาติมาเป็นสารเชื่อมประสาน จากแนวคิดในการนำเส้นใยธรรมชาติมาเคลือบผิวด้วยน้ำยางธรรมชาติ น้ำยางที่เคลือบผิวของเส้นใยธรรมชาติก็จะทำหน้าที่เพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์ยางธรรมชาติได้ดีขึ้นเนื่องจากเป็นยางธรรมชาติเหมือนกัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จะเป็นการหากระบวนการที่เหมาะสมในการปรับปรุงผิวเส้นใยธรรมชาติ การผสมและการนำไปใช้งาน เพื่อพัฒนาและต่อยอดให้เป็นส่วนหนึ่งของอุตสาหกรรมยางธรรมชาติต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยธรรมชาติ ได้แก่ เวลาในการจุ่มน้ำยางธรรมชาติและความเข้มข้นของน้ำยางธรรมชาติ ที่ใช้เป็นสารเชื่อมประสานระหว่างยางธรรมชาติกับเส้นใยธรรมชาติ

1.2.3 เพื่อศึกษาความคงทนและสมบัติทางกลของเส้นใยธรรมชาติก่อนและหลังการปรับปรุงผิวทางเคมีและกายภาพ

1.2.4 เพื่อศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยหลังการปรับปรุงผิวทางเคมีและกายภาพ

1.2.5 เพื่อศึกษาผลปริมาณเส้นใยธรรมชาติที่มีผลต่อสมบัติทางกลและสัณฐานวิทยาของวัสดุยางคอมโพสิต

1.2.6 เพื่อศึกษาผลของบวมตัวและค่าแรงดึงคู่ระหว่างเส้นใยและยางธรรมชาติ

## 1.3 สมมติฐานงานวิจัย

จากทฤษฎีเนื่องจากยางธรรมชาติที่มีสูตรทางเคมีคือ  $C_5H_8$  ทำให้ยางธรรมชาติไม่มีความเป็นขั้วแต่เส้นใยธรรมชาติมีสูตรทางเคมีคือ  $C_6H_{10}O_5$  ทำให้เส้นใยธรรมชาติมีความเป็นขั้ว ซึ่งการที่จะทำใหยางธรรมชาติและเส้นใยธรรมชาติเข้ากันนั้นเป็นไปได้ยาก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำเอาเส้นใยธรรมชาติมาปรับปรุงผิวด้วยการเคลือบด้วยน้ำยางธรรมชาติ ทำให้ผิวของเส้นใยธรรมชาติมีความเป็นขั้วลงเนื่องจากเคลือบด้วยน้ำยางธรรมชาติทำให้การยึดเหนี่ยวของน้ำยางธรรมชาติที่ผิวของเส้นใยธรรมชาติสามารถยึดติดกับแมทริกซ์ที่เป็นยางธรรมชาติได้ดีขึ้น ซึ่งจะส่งผลใหยางธรรมชาติคอมโพสิตมีสมบัติทางกลที่ดีขึ้น

## 1.4 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.4.1 ยางธรรมชาติที่ใช้ในการทดลองนี้คือ ยางแท่งเกรด STR 20

1.4.2 เส้นใยธรรมชาติที่ใช้ในการทดลองนี้คือ เส้นใยปอกระเจา (Jute fiber)

1.4.3 กระบวนการขึ้นรูปโดยการใช้อุปกรณ์บดขย้างสองลูกกลิ้ง (Two roll mill) และเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding)

1.4.4 การแปรความเข้มข้นของน้ำยาง คือ 10 และ 60 %DRC

1.4.5 การแปรเวลาในการจุ่มเส้นใยในน้ำยาง คือ 1, 2, 3 และ 4 นาที

1.4.6 การแปรปริมาณของเส้นใยธรรมชาติ คือ 0, 10, 20, 30 และ 40 phr ตามลำดับ

1.4.7 สมบัติของเส้นใยที่ศึกษา คือ สมบัติการดูดความชื้น (Moisture content) สมบัติการดูดซึมน้ำ (Water absorption) ค่าความเหนียวของเส้นใย (Tenacity) สมบัติการทนแรงดึง (Tensile strength) และสัณฐานวิทยา

1.4.8 สมบัติของวัสดุยางคอมพอสิตที่ทำการศึกษา คือ สมบัติความแข็งที่ผิว (Shore hardness), สมบัติการทนแรงดึง (Tensile strength), ค่ามอดูลัสของความยืดหยุ่น (Young's modulus), ค่าระยะยืดฉีก จุดขาด (%Elongation at break), ค่าการบวมตัว (Swelling index) และค่าแรงดึงคู่ระหว่างยางกับเส้นใย (Rubber-fiber interaction) และสมบัติทางสัณฐานวิทยา

## 1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.5.1 ได้พัฒนางานวิจัยที่ใช้เส้นใยธรรมชาติในการเสริมแรงเพื่อทดแทนเส้นใยสังเคราะห์ เพื่อผลิตเป็นวัสดุยางคอมพอสิต

1.5.2 ได้องค์ความรู้ในการปรับปรุงผิวเส้นใยธรรมชาติด้วยวิธีทางกายภาพ ได้แก่ การใช้น้ำยางธรรมชาติในการเคลือบผิวเส้นใย

1.5.3 ได้ทราบถึงปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อสมบัติทางกลที่ดีขึ้นและลักษณะทางสัณฐานวิทยาของวัสดุยางคอมพอสิตระหว่างยางธรรมชาติกับเส้นใยธรรมชาติ



## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ยางธรรมชาติ (Natural Rubber, NR)

##### 2.1.1 รูปแบบของยางธรรมชาติ [1-2]

ยางธรรมชาติหรือยางพารา (ดังรูปที่ 2.1) ส่วนมากที่ได้มาจากต้นยางพาราสายพันธุ์ *Hevea Braziliensis* น้ำยางสดที่กรีดยได้จากต้นยางพารามีลักษณะเป็นสีขาวและมีเนื้อยางแห้ง (Dry rubber content) ประมาณ 30% โดยน้ำหนัก แฉวนลอยอยู่ในน้ำ ปริมาณของเนื้อยางแห้งขึ้นอยู่กับชนิดของพันธุ์ยาง อายุต้นยาง และฤดูกาล โดยทั่วไปยางธรรมชาติสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 รูปแบบใหญ่ๆ ได้แก่ น้ำยางและยางแห้ง



##### รูปที่ 2.1 ต้นยางธรรมชาติ [3]

##### 2.1.1.1 น้ำยาง

เนื่องจากน้ำยางสดที่กรีดยได้จากต้นยางมีปริมาณน้ำมากเกินไป ไม่เหมาะที่จะนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์และยังทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ดังนั้น จึงจำเป็นต้องนำน้ำยางที่ได้นี้ไปผ่านกระบวนการปั่นเหวี่ยง (Centrifugation) เพื่อลดปริมาณน้ำในน้ำยางสดจนกระทั่งได้น้ำยางที่มีปริมาณยางแห้งเพิ่มขึ้นจาก 30% เป็น 60% โดยน้ำหนักเรียกว่า น้ำยางข้น (Concentrated latex) แต่เนื่องจากในน้ำยางมีสารอินทรีย์ต่างๆ เช่น โปรตีน และ ฟอสโฟลิปิด (Phospholipid) ผสมอยู่ในปริมาณเล็กน้อยซึ่งสารอินทรีย์เหล่านี้สามารถถูกย่อยสลายด้วยเชื้อจุลินทรีย์เชื้อแบคทีเรียได้เป็นก๊าซชนิดต่างๆ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน หรือสารประกอบที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ดังนั้น น้ำยางจึงสามารถบูดเน่าส่งกลิ่นเหม็นได้ จึงต้องมีการเติมสารแอมโมเนียลงไป

หรืออาจใช้แอมโมเนียร่วมกับสารเคมีอื่นๆ เพื่อช่วยรักษาสภาพของน้ำยางชั้นให้เก็บไว้ได้นาน น้ำยางที่ใช้แอมโมเนียอย่างเดียวจะต้องใช้แอมโมเนียที่มีความเข้มข้นสูงสุดถึง 0.7% น้ำยางชนิดนี้เรียกว่า High Ammonia Latex หรือ HA latex ส่วนน้ำยางที่ใช้แอมโมเนียที่มีความเข้มข้นต่ำเพียง 0.2% จะใช้สารเคมีอื่นๆ ร่วมด้วย เช่น ZnO/TMTD 0.02% หรือกรดบอริก 0.2% หรือ Santobrite 0.2% เป็นต้น เรียกน้ำยางนี้ว่า Low Ammonia Latex หรือ LA latex

#### 2.1.1.2 ยางแห้ง

ยางแห้งได้จากการนำน้ำยางสดที่กรี๊ดได้มาเติมกรด เช่น กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก หรือกรดซัลฟูริก เพื่อให้อนุภาคน้ำยางจับตัวกันเป็นของแข็งแยกตัวจากน้ำ จากนั้นก็ทำการไล่ความชื้นออกจากเนื้อยางเพื่อป้องกันการเกิดเชื้อรา ยางแห้งมีหลายรูปแบบ ได้แก่

(1) ยางแผ่น (Rubber sheet) ได้จากการนำน้ำยางสดมาใส่ในตะกุง จากนั้นเติมน้ำเพื่อเจือจางน้ำยางให้ปริมาณเนื้อยางแห้งเหลือเพียงประมาณ 12-18% ก่อนทำการเติมกรดเพื่อให้ยางจับตัวกัน โดยทั่วไปอนุภาคของน้ำยางจะเริ่มจับตัวกันหลังจากที่ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ของน้ำยางอยู่ในช่วง 5.1-4.8 เรียกจุดนี้ว่า จุดไอโซอิเล็กทริก (Isoelectric point) หลังจากนั้นจึงนำยางที่ได้ไปรีดให้เป็นแผ่นด้วยเครื่องรีดแบบ 2 ลูกกลิ้ง นำไปล้างน้ำ แล้วจึงทำให้ยางแห้ง ลักษณะของยางแผ่นแสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ลักษณะของยางแผ่น [3]

(2) ยางเครฟ (Crepe rubber) เป็นยางที่ได้จากการนำเศษยาง เช่น ยางก้อน ถ้วย เศษยางที่ติดกันบนเปลือกไม้หรือติดบนดิน หรือเศษจากยางแผ่นรมควัน เป็นต้น ไปรีดในเครื่องเครฟ (Creping machine) พร้อมทั้งใช้น้ำทำความสะอาดเอาสิ่งสกปรกต่างๆ ออกไปจากยางในระหว่างการรีด จากนั้นจึงนำยางที่ได้ไปผึ่งลมให้แห้ง โดยทั่วไปยางเครฟที่ผลิตได้มีหลายรูปแบบ เช่น Brown crepe, Flat bark crepe Blanket crepe เป็นต้น ยางเครฟเหล่านี้มีสีค่อนข้างเข้มและมีความ

บริสุทธิ์แตกต่างกันมากขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิต ลักษณะของยางเครฟแสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ลักษณะของยางเครฟ [4]

(3) ยางแท่ง (Technically classified rubber) เป็นยางที่มีคุณภาพสม่ำเสมอกว่ายางแผ่นและยางเครฟ ผ่านการทดสอบและจัดชั้นเพื่อรับรองคุณภาพตามหลักวิชาการ การจัดชั้นของยางแท่งจะพิจารณาจากปริมาณของสิ่งสกปรกที่มีอยู่ในยางเป็นสำคัญนอกจากนั้นก็พิจารณาตัวแปรอื่นๆ ร่วมด้วย เช่น ปริมาณเถ้า คำนีความอ่อนตัว ปัจจุบัน ประเทศไทยมีมาตรฐานยางแท่งเรียกว่า Standard Thai Rubber (STR) ซึ่งแต่เดิมเรียกว่า Thai Tested Rubber (TTR) ลักษณะของยางแท่งแสดงดังรูปที่ 2.4

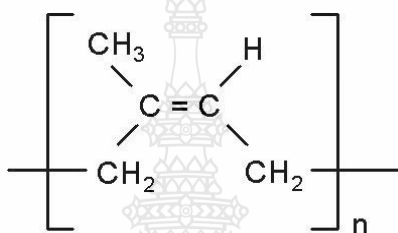


รูปที่ 2.4 ลักษณะของยางแท่ง [5]

(4) ยางแท่งรูปแบบอื่นๆ ยางเกรดที่มีความหนืดคงที่หรือยาง CV (Constant viscosity) ยางที่แปรรูปได้ดี (Superior processing rubber, SP/PA grade) ยางที่ผสมน้ำมัน (Oil extended natural rubber, OENR) ยางธรรมชาติที่มีโปรตีนต่ำ (Deproteinized natural rubber, DPNR) ยาง ENR (Epoxidized natural rubber) ยางเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic NR) และยางผง (Powdered Rubber) ยางแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับทางเลือกนำไปใช้งาน

## 2.1.2 โครงสร้างของยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติมีชื่อทางเคมี คือ ซิส-1,4-พอลิไอโซพรีน (*cis*-1,4-polyisoprene) กล่าวคือ โมเลกุลของ 1 โมเลกุลจะประกอบด้วยหน่วยของไอโซพรีน ( $C_5H_8$ ) มาต่อกันเป็นสายยาว (แบบเส้นตรง) ดังแสดงในรูปที่ 2.5 โดยทั่วไปยางธรรมชาติมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยอยู่ในช่วง 200,000 ถึง 400,000 และมีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลที่กว้างมาก ยางธรรมชาติมีความหนาแน่นเท่ากับ  $0.93 \text{ g/cm}^3$  ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิของการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature,  $T_g$ ) ประมาณ  $-72$  องศาเซลเซียส



รูปที่ 2.5 สูตรโครงสร้างของยางธรรมชาติ [6]

โดยทั่วไป ยางธรรมชาติมีโครงสร้างการจัดเรียงตัวของโมเลกุลแบบอสัณฐาน (Amorphous) แต่ในบางสภาวะ เช่น เมื่อถูกยืดโมเลกุลของยางบางส่วนสามารถจัดเรียงตัวได้อย่างค่อนข้างเป็นระเบียบ ยางจึงสามารถเกิดผลึก (Crystallize) ได้ การเกิดผลึกเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ เรียกว่า “Low temperature crystallization” จะพบในกรณีที่เก็บยางไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  เป็นเวลานาน โดยยางจะมีอัตราเร็ว ในการตกผลึกสูงสุด ที่อุณหภูมิต่ำกว่า  $-26 \text{ }^\circ\text{C}$  การตกผลึกที่อุณหภูมิต่ำนี้จะทำให้ยางแข็งมากขึ้น ผลึกที่เกิดขึ้นก็จะถูกทำลาย ยางจะอ่อนตัวลง และกับสู่สภาพเดิม การเกิดผลึกเนื่องจากการยืดตัวหรือเรียกว่า “Strain-induced crystallization” จะพบเมื่อยางถูกยืดเมื่อมีความยาวมากกว่าความยาวตั้งต้นประมาณ 2-3 เท่า การเกิดผลึกเนื่องจากการยืดตัว จะทำให้ยางมีสมบัติทางกายภาพเปลี่ยนแปลงไปอย่างชัดเจน กล่าวคือ ยางจะเปลี่ยนจากสภาพโปร่งแสง (Transparent) ไปเป็นทึบแสง (Opaque) ซึ่งจะสังเกตได้ง่ายในยางคงรูปที่ยังไม่มีการเติมสารตัวเติม นอกจากนี้ การเกิดผลึกเนื่องจากการยืดตัวยังทำให้ยางคงรูปมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น นั่นคือ ยางจะมีความทนทานต่อแรงดึง ความทนทานต่อการฉีกขาด และความต้านทานต่อการกัดกร่อนสูงขึ้น

### 2.1.3 สมบัติทั่วไปของยางธรรมชาติ

2.1.3.1 ความยืดหยุ่น (Elasticity) เป็นลักษณะเด่นอีกประการหนึ่งของยางธรรมชาติที่คงรูปแล้วจะมีความยืดหยุ่นสูง เมื่อแรงภายนอกมากระทำกับยางหมดไปยางจะกลับคืนสู่รูปร่างและขนาดเดิม (หรือใกล้เคียง) ได้อย่างรวดเร็ว

2.1.3.2 ความเหนียวติดกัน (Tack) ยางธรรมชาติ (ในสภาพที่ยังไม่คงรูป) มีสมบัติดีเยี่ยมในด้านความเหนียวติดกัน ซึ่งเป็นสมบัติสำคัญของการผลิตภัณฑ์ที่ต้องอาศัยการประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ เข้าด้วยกันเช่น ยางล้อรถยนต์ เป็นต้น

2.1.3.3 ความทนทานต่อแรงดึง (Tensile strength) เนื่องจากโมเลกุลของยางธรรมชาติมีความเป็นระเบียบสูงจึงทำให้ยางธรรมชาติสามารถดกผลึกได้ง่ายเมื่อถูกยืด ซึ่งผลึกที่เกิดขึ้นจะช่วยเสริมความแข็งแรงให้กับยางดังนั้น ยางธรรมชาติจึงมีค่าความทนทานสูงมากโดยไม่ต้องใช้สารตัวเติมเสริมแรงเข้าช่วย (~ 20 MPa หรือสูงกว่านั้น) การเติมสารตัวเติมเสริมแรงลงไปก็จะช่วยทำให้ความทนทานต่อแรงดึงสูงขึ้น ซึ่งสมบัตินี้จะแตกต่างจากยางสังเคราะห์ส่วนใหญ่ที่มักมีค่าความทนทานต่อแรงดึงต่ำ จึงไม่สามารถนำไปใช้งานในทางวิศวกรรมได้นอกจากจะมีการใช้สารตัวเติมเสริมแรงเข้าไปเข้าช่วยเท่านั้น

2.1.3.4 ความทนทานต่อการฉีกขาด (Tear strength) เนื่องจากยางธรรมชาติสามารถดกผลึกได้เมื่อถูกยืด ดังนั้น ยางธรรมชาติจึงมีความทนทานต่อการฉีกขาดสูงมากทั้งที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิสูง การเติมสารตัวเติมเสริมแรงลงไปก็จะช่วยให้ทำให้ค่าความทนทานต่อการฉีกขาดของยางสูงขึ้น

2.1.3.5 สมบัติเชิงพลวัต (Dynamic properties) ยางธรรมชาติมีสมบัติเชิงพลวัตที่ดี มีการสูญเสียพลังงานในรูปของความร้อนต่ำในระหว่างการใช้งาน นอกจากนี้ ยางธรรมชาติยังมีความต้านทานต่อการล้าตัว (Fatigue resistance) ที่สูงมากอีกด้วย

2.1.3.6 ความต้านทานต่อการขัดถู (Abrasion resistance) ยางธรรมชาติมีค่าความต้านทานต่อการขัดถูสูง แต่ยังคงดีกว่ายาง SBR เล็กน้อย อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกับยางสังเคราะห์ชนิดอื่น ๆ พบว่ายางธรรมชาติมีค่าความต้านทานต่อการขัดถูสูง

2.1.3.7 ความเป็นฉนวนไฟฟ้า (Insulation) ยางธรรมชาติมีค่าความเป็นฉนวนสูงมาก

2.1.3.8 ความทนทานต่อของเหลวและสารเคมี (Liquid and chemical resistance) เนื่องจากองค์ประกอบของยางธรรมชาติเป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว ดังนั้น ยางจึงละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เบนซีน เฮกเซน และ โทลูอีน เป็นต้น ความสามารถในการละลายนี้จะลดลงถ้าเกิดการคงรูปเนื่องจากการเชื่อมโยงทางพันธะทางเคมีของโมเลกุลเกิดเป็นโครงสร้าง 3 มิติ

ในยางคงรูปไปขัดขวางกระบวนการละลายของยาง ยางคงรูปจึงเพียงแต่เกิดการบวมตัวในตัวทำละลายเหล่านั้น อย่างไรก็ตาม การบวมตัวของยางดังกล่าวจะทำให้สมบัติเชิงกลของยางด้อยลง ด้วยเหตุนี้ ยางธรรมชาติจึงไม่ทนต่อตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วต่างๆ แต่ยางจะทนของเหลวที่มีขั้ว เช่น อะซิโตน หรือแอลกอฮอล์ นอกจากนี้ ยางธรรมชาติยังทนต่อกรดและด่างเจือจางได้ดี แต่ไม่ทนต่อกรดในตริก และกรดกำมะถันเข้มข้น

2.1.3.9 การเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อน โอโซน และแสงแดด (Aging properties) เนื่องจากโมเลกุลของยางธรรมชาติมีพันธะคู่อยู่มาก ทำให้ยางว่องไวต่อการทำปฏิกิริยากับออกซิเจน เรียกปฏิกิริยานี้ว่าปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยมีแสงหรือความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นยางธรรมชาติจึงถูกออกซิไดส์ได้ง่าย นอกจากนี้ ยางธรรมชาติยังไม่ทนต่อโอโซนเพราะเมื่อยางถูกยึดและได้รับโอโซนนานๆ จะเกิดรอยแตกขนาดเล็กจำนวนมากที่บริเวณผิวในทิศตั้งฉากกับทิศทางที่ยืดของยาง ด้วยเหตุนี้ ในระหว่างการผสมยางจึงต้องมีการเติมสารเคมีบางชนิด คือ สารป้องกันการเสื่อมสภาพ (Anti-degradants) และไข (Wax) ลงไปเพื่อยืดอายุการใช้งานของยางธรรมชาติ

2.1.3.10 การหักงอที่อุณหภูมิต่ำ (Low temperature flexibility) ยางธรรมชาติยังคงรักษาสมบัติความยืดหยุ่นหรือความสามารถในการหักงอได้แม้อุณหภูมิต่ำมากๆ ซึ่งยางที่มีคุณสมบัตินี้ดีกว่ายางธรรมชาติ มีเพียง 2 ชนิดคือยางบิวตาไดอีน (BR) และยางซิลิโคลน (Q)

2.1.3.11 การคงรูปต่อการกดอัด (Compression set) ยางธรรมชาติมีค่า Compression set ก่อนข้างต่ำที่อุณหภูมิต่ำและที่อุณหภูมิสูงปานกลาง อย่างไรก็ตาม Compression set ที่อุณหภูมิต่ำของยางธรรมชาติจะสูงขึ้นเนื่องจากยางอาจเกิดการตกผลึกทำให้มีความยืดหยุ่นของยางเริ่มสูญเสียไปในขณะที่ค่า Compression set ที่อุณหภูมิต่ำของยางธรรมชาติจะมีค่าสูงขึ้นเนื่องจากยางธรรมชาติไม่ทนต่อความร้อนยางจึงเกิดการเสื่อมสภาพ ซึ่งจะส่งผลทำให้สมบัติ Compression set ด้อยลง

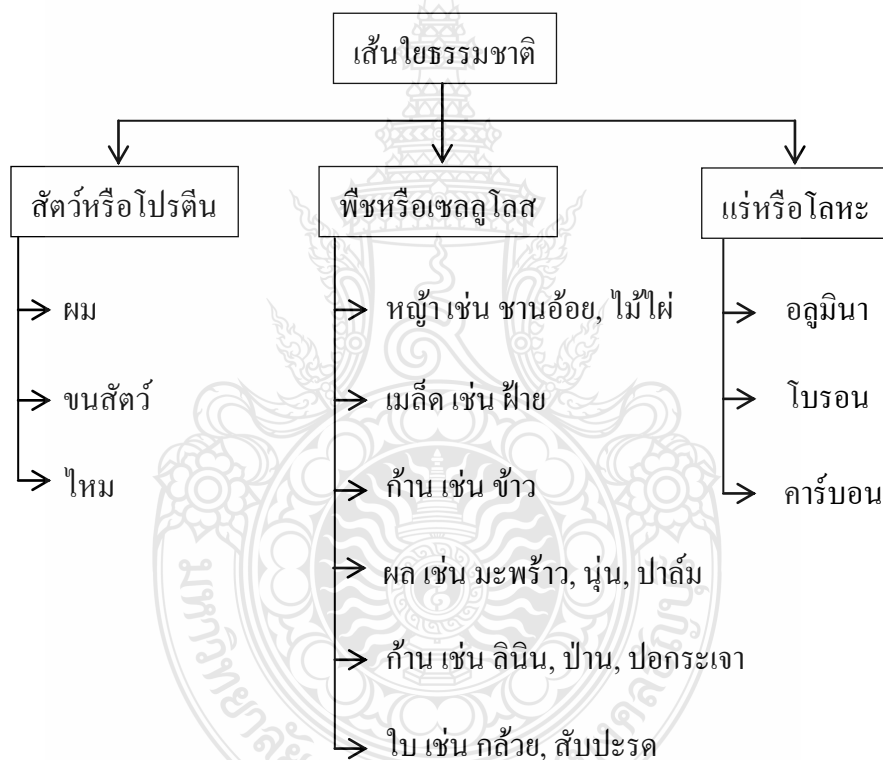
2.1.3.12 การกระด้างกระดอน (Rebound resilience) ยางธรรมชาติมีสมบัติการกระด้างกระดอนสูงกว่ายางชนิดอื่นๆ ทั้งหมดยกเว้นยาง BR และในระหว่างการเปลี่ยนแปลงของรูปร่าง ยางจะสูญเสียพลังงานในรูปของความร้อนน้อย (มี Hysteresis ต่ำ) ยางธรรมชาติจึงมีความร้อนสะสมต่ำเมื่อถูกใช้งานในเชิงพลวัตยางชนิดนี้จึงเหมาะที่จะใช้ในการผลิตภัณฑ์ยางที่มีขนาดใหญ่ เช่น ยางรถบรรทุกหรือยางล้อเครื่องบิน เพราะหากใช้ยางที่มีความร้อนสะสมสูงอาจทำให้ยางระเบิดได้ง่าย

2.1.3.13 อุณหภูมิของการใช้งาน (Service temperature) ยางธรรมชาติสามารถใช้งานได้ตั้งแต่อุณหภูมิต่ำ -55°C จนถึง 70°C อย่างไรก็ตาม หากเก็บยางไว้ที่อุณหภูมิต่ำนานๆ ยางอาจเกิดการตกผลึกซึ่งจะทำให้ยางแข็งขึ้นและเสียความยืดหยุ่นไป แต่เมื่ออุณหภูมิการใช้งานสูงเกินไป สมบัติเชิงกลจะด้อยลงเนื่องจากความร้อนทำให้ยางเสื่อมสภาพ ในบางกรณีที่มีการออกสูตรผสมเคมียางได้

อย่างเหมาะสม (มีการเติมสารป้องกันการเสื่อมสภาพลง) ยางธรรมชาติอาจนำไปใช้งานได้อย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิสูงถึง 90°C หรือสูงกว่า 100°C (ในกรณีที่ยางได้รับอุณหภูมิเป็นช่วงๆเท่านั้น)

## 2.2 เส้นใยธรรมชาติ (Natural Fibers) [8-9]

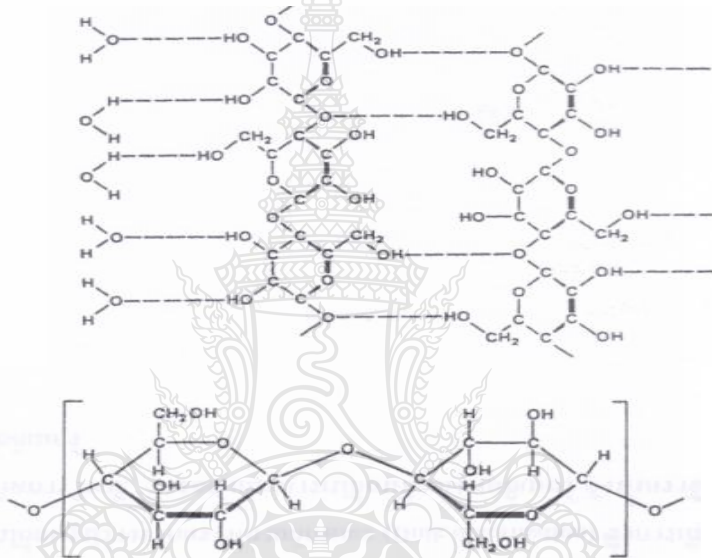
การใช้เส้นใยธรรมชาติทำเป็นเครื่องนุ่งห่มและประโยชน์ด้านอื่นๆ ถึงแม้จะมีเส้นใยประดิษฐ์ที่ใช้แทนกันได้ เส้นใยธรรมชาติก็ยังเป็นที่ต้องการอยู่เพราะมีสมบัติหลายประการที่เส้นใยประดิษฐ์ไม่มี เส้นใยธรรมชาติจะถูกแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มคือเส้นใยจากพืชหรือเส้นใยเซลลูโลส เส้นใยโปรตีน และเส้นใยแร่หรือโลหะ ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ชนิดของเส้นใยธรรมชาติ [26]

เส้นใยเซลลูโลสเป็นคาร์โบไฮเดรตชนิดหนึ่งเกิดจากกลูโคสยึดเกาะกันด้วยพันธะเคมีเป็นโมเลกุลใหญ่มีสูตรเป็น  $(C_6H_{10}O_5)_x$  โครงสร้างและการยึดเกาะของโมเลกุลแสดงในรูปที่ 2.7

โครงสร้างเคมีของเซลลูโลสมีความสำคัญต่อสมบัติของเส้นใย กล่าวคือในโมเลกุลเซลลูโลส จะเกิดหน่วยโมเลกุลซ้ำ (Repeat units) ยึดจับกันเป็นสายยาวหน่วยโมเลกุลซ้ำ คือ เซลโลไบโอส (Cellobiose) เกิดจากบีต้า กลูโคส 2 โมเลกุลยึดเกาะกันด้วยพันธะ -C-O-C- ในโมเลกุลเซลลูโลสจะมี หมู่ไฮดรอกซิล (-OH) อยู่มากมายจะทำหน้าที่ดึงดูดน้ำ หรือเกิดปฏิกิริยาจับกับหมู่ธาตุอื่นๆ การจัดเรียงตัวของคอลลอยด์เซลลูโลสมีความเป็นระเบียบ (Crystalline) ค่อนข้างมากคือ 85-95% และระหว่างสายโซ่โมเลกุลจะมีการยึดจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bond) เป็นระยะๆ ซึ่งมีผลทำให้เส้นใยเซลลูโลสมีความเหนียวแข็งแรงค่อนข้างสูง

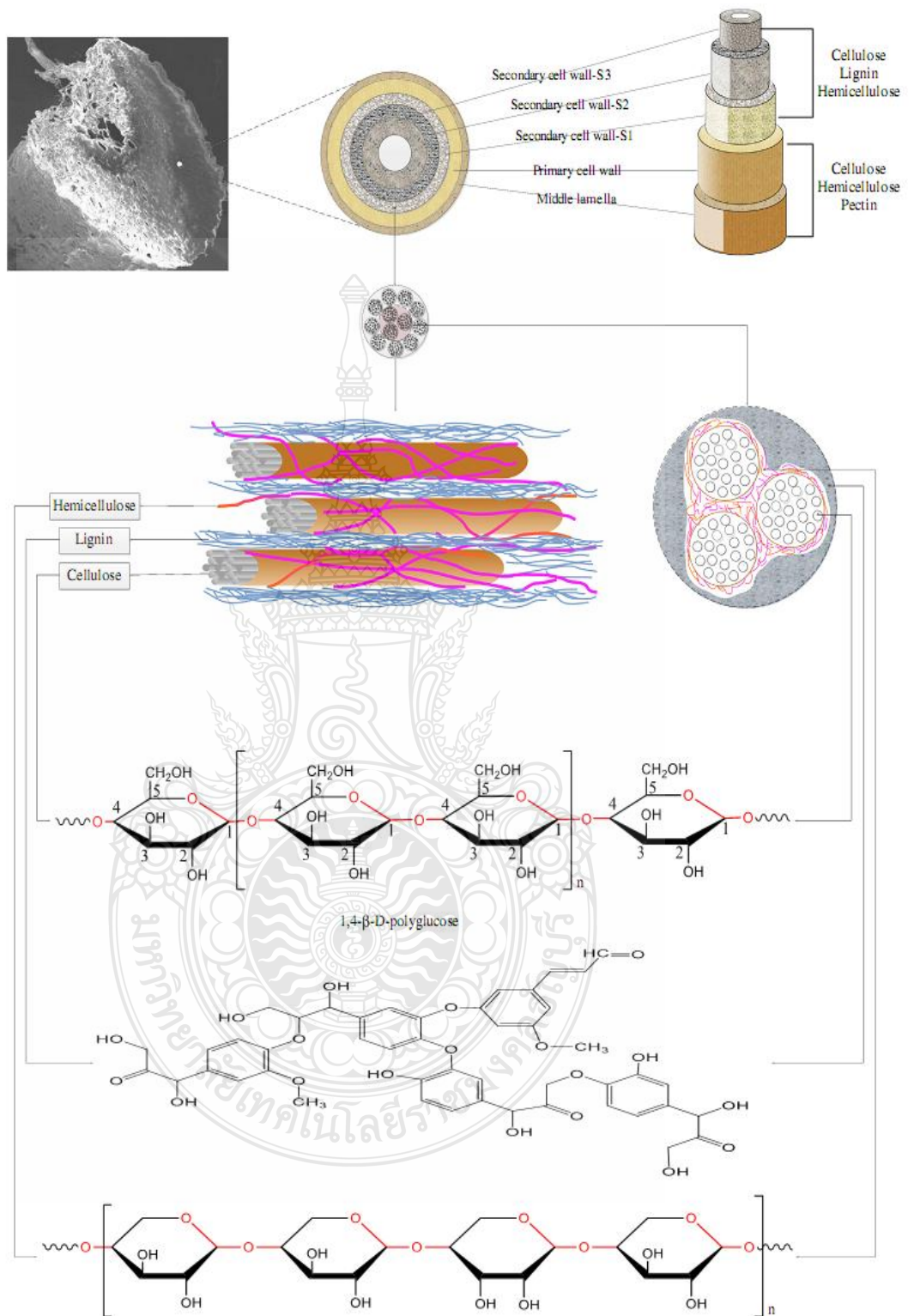


รูปที่ 2.7 โครงสร้างโมเลกุลเซลลูโลสแสดงการเกาะเกี่ยวของหน่วยโมเลกุลซ้ำ

### 2.2.1 ส่วนประกอบของเส้นใยธรรมชาติ [22]

จากรูปที่ 2.8 แสดงความแตกต่างของเส้นใยออกเป็น 3 ชั้น จากด้านนอกเข้าสู่ด้านในของเส้นใย ดังนี้ ชั้นนอกสุดคือ middle lamella ประกอบไปด้วย เพคติน (Pectin), เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose), ลิกนิน (Lignin) ชั้นที่สองคือ primary cell wall ประกอบไปด้วย เฮมิเซลลูโลส และ เซลลูโลส (Cellulose) ส่วนชั้นที่สามคือ secondary cell (S1, S2 และ S3) wall ส่วนใหญ่ประกอบไปด้วยเซลลูโลส โดยเส้นใยแต่ละชนิดมีสมบัติทางเคมีและสมบัติทางกายภาพที่ต่างกัันดังแสดงในตารางที่ 2.1 และ 2.2





รูปที่ 2.8 โครงสร้าง แพนผนัง และ โมเลกุลของเส้นใยธรรมชาติ [22]

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างสมบัติทางเคมีของเส้นใยธรรมชาติ [24]

เส้นใย	สมบัติทางเคมี				
	เซลลูโลส (%)	เฮมิเซลลูโลส (%)	ลิกนิน (%)	แว็กซ์ (%)	ความชื้น (%)
ฝ้าย	82.7	5.7	-	-	1.0
มะพร้าว	32-43	0.15-0.25	40-45	-	-
ปอกระเจา	64.4	12	11.8	0.7	1.1
ลินิน	64.1	16.7	2.0	1.5-3.3	3.9
ป่าน	68	15	10	0.8	-
ปอแก้ว	31-72	20.3-21.5	8-19	-	-
ป่านศรนารายณ์	60-78	10.0-14.2	8.0-14	2.0	10-22
สับปะรด	70-83	-	5-12.7	-	11.8
กล้วย	56-63	20-25	7-9	3	-
ไผ่	73.8	12.49	10.15	3.16	-

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างสมบัติทางกายภาพของเส้นใยธรรมชาติ [24]

เส้นใย	สมบัติทางกายภาพ			
	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Elongation (%)	Tensile Strength (MPa)	Young's Modulus (GPa)
ฝ้าย	1.6	7-8	400	5-12
มะพร้าว	1.2	30	593	4-6
ปอกระเจา	1.3	1.5-1.8	393-773	26
ลินิน	1.5	2.7-3.2	500-1500	27
ป่าน	1.47	2-4	690	70
ปอแก้ว	1.45	1.6	930	53
ป่านศรนารายณ์	1.5	2.2.5	511-635	9-22
สับปะรด	1.4	0.8-1	413-1627	34-82
กล้วย	1.35	1-3.5	529-759	8
ไผ่	0.91	1.4	503	35.91

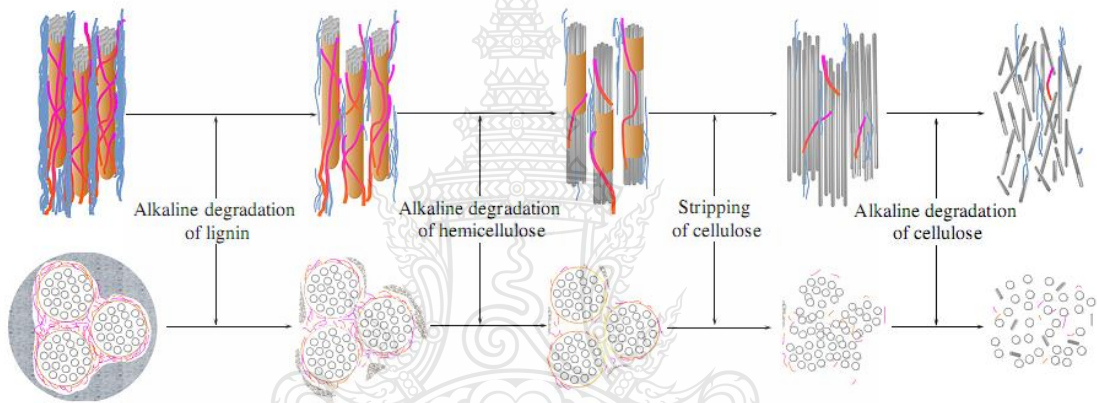
## 2.3 การตัดแปรพื้นผิวของเส้นใย (Fiber treatment) [10]

การตัดแปรพื้นผิวของเส้นใยสามารถแบ่งออกได้เป็น การตัดแปรทางเคมี และการตัดแปรทางกายภาพ โดยแต่ละวิธีให้ประสิทธิภาพในการปรับปรุงการยึดติดระหว่างเส้นใยธรรมชาติและเมทริกซ์ที่ต่างกันออกไป

### 2.3.1 การตัดแปรทางเคมี (Chemical method)

#### 2.3.1.1 การทำอัลคาไลน์เซชัน (Alkalization)

การทำอัลคาไลน์เซชันเป็นวิธีที่สามารถทำความสะอาดพื้นผิวของเส้นใยและตัดแปรพื้นผิวของเส้นใยให้มีการยึดติดระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์เพิ่มขึ้นได้



รูปที่ 2.9 ลักษณะจำลองของเส้นใยระหว่างการทำอัลคาไลน์เซชัน [22]

#### 2.3.1.2 การทำซิลานเซชัน (Silanization)

ตัวเชื่อมประสานซิลาน (Silan coupling agent) เป็นสารประกอบมีขั้วที่มีหมู่ซิลิกอนในโครงสร้าง ด้านหนึ่งของตัวเชื่อมประสานซิลานจะเกิดปฏิกิริยากับเส้นใยธรรมชาติ โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้จะช่วยให้เส้นใยและเมทริกซ์สามารถเข้ากันได้ดีขึ้น

### 2.3.2 การตัดแปรทางกายภาพ (Physical method)

#### 2.3.2.1 การตัดแปรด้วยความร้อน (Heat treatment)

การให้ความร้อนแก่เส้นใยธรรมชาติในระดับที่สูงกว่าอุณหภูมิการอบแห้งปกติสามารถลดปริมาณการดูดความชื้น และทำให้เส้นใยหดตัวลงไปจากเดิม การตัดแปรด้วยความร้อนทำให้ลิกนิน เฮมิเซลลูโลส และการดูดความชื้นของเส้นใยธรรมชาติลดลงในขณะที่การเกิดผลึกของเส้นใยเพิ่มขึ้น

### 2.3.2.2 การตัดแปรโดยใช้โคโรนา (Corona treatment)

การตัดแปรเส้นใยธรรมชาติโดยใช้พลังงานโคโรนาสามารถเพิ่มพลังงานพื้นผิวอิสระขององค์ประกอบที่มีขั้วที่อยู่ภายในเส้นใยธรรมชาติได้ โดยจะเป็นการเพิ่มปริมาณของหมู่คาร์บอนิล (Caronyl group) และหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group)

### 2.3.2.3 การตัดแปรแมทริกซ์ (Matrix modification)

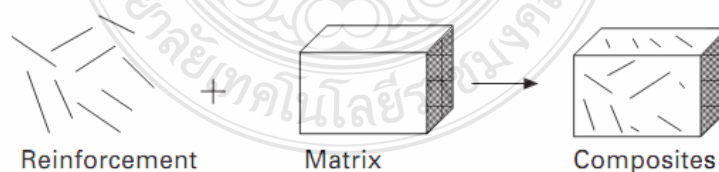
ยางธรรมชาติอีพอกซีไดซ์ (Epoxydized natural rubber, ENR) เป็นยางที่ถูกตัดแปรมาจากยางธรรมชาติ เมื่อยางธรรมชาติถูกอีพอกซีไดซ์ สมบัติทางเคมีและทางกายภาพจะเปลี่ยนไปโดยขึ้นกับปริมาณโมเลกุลที่ถูกตัดแปร เมื่อระดับของการตัดแปรเพิ่มขึ้นจะทำให้ยางมีความเป็นขั้วมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ยางธรรมชาติอีพอกซีไดซ์สามารถเข้ากับเส้นใยธรรมชาติได้ดีกว่ายางธรรมชาติที่ไม่ถูกตัดแปร

### 2.3.2.4 การใส่สารช่วยให้เข้ากัน (Addition of compatibilizer)

การใส่สารช่วยให้เข้ากันลงในคอมโพสิตที่ไม่เข้ากัน สามารถช่วยให้คอมโพสิตมีความเข้ากันได้เพิ่มขึ้น โดยสารช่วยให้เข้ากันจะเข้าไปอยู่บริเวณอินเทอร์เฟซระหว่างผสมและช่วยลดแรงตึงผิว ส่งผลให้สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของคอมโพสิตดีขึ้น

## 2.4 ยางคอมโพสิต (Rubber composite) [11]

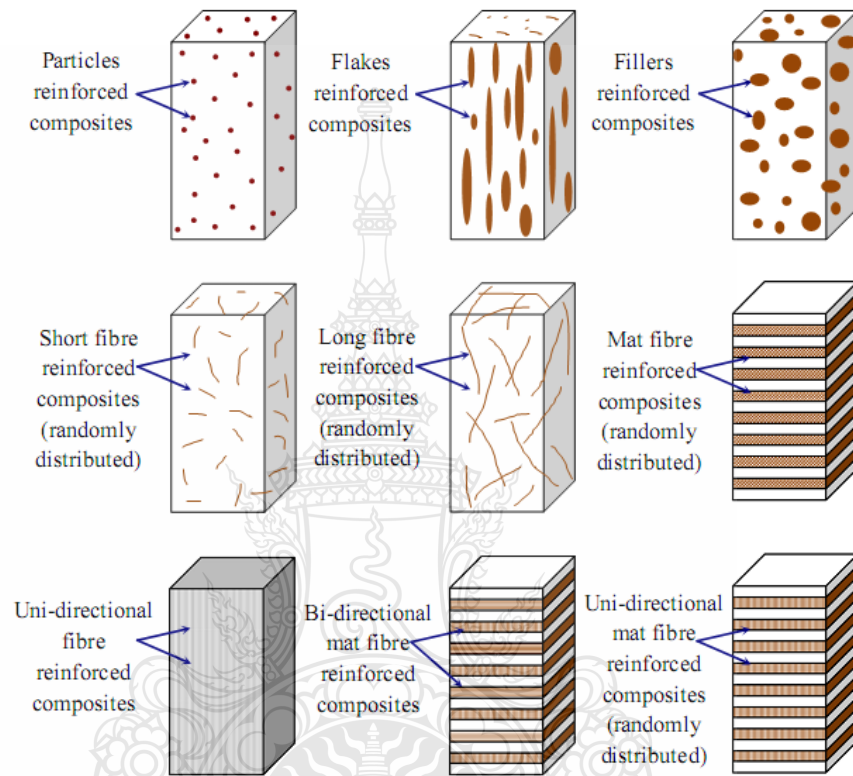
ยางคอมโพสิตเป็นวัสดุที่ประกอบด้วยวัสดุอย่างน้อยสองส่วนร่วมกันเพื่อให้สมบัติของยางดีขึ้น เช่นความแข็งแรง การนำไฟฟ้า เป็นต้น โดยวัสดุทั้งสองนั้นต้องไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน โดยมียางธรรมชาติเป็นเนื้อหลัก ซึ่งเป็นเฟสต่อเนื่องหรือแมทริกซ์ (Matrix) และอีกชนิดเป็นวัสดุเสริมแรง (Reinforcing materials)



### รูปที่ 2.10 ส่วนประกอบของยางคอมโพสิต [25]

ยางคอมโพสิตมีส่วนประกอบสำคัญสองส่วนคือ ส่วนที่เป็นแมทริกซ์ซึ่งเป็นยางธรรมชาติ และส่วนเสริมแรง ซึ่งสารเสริมแรงจะมีลักษณะรูปร่างได้หลายแบบอาจเป็นแผ่นหรือเส้นใยก็ได้ โดย

เส้นใยอาจมีความยาวต่อเนื่องตลอดความยาวของแมทริกซ์ หรืออาจจะเป็นเส้นใยสั้นกระจายตัวในแมทริกซ์ดังรูปที่ 2.11 โดยแต่ละรูปแบบจะส่งผลต่อสมบัติของคอมโพสิตที่ต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน



รูปที่ 2.11 รูปร่างและการกระจายตัวของสารเสริมแรงในแมทริกซ์ [23]

## 2.5 เครื่องมือขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง [13]

ในกระบวนการทำผลิตภัณฑ์จากยางแห้ง เมื่อกำหนดสูตรยางได้แล้วก็จะเป็นขั้นตอนการผสมยางกับสารต่างๆ ที่กำหนดไว้ ซึ่งขั้นตอนนี้มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งต่อการผลิตผลิตภัณฑ์ให้ได้สมบัติตามต้องการ ดังนั้นอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ มีดังนี้

### 2.5.1 เครื่องบดยาง

เครื่องบดยางอาจจำแนกได้เป็น 2 ประเภท คือ เครื่องบดระบบเปิด (Open mill) และ เครื่องบดระบบปิด (Internal mixer)

2.5.1.1 เครื่องบดระบบเปิดคือ เครื่องผสมแบบ 2 ลูกกลิ้งเป็นเครื่องที่ประกอบด้วย ลูกกลิ้ง 2 ลูก เรียงตัวกันในแนวนอนขนานกัน หมุนเข้าหากันด้วยความเร็วที่ต่างกันทำให้เกิดแรงเฉือนที่จำเป็นต่อการบดผสมยางกับสารเคมี ในการผสมนั้นยางกับสารเคมีจะถูกใส่ลงในช่องระหว่าง ลูกกลิ้ง ยางจะถูกรีดออกมาเป็นแผ่นรอบลูกกลิ้งด้านหน้า จากนั้นจึงเติมสารเคมีลงไป ในช่องว่างที่ลูกกลิ้ง พับจะถูกใส่กลับไปในช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งอีกครั้ง แรงเฉือนที่เกิดขึ้นจะช่วยให้สารเคมีต่างๆ กระจายเข้ากับเนื้อยางได้ดี เครื่องผสมยางแบบสองลูกกลิ้งนี้ใช้ผสมยางในปริมาณไม่มากนัก

2.5.1.2 เครื่องบดระบบปิด คือเครื่องผสมระบบปิดสามารถแบ่งตามลักษณะของโรเตอร์ ออกเป็น 4 แบบ ได้แก่

(1) เครื่องบดผสมระบบปิดแบบบันบูรี่ (Banbury internal mixer) เครื่องผสมชนิดนี้ประกอบด้วยห้องผสม (Chamber) โรเตอร์ (Rotor) แท่งกดหรือแรม (Ram) และระบบหล่อเย็น (Cooling system) เครื่องชนิดนี้ให้ประสิทธิภาพและความรวดเร็วในการผสมมากกว่าการใช้เครื่องผสมแบบ 2 ลูกกลิ้งเพราะสารเคมีไม่ฟุ้งกระจายระหว่างผสมโรเตอร์ทั้ง 2 ของเครื่องผสมระบบปิดแบบบันบูรี่จะเป็นแบบไม่คาบเกี่ยว หมุนด้วยอัตราเร็วที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับรุ่นของเครื่องการทำงานของเครื่องบดผสมเพื่อให้เกิดการผสมคลุกเคล้ากันส่วนใหญ่จะมาจากแรงเฉือนที่เกิดขึ้นระหว่างปีกของโรเตอร์กับห้องผสม ยางและสารเคมีจะถูกบีบจนผสมกันในสภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิของห้องผสมอย่างเหมาะสมทำให้เคมีต่างๆ กระจายตัวในยางได้ดีขึ้น

(2) เครื่องบดผสมระบบปิดแบบอินเตอร์มิกซ์ (Intermix internal mixer) เครื่องผสมชนิดนี้มีองค์ประกอบเหมือนกับเครื่องบดผสมระบบปิดแบบบันบูรี่ แต่โรเตอร์ทั้ง 2 จะเป็นแบบคาบเกี่ยวกัน หมุนด้วยอัตราเร็วที่เท่ากัน แรงเฉือนจะเกิดขึ้นที่ช่องว่างระหว่างปีกของโรเตอร์ยางและสารเคมีจะถูกบีบจนผสมคลุกเคล้าเป็นเนื้อเดียวกันได้ดีกว่าเครื่องผสมระบบปิดแบบบันบูรี่ จึงมีประสิทธิภาพการผสมที่ดี สารตัวเติมสามารถแตกตัวและกระจายตัวในยางได้ดี แต่โรเตอร์แบบคาบเกี่ยวกันมีขนาดค่อนข้างใหญ่ ทำให้ยางคอมปาวด์ที่ได้จากการผสมแต่ละครั้งมีปริมาณค่อนข้างน้อย จึงไม่ค่อยเป็นที่นิยม

(3) เครื่องผสมระบบปิดแบบที่ปรับระยะห่างระหว่างโรเตอร์ได้ (Variable intermeshing clearance internal mixer) เครื่องผสมชนิดนี้มีโรเตอร์เหมือนเครื่องผสมระบบปิดแบบอินเตอร์มิกซ์แต่สามารถปรับเปลี่ยนระยะห่างระหว่างโรเตอร์ทั้ง 2 ระหว่างผสมได้

(4) เครื่องนวดยางหรือนีดเดอร์ (Kneader) เป็นเครื่องที่มีการจำหน่ายในเชิงการค้า แม้จะมีหลักการทำงานคล้ายกับเครื่องผสมระบบปิดแบบบันบูรี่ แต่รูปแบบโรเตอร์แตกต่างจากเครื่องผสมระบบปิดแบบบันบูรี่มาก ทำให้ประสิทธิภาพการผสมต่ำกว่า

### 2.5.2 การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางโดยเบ้าพิมพ์ (molding)

การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางโดยเบ้าพิมพ์ เป็นกระบวนการที่มีผลทั้งในรูปผลิตภัณฑ์และทำให้ยางคงรูป โดยอาศัยความร้อนและแรงอัดภายในสถานะที่สามารถอ่อนตัวได้และไหลได้ในเบ้าพิมพ์รูปร่างตามที่ต้องการ พื้นฐานของการขึ้นรูปโดยใช้เบ้าพิมพ์มี 3 แบบคือ การใช้เบ้าพิมพ์แบบอัดธรรมดา (Compression mold) แบบกึ่งฉีด (Transfer mold) และแบบฉีด (Injection mold)

#### 2.5.2.1 เบ้าพิมพ์แบบอัดธรรมดา

เบ้าพิมพ์แบบอัดธรรมดานี้ใช้กันอย่างกว้างขวางในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางชนิดต่างๆ ลักษณะของพิมพ์ประกอบด้วย 2 ส่วนซึ่งยึดกันด้วยสลัก ใส่ยางที่ผสมสารเคมีแล้วลงในช่องของเบ้าพิมพ์โดยให้ยางมีขนาดเล็กกว่าขนาดของเบ้าพิมพ์เล็กน้อย เพื่อจะได้ประกายเต็มช่องเบ้าพิมพ์ เมื่อปิดเบ้าพิมพ์และอาศัยเครื่องอัดเบ้าพิมพ์ ส่วนของยางที่เกินความจุของเบ้าพิมพ์จะล้นออกมาข้างเบ้าพิมพ์ ไหลไปตามร่องและเรียกยางที่ล้นจากเบ้าพิมพ์ว่า "ซียาง"(Mold flash)

#### 2.5.2.2 เบ้าพิมพ์แบบกึ่งฉีด

หลักการของเบ้าพิมพ์แบบกึ่งฉีด คือ ยางจะอ่อนตัวและถูกอัดให้กระจายจากส่วนหนึ่งของเบ้าพิมพ์ที่เรียกว่า pot ไปช่องของเบ้าพิมพ์ที่เป็นรูปร่างผลิตภัณฑ์ วิธีการนี้สามารถใช้ทำผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างซับซ้อน หรือมีชิ้นส่วนของสิ่งอื่นๆ ประกอบอยู่ภายในส่วนของผลิตภัณฑ์ หรือแม้กระทั่งผลิตภัณฑ์ชนิดที่มีส่วนของโลหะประกอบด้วย ซึ่งชิ้นส่วนโลหะจะถูกวางยึดในช่องว่างของเบ้าพิมพ์และยางจะถูกฉีดให้เชื่อมติดกับส่วนที่เป็นโลหะ แต่หากใช้เบ้าพิมพ์ธรรมดาโลหะอาจจะเคลื่อนที่ทำให้เกิดความเสียหายกับเบ้าพิมพ์ได้

#### 2.5.2.3 เบ้าพิมพ์แบบฉีด

เบ้าพิมพ์แบบนี้ถือว่าพัฒนามาจากเบ้าพิมพ์แบบกึ่งฉีด เครื่องที่ใช้อัดยางเข้าไปในเบ้าพิมพ์อาจใช้ชนิดสกรูหรือชนิดลูกสูบ ซึ่งลักษณะตัวเครื่องฉีดมีทั้งแบบแนวตรงและแนวราบ เป็นเครื่องที่มีหลักการเดียวกันกับเครื่องฉีดเทอร์โมพลาสติก ยางที่ถูกป้อนเข้าไปในเครื่องฉีดอาจอยู่ในลักษณะที่เป็นรีว หรือชิ้นเล็กๆ

## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีดังนี้

Lifang Liu [14] และคณะ ได้ทำการศึกษาเรื่องสมบัติเชิงกลของคอมโพสิตโพลีบิวทิลีน ซักซิเนต (PBS) ที่ถูกเสริมแรงด้วยเส้นใยปอกระเจาที่ผ่านการปรับปรุงผิว ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับขั้นตอนการปรับปรุงผิวของเส้นใยและผลของเส้นใยที่มีต่อสมบัติเชิงกลของคอมโพสิต จากการทดลองได้

พบว่า การปรับปรุงผิวของเส้นใยทำให้เป็นการนำเอาสิ่งสกปรกออกจากเส้นใยและยังช่วยลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย และจากผลการทดลองสมบัติเชิงกลพบว่าเส้นใยที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของคอมโพลีเมอร์คือ 2%NaOH, 2+5%NaOH และคอมโพลีเมอร์ที่เสริมแรงด้วยเส้นใยที่ปรับปรุงผิวด้วยสารเชื่อมประสาน (Coupling agent) มีสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด จากนั้นผลของปริมาณของเส้นใยที่ดีที่สุดต่อสมบัติเชิงกลคือที่ปริมาณเส้นใยเท่ากับ 20% โดยน้ำหนักซึ่งแสดงให้เห็นถึงการเพิ่มประสิทธิภาพด้านความแข็งแรงและ โมดูลัสเมื่อเทียบกับเส้นใยที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงผิวเลย

K. Mylsamy [15] และคณะได้ทำการศึกษาเรื่องสมบัติเชิงกล การเสียรูปและสมบัติทางเทอร์โมแมคคานิคอลของอีพอกซีคอมโพลีเมอร์ที่ถูกเสริมแรงด้วยเส้นใยดอกโคโมที่ผ่าน (TCEC) และไม่ผ่านการปรับปรุงผิว (UTCEC) ซึ่งลักษณะของเส้นใยจะเป็นเส้นใยยาว สมบัติเชิงกลต่างๆ เช่น การทนแรงดึง การทนแรงกดอัด การทนแรงกระแทกและการดูดซับน้ำของ TCEC และ UTCEC การเปรียบเทียบพื้นผิวของ TCEC และ UTCEC จะถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Dynamic mechanical analysis (DMA) Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) และ Scanning electron microscopy (SEM) จากการทดลองพบว่าสมบัติทางเทอร์โมแมคคานิคอลของ TCEC นั้นมีผลดีที่สุด อีกทั้งรูป SEM และกราฟ FTIR ที่วิเคราะห์จากผิวการแตกของคอมโพลีเมอร์ยังแสดงให้เห็นถึงการยึดเกาะกันที่ดีของเส้นใยและแมทริกซ์

B.F. Yousif [16] และคณะได้ทำการศึกษาเรื่องสมบัติการคั่งของอีพอกซีคอมโพลีเมอร์ที่เสริมแรงด้วยเส้นใยปอแก้วที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วย 6%NaOH และไม่ผ่านการปรับปรุงผิว โดยสังเกตความเปลี่ยนแปลงของเส้นใยด้วย SEM โดยจากการทดลองพบว่าอีพอกซีเสริมแรงด้วยเส้นใยปอแก้วที่ผ่านการปรับปรุงผิวมีความทนต่อการคั่งได้เพิ่มขึ้นประมาณ 36% ขณะที่เส้นใยที่ไม่มีการปรับปรุงผิวมีความทนต่อการคั่งได้เพิ่มขึ้นเพียง 20% ที่เป็นเช่นนี้ก็เนื่องมาจากการปรับปรุงผิวทางเคมี ที่ช่วยเพิ่มการยึดเกาะของเส้นใยและการเพิ่มรูพรุนเพื่อให้เกิดการยึดเกาะที่ดีขึ้น ซึ่งจะต่างกับเส้นใยที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงผิวมันจะไม่มีเกิดการยึดเกาะที่ดีระหว่างเส้นใยกับแมทริกซ์

V.G. Geethama [17] และคณะได้ทำการศึกษาเรื่องพฤติกรรมเปลี่ยนแปลงเชิงกลของธรรมชาติที่ถูกเสริมแรงด้วยเส้นใยมะพร้าวแบบเส้นใยสั้นพบว่า จุดสูงสุดของ  $\tan \delta$  ,  $E''$  และจุดกึ่งกลางของ  $E'$  จากกราฟอูณหภูมิของยางธรรมชาติคอมปาวด์ที่ความถี่ที่แตกต่างกัน เกือบจะตรงเป็นจุดเดียวกัน แต่จุดสูงสุดของ  $\tan \delta$  และ  $E''$  จะไม่ตรงกันในกรณีของคอมโพลีเมอร์ จากการสังเกตพบว่าเมื่อความถี่เพิ่มขึ้นค่า  $\tan \delta$  และ  $E''$  มีค่าลดลง ขณะที่ค่า  $E'$  เพิ่มขึ้นทั้งในกรณีของยางธรรมชาติและกรณีของคอมโพลีเมอร์ การที่ค่า  $\tan \delta$  และ  $E''$  เพิ่มขึ้นจากการเติมเส้นใย ซึ่งมันบ่งบอกว่ามีการกระจายความร้อนที่ต่ำกว่าในยางธรรมชาติ จากกราฟ  $\tan \delta$  กับอุณหภูมิสังเกตว่า 2 กราฟที่โดดเด่นแสดงให้เห็น



เห็นถึงพฤติกรรมเปลี่ยนแปลงเชิงกลของแมทริกซ์กับเส้นใย ส่วนกราฟเล็กๆจะแสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมเปลี่ยนแปลงเชิงกลของแรงระหว่างผิวของคอมโพสิต ผลของการปรับปรุงทางเคมีของเส้นใยมะพร้าวในคอมโพสิตพบว่าคอมโพสิตที่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างผิวค้ำมีแนวโน้มที่จะกระจายพลังงานได้มากกว่าการที่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างผิวที่ดี

Hanafi Ismail [18] และคณะได้ทำการศึกษาเรื่องการใช้ไซเลนเป็นสารเชื่อมประสานซึ่งมีผลต่อลักษณะการบ่มและสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติที่เติมเส้นใยไผ่ จากการศึกษาพบว่าค่า Scorch time ( $t_2$ ) และค่า Cure time ( $t_{90}$ ) ของคอมโพสิตลดลงเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้นและยังแสดงให้เห็นถึงผลจากการใช้ไซเลน (Si69) เป็นสารเชื่อมประสาน ค่าความหนืดมูนนี้ยังเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น สมบัติเชิงกลของคอมโพสิต ได้แก่สมบัติการทนแรงดึง การทนแรงฉีกขาด ความแข็งที่ผิวและมอดูลัส ที่มีการปรับปรุงโดยใช้ Si69 และจากการวิเคราะห์ด้วย SEM พบว่ารูปที่ได้จากการส่องชิ้นงานที่เติมเส้นใยโดยไม่ใช้ Si69 พบว่าเจอช่องว่างเป็นจำนวนมากหลังจากดึงเส้นใยออกจากแมทริกซ์ที่เป็นยาง ส่วนเมื่อส่องชิ้นงานที่เติมเส้นใยโดยใช้ Si69 เป็นสารเชื่อมประสานพบว่าขนาดของช่องว่างนั้นมีขนาดที่เล็กลง

A.K. Mohanty [19] และคณะได้ทำการศึกษาเรื่องการปรับปรุงผิวของเส้นใยปอกระเจาและอิทธิพลที่มีผลต่อการทำคอมโพสิตย่อยสลายได้จาก เส้นใยปอกระเจากับไบโอโพล (Jute/Biopol composites) การปรับปรุงผิวของเส้นใยปอกระเจาทำโดยการ กำจัดไขมัน (Dewaxing) ปรับปรุงผิวโดยใช้ด่าง (Alkali treatment) การทำไซยาโนเอทิลเลชัน (Cianoethylation) และการกราฟ (grafting) เพื่อใช้เป็นการเสริมแรงให้กับคอมโพสิตที่มีแมทริกซ์เป็นพอลิเมอร์ย่อยสลายได้ (Biopol) การปรับปรุงผิวด้วยวิธีทางเคมีได้มีการพิสูจน์ด้วยเครื่อง FTIR และ TGA ผลจากวิธีการปรับปรุงผิวที่ต่างกันและปริมาณของไฟเบอร์ที่ต่างกัน พบว่าสมบัติเชิงกลเช่น การทนแรงดึง การทนการตัดและการทนต่อแรงกระแทกดีขึ้นเมื่อเทียบกับ Biopol ที่ไม่ได้รับการเสริมแรง ซึ่งคอมโพสิตมีสมบัติการทนแรงดึงเพิ่มขึ้น 30% และมีสมบัติการทนต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้น 90% และจาก SEM พบว่าการปรับปรุงผิวของเส้นใยสามารถช่วยให้การยึดติดกันของเส้นใยกับแมทริกซ์ดีขึ้น

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงาน

#### 3.1 อุปกรณ์ และสารเคมี

##### 3.1.1 ยาง และสารเคมี

3.1.1.1 ยางธรรมชาติ เกรดยางแท่ง STR 20

3.1.1.2 ซิงก์ออกไซด์ (ZnO)

3.1.1.3 กรดสเตียริก (Stearic acid)

3.1.1.4 เส้นใยปอกระเจา

3.1.1.5 ไดฟีนิลกัวนิดีน (Diphenyl guanidine, DPG)

3.1.1.6 เบนโซไทอาซอไดซัลไฟด์ (Benzothiazyl disulfide, MBTS)

3.1.1.7 กำมะถัน (Sulfur)

3.1.1.8 แอนติออกซิแดนท์ (Antioxidant)

3.1.1.9 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH)

3.1.1.10 น้ำยางธรรมชาติเข้มข้นแอมโมเนียสูง (High ammonia natural rubber latex, HANR)

##### 3.1.2 เครื่องมือที่ใช้ขึ้นรูปและเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

3.1.2.1 เครื่องบดผสมยางสองลูกกลิ้ง (Two roll mill) บริษัท ยง ฟง แมชชีนเนอรี่

จำกัด Model : YFTR 8" (YFH-8"x18"L)



รูปที่ 3.1 เครื่องบดผสมยางสองลูกกลิ้ง

3.1.2.2 เครื่องอัดเบ้า (Compression molding) บริษัท ยง ฟง แมชชีนเนอร์ จำกัด

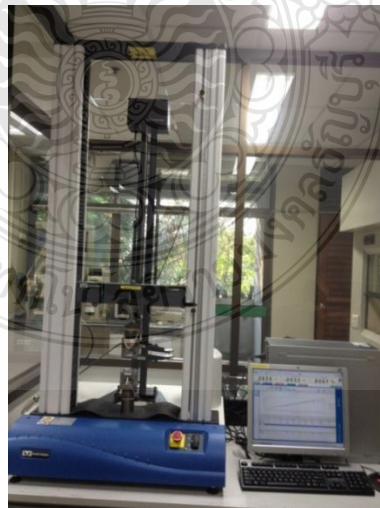
Model : YFY HM-100T



รูปที่ 3.2 เครื่องอัดเบ้า

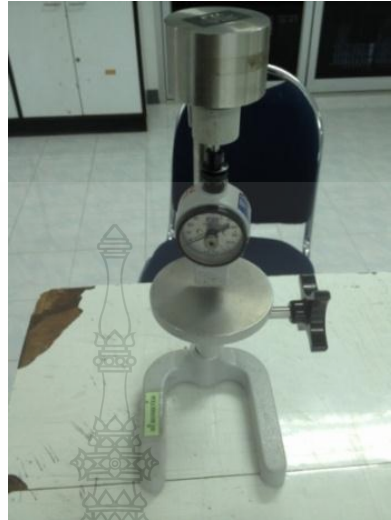
3.1.2.3 เครื่องทดสอบ Universal testing machine ของบริษัท INSTRON

Model : 3366



รูปที่ 3.3 เครื่องทดสอบ Universal Testing Machine

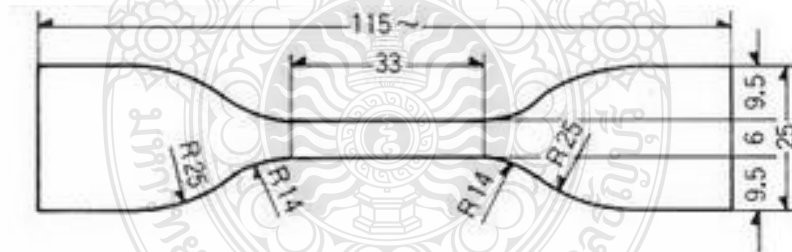
3.1.2.4 เครื่องทดสอบความแข็ง (Durometer shore A) ยี่ห้อ PTC INSTRUMENTS



รูปที่ 3.4 เครื่องทดสอบความแข็ง

3.1.2.5 เครื่องตัดชิ้นงานทดสอบ Tensile properties

3.1.2.6 บล็อกตัดชิ้นงานรูปคัมเบลมาตรฐาน ASTM D412 Type C



รูปที่ 3.5 ลักษณะชิ้นงานมาตรฐาน ASTM D412 type C [15]

3.1.2.8 เครื่องทดสอบลักษณะสัณฐานวิทยา (Scanning electron microscope, SEM)

ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-5410LV



รูปที่ 3.6 เครื่องทดสอบลักษณะสัณฐานวิทยา

3.1.2.9 เครื่องเคลือบตัวอย่างทดสอบ SEM ยี่ห้อ FISONS Instruments รุ่น

POLARON SC7640 COATER



รูปที่ 3.7 เครื่องเคลือบตัวอย่างทดสอบ SEM

3.1.2.10 เครื่องทดสอบการทนแรงดึงของเส้นใย ของบริษัท INSTRON Model :

5569



รูปที่ 3.8 เครื่องทดสอบแรงดึงของเส้นใย

3.1.2.11 เครื่องวิเคราะห์ความชื้น ของบริษัท METTLER TOLEDO รุ่น : HB43-S

Halogen



รูปที่ 3.9 เครื่องวิเคราะห์ความชื้น

## 3.2 การเตรียมผิวและการคำนวณค่าความเหนียวของเส้นใย

### 3.2.1 การเตรียมผิวเส้นใย

เส้นใยธรรมชาติที่จะนำมาใช้ในการทดลองจะต้องมีการจุ่มลงไปในสารละลายต่างๆเพื่อเป็นการปรับผิวของเส้นใย เนื่องจากการใช้เส้นใยธรรมชาติเพื่อเสริมความแข็งแรงให้กับยางธรรมชาตินั้น ได้พบปัญหาคือผิวของเส้นใยธรรมชาติกับผิวของยางธรรมชาติไม่สามารถยึดเหนี่ยวกันได้ จึงทำให้ความแข็งแรงของคอมโพสิตไม่ดีเท่าที่ควร ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาเรื่องนี้จึงต้องมีการปรับปรุงผิวของเส้นใยธรรมชาติ เพื่อให้สามารถยึดเหนี่ยวกับผิวของยางธรรมชาติได้ดีขึ้น

การปรับปรุงผิวของเส้นใยที่จะใช้ในการทดลองนั้นจะต้องมีการควบคุมปริมาณน้ำยางธรรมชาติที่เคลือบบนผิวของเส้นใยธรรมชาติ โดยจะมีขั้นตอนดังนี้

3.2.1.1 เตรียมเส้นใยให้ได้ปริมาณตามสูตร

3.2.1.2 ตัดเส้นใยให้มีความยาวประมาณ 45 เซนติเมตร

3.2.1.3 นำเส้นใยทั้งหมดไปจุ่มในโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 5%wt โดยน้ำหนักเป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง แล้วตากที่อุณหภูมิห้อง 1 ชั่วโมง จากนั้นอบในตู้อบเป็นเวลา 5 ชั่วโมง ให้เส้นใยแห้ง

3.2.1.4 นำเส้นใยมาแยกเป็นเส้น แล้วนำไปจุ่มในน้ำยางธรรมชาติที่เตรียมไว้ตามเวลาที่กำหนด ให้เท่ากันทุกเส้นเพื่อเป็นการควบคุมความหนาของน้ำยางธรรมชาติที่เคลือบบนผิวของเส้นใย

3.2.1.5 เมื่อจุ่มเสร็จให้นำเส้นใยไปตากโดยไม่ให้เส้นใยแต่ละเส้นสัมผัสกัน โดยตากทิ้งไว้ 5 ชั่วโมง ควรระวังไม่ให้เส้นใยสัมผัสกัน แล้วนำไปอบในตู้อบ 8 ชั่วโมง

3.2.1.6 นำเส้นใยที่แห้งแล้วมาตัดให้ได้ความยาว 1 เซนติเมตร เพื่อนำไปใช้บดผสมกับยางธรรมชาติต่อไป

### 3.2.2 การคำนวณค่าความเหนียวของเส้นใย

สูตรการคำนวณค่าความเหนียวของเส้นใย คือ

$$\text{Tenacity} = \frac{\text{Max. load}}{\text{Yarn number}} \quad (1)$$

เมื่อ	Tenacity	คือ	ค่าความเหนียวของเส้นใย (gf/den)
	Max.load	คือ	ค่าที่ได้จากการทดลอง (grams force)
	Yarn Number	คือ	น้ำหนักของเส้นใยที่ความยาว 9000 เมตร (Deneir)

### 3.3 สูตรยางผสม (Rubber Compounding Formular)

สำหรับสูตรยางที่ใช้ในการทำโครงการนี้ ได้แบ่งออกเป็นสูตรต่างๆ โดยการแปรปริมาณเส้นใยปอกระเจาที่ใช้ คือ 0, 10, 20, 30 และ 40 phr ตามลำดับ และเส้นใยปอกระเจาที่ใช้จะถูกแยกโดยวิธีการเคลือบผิวของเส้นใยปอกระเจาโดยจะมีเส้นใยปอกระเจาที่ไม่ปรับปรุงผิว (Untreated fibers) เส้นใยปอกระเจาปรับปรุงผิวน้ำยางธรรมชาติ (Treated HANR) เส้นใยปอกระเจาปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Treated NaOH) และเส้นใยปอกระเจาปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับน้ำยางธรรมชาติ (Treated NaOH+HANR) ซึ่งรายละเอียดได้แสดงไว้ดังตารางที่ 3.1

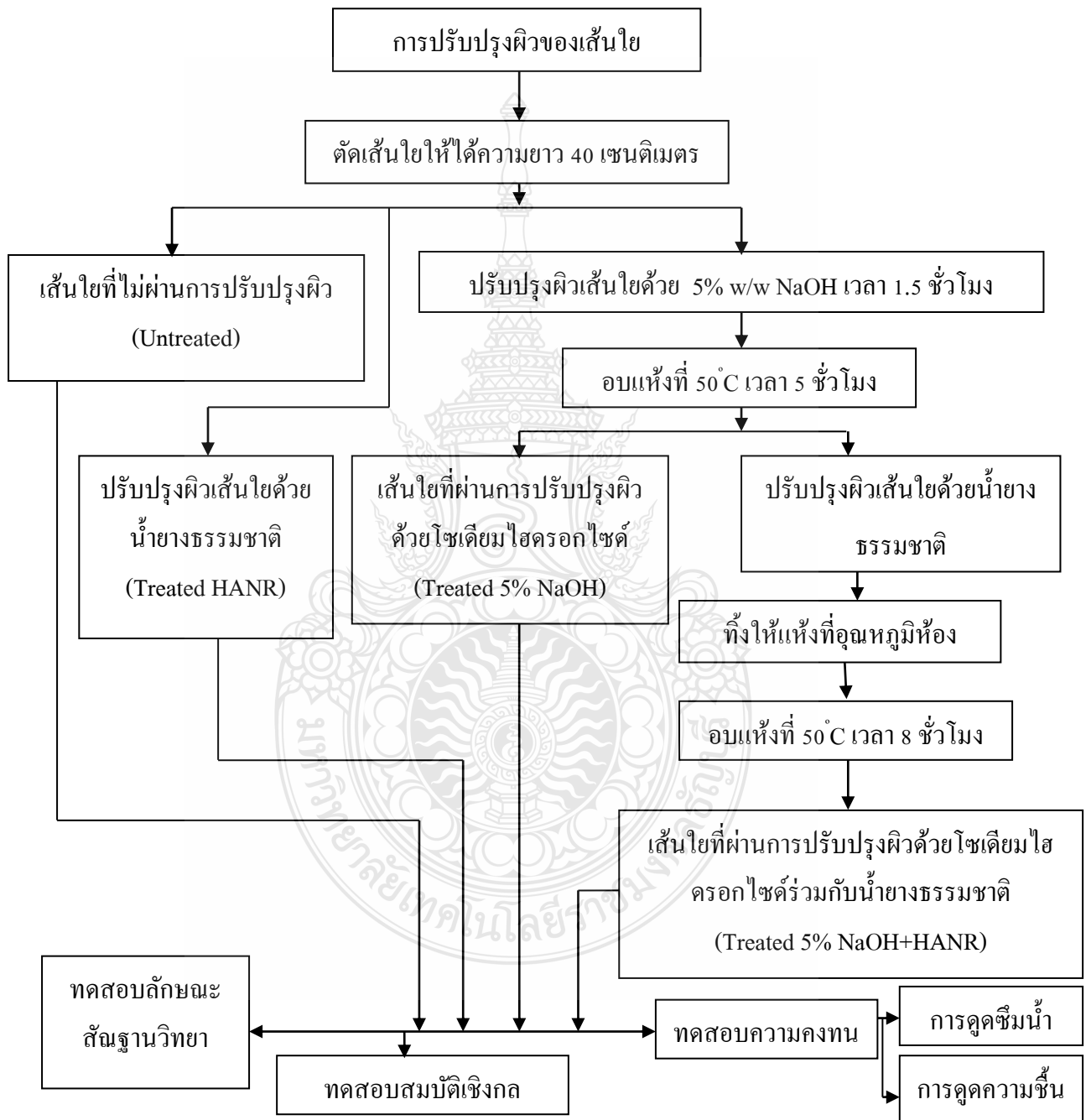
ตารางที่ 3.1 สูตรยางผสมสารเคมี

Ingredients	Content (phr)				
	1	2	3	4	5
STR20	100	100	100	100	100
Stearic acid	1	1	1	1	1
ZnO	5	5	5	5	5
Oil	4	4	4	4	4
MBTS	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
DPG	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Antioxidant	1	1	1	1	1
Sulfur	3	3	3	3	3
Jute fiber (Untreated, Treated HANR, Treated NaOH, Treated NaOH+HANR)	0	10	20	30	40



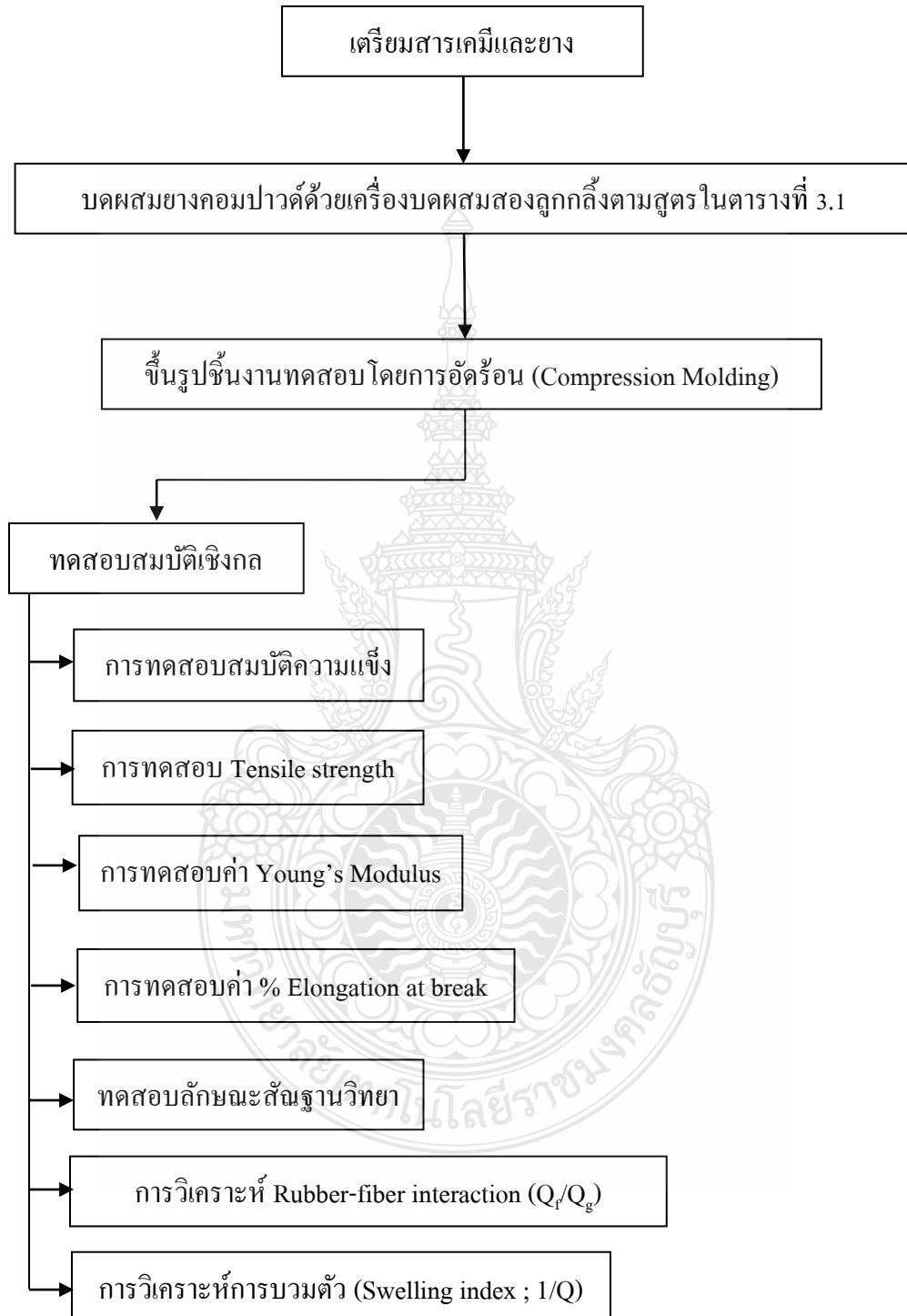
### 3.4 ขั้นตอนการทดลอง

#### 3.4.1 ปรับปรุงผิวเส้นใยปอกระเจา



รูปที่ 3.10 ขั้นตอนการปรับผิวเส้นใย

### 3.4.2 การทำยางคอมโพสิต



รูปที่ 3.11 ขั้นตอนการทดลอง

### 3.5 วิธีการขึ้นรูปและทดสอบ

#### 3.5.1 การบดผสมยาง

##### 3.5.1.1 วัสดุและอุปกรณ์

- เครื่องบดผสมสองลูกกลิ้ง
- เกียงทองเหลือง
- ถาดสแตนเลส

##### 3.5.1.2 วิธีทดลอง

- ชั่งสารตามอัตราส่วนที่กำหนดจากสูตรในตารางที่ 3.1

- นำยางมาบดก่อนเพราะยางมีน้ำหนักโมเลกุลสูงมากจึงรับสารตัวอื่นเข้าไปได้ยากโดยเริ่มจากการปรับระยะลูกกลิ้งให้พอดีแล้วนำยางเทลงไปตรงกลางระหว่างลูกกลิ้งทั้งสอง ขณะรีดยางอุณหภูมิยางจะสูงขึ้นเรื่อยๆเมื่อสังเกตเห็นว่ายางพันรอบลูกกลิ้งแล้วเริ่มทำการจับเวลาจนกระทั่งเกิดแรงค้ำตรงกลางให้บันทึกเวลาที่จับไว้

- ใส่น้ำสารเคมีลงไปตามลำดับโดยจับเวลาในการผสมเท่าๆกัน
- ใส่น้ำมันพลาสติกที่มีการซิลเพื่อป้องกันไม่ให้ยางไหลติดกันทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง

ก่อนแล้วจึงนำไปทดลองหาค่าต่างๆต่อไป

#### 3.5.2 การขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ

##### 3.5.2.1 วัสดุอุปกรณ์

- เครื่องอัดเป่า (Compression Molding)
- ยางคอมปาวด์
- เกียงทองเหลือง
- เครื่องชั่ง
- ถุงมือ

##### 3.5.2.2 วิธีการทดลอง

- กดปุ่มเปิดตัวควบคุมอุณหภูมิทั้ง 2 ตัว
- กดปุ่มเปิดหน้าจอ (Touch screen)
- ตั้งอุณหภูมิของเครื่องตามที่ต้องการให้เท่ากันทั้งแม่พิมพ์ด้านบนและด้านล่างจากนั้นรอนอุณหภูมิได้ตามต้องการ
- กดปุ่มหน้าจอเลือก “เมนูหลัก”

- เลือก “ตั้งเวลาอบยาง” 600 วินาที
- บิดปุ่มไฮดรอลิกส์ไปตำแหน่ง AUTO
- ใส่ยาง Compound ที่ทำการชั่งไว้แล้วประมาณ 70 g เข้าไปในเครื่อง
- กดปุ่ม Start เครื่องดำเนินการอบยางอัตโนมัติ
- รอเวลาเครื่องดำเนินการจนครบเวลาที่ตั้งไว้เครื่องจะนำยางออกมาแล้วก็

เอายางที่ทำการ Compassion เสร็จแล้วออกจากเครื่องแล้วนำยาง Compound ชิ้นใหม่เข้าไปแทน

### 3.5.3 การทดสอบแรงดึงเส้นใย

#### 3.5.3.1 วัสดุและอุปกรณ์

- เครื่องทดสอบการทนแรงดึงเส้นใย
- เส้นใยที่มีความยาวประมาณ 45 เซนติเมตร

#### 3.5.3.2 วิธีการทดลอง

- ตั้งค่าสภาวะการดึง คือ Load = 10 kn, Gauge length 250 mm, Cross-head speed 250 mm./min.

- ใส่ชิ้นงานให้เป็นรูปตัว S แล้วเหยียบสวิทช์ให้หัวจับจับชิ้นงาน
- กดหมายเลข 1 บนแผงควบคุมข้างเครื่องทดสอบ และกด Start
- นำค่าที่ได้ไปคำนวณ

### 3.5.4 การวิเคราะห์ความชื้นของเส้นใย

#### 3.5.4.1 วัสดุและอุปกรณ์

- เครื่องวิเคราะห์ความชื้น
- เส้นใย 2.6-3.5 กรัมต่อ การทดสอบ 1 ครั้ง

#### 3.5.4.2 วิธีการทดลอง

- เปิดเครื่องมือวิเคราะห์ความชื้นแล้วเลือกใช้ "Method A"  
 - เปิดฝาเครื่องวิเคราะห์ความชื้น หน้าจอจะแสดงให้วางถาดตัวอย่างลงไป  
 - วางถาดเปล่าลงไปบนเครื่องมือวิเคราะห์  
 - ปิดฝา เครื่องจะทำการเซต ZERO อัตโนมัติ หลังจากเสร็จเครื่องจะแสดงหน้าจอให้ใส่ตัวอย่างลงไป

- เปิดฝาเครื่อง ใส่ตัวอย่างลงไปมากกว่า 0.5 กรัม (ควรใส่ 2.6-3.5 กรัม)
- ปิดฝา แล้วเครื่องจะทำงานอัตโนมัติจนเสร็จ บันทึกผลการทดลอง

### 3.5.5 การวิเคราะห์การดูดซึมน้ำของเส้นใย

#### 3.5.5.1 วัสดุและอุปกรณ์

- เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
- เส้นใย
- ขวดใส่ตัวอย่าง

#### 3.5.5.2 วิธีการทดลอง

- ชั่งน้ำหนักเส้นใยก่อนทดลอง จดบันทึกค่า
- ใส่เส้นใยลงในขวดแล้วเทน้ำจนท่วมเส้นใยทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง
- หยิบเส้นใยออกจากน้ำแล้วซับให้แห้ง
- ชั่งน้ำหนัก จดบันทึกค่าน้ำหนักที่ได้ไปคำนวณหาค่าการดูดซึมน้ำ จากสูตร

$$\% \text{การดูดซึมน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักหลังจุ่มน้ำ} - \text{น้ำหนักก่อนจุ่มน้ำ}}{\text{น้ำหนักก่อนจุ่มน้ำ}} \times 100 \quad (2)$$

### 3.5.6 การทดสอบหาค่าการทนแรงดึง ค่าระยะยืด ณ จุดขาดและค่ามอดุลัส

#### 3.5.6.1 วัสดุอุปกรณ์

- เครื่องดึงเป็น Universal testing machine
- เครื่องมือวัดความหนาเครื่องไมโครมิเตอร์ดิจิตอลซึ่งได้ละเอียด 0.001 มม
- บล็อกตัดชิ้นเป็นรูปดัมเบลตามสเปกของยาง
- เครื่องตัดชิ้นงาน
- เครื่องมือวัดความกว้างเครื่องมือเวอร์เนีย

#### 3.5.6.2 ตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ

- ตัดชิ้นงานทดสอบตามบล็อกตัดชิ้นงานมาตรฐาน ASTM D412 type C

#### 3.5.6.3 วิธีการทดลอง

- วัดความหนาของชิ้นงานทดสอบโดยใช้ไมโครมิเตอร์
- วัดความกว้างของชิ้นงานโดยใช้เวอร์เนีย
- เลือกตัวจับชิ้นงานให้เหมาะสมกับชิ้นงานยาง
- เปิดเครื่องทดสอบและเครื่องคอมพิวเตอร์

- เลือก Program ไล่ Speed (500 mm/min) ไล่ Sample length (50mm)
- ไล่ขนาดชิ้นงานทดสอบ (Sample dimension)
- เครื่องจะเริ่มทดสอบโดยค่อยๆดึงชิ้นงานขึ้นไปจนชิ้นงานขาดแล้วค่าที่ได้

จะแสดงที่หน้าจอคอมพิวเตอร์

### 3.5.7 การทดสอบความแข็ง (Hardness) ตามมาตรฐาน ASTM D2240

ใช้เครื่อง Durometer ที่อุณหภูมิ (23 ± 2) องศาเซลเซียสเครื่องวัดความแข็งของยางชนิดเอ (Type A) เป็นเครื่องวัดวิเคราะห์อีกชนิดหนึ่งที่ใช้เป็นตัวชี้บอกค่าความแข็งทางด้านยางซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงเครื่องวัดความแข็งของยางชนิดเอที่ใช้เป็นมาตรฐานในปัจจุบันและได้รับการผลิตตามมาตรฐาน ASTM D2240 ซึ่งในข้อกำหนดที่เป็นมาตรฐานสากลของเครื่องวัดความแข็ง ชนิด Shore A แสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 มาตรฐานสากลเครื่องวัดความแข็ง ชนิด Shore A

ชนิด	การใช้วัสดุ	มาตรฐาน	แรงสปริง นิวตัน (กรัม) ความแข็ง 0-100	ขนาดของหัวกด (มม) ขนาด/ความสูง
A	สำหรับยาง ทั่วไป/วัสดุที่มี ความยืดหยุ่น	ASTM D 2240	0.550 – 8.050 N	ทรงรูปกรวยปลายตัดเส้นผ่าน ศูนย์กลาง 0.79 มม. ทำมุม 35 องศา/2.50 ± 0.04

#### 3.5.7.1 วิธีการทดสอบ

- เตรียมชิ้นงานทดสอบมีความหนาอย่างน้อย 6 มิลลิเมตร
- กดหัวกดลงบนชิ้นทดสอบและต้องออกแรงกดให้มากพอที่จะทำให้ฐานของหัวกดแนบสนิทกับชิ้นทดสอบ
- เมื่อฐานของหัวกดแนบสนิทกับชิ้นทดสอบรอ 10 วินาที อ่านค่าความแข็ง
- ทำการวัดความแข็งอย่างน้อย 10 จุดบนชิ้นทดสอบ คำนวณค่าเฉลี่ยที่ได้

### 3.5.8 การทดสอบลักษณะพื้นฐานวิทยา

#### 3.5.8.1 วัสดุอุปกรณ์

- เครื่องเคลือบตัวอย่างทดสอบด้วยทอง
- เครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

- ชั่งงานทดสอบ

### 3.5.8.2 วิธีการทดลอง

- เคลือบชิ้นงานด้วยเครื่องเคลือบตัวอย่างทดสอบ
- นำชิ้นงานที่เคลือบทองแล้วใส่ในช่องใส่ตัวอย่างของเครื่อง
- ตั้งค่ากำลังขยาย แรงดันไฟฟ้า
- เลือกตำแหน่งที่ต้องการถ่ายพร้อมปรับความคมชัดของภาพแล้วกดถ่าย

### 3.5.9 การวิเคราะห์การบวมตัว (Swelling index)

#### 3.5.9.1 วัสดุอุปกรณ์

- เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
- ตัวอย่างขนาดกว้าง 2 ซม. ยาว 2 ซม.หนา 2-3 มม.
- ขวดใส่ตัวอย่าง
- โทลูอิน (Toluene)

#### 3.5.9.2 วิธีการทดลอง

- ชั่งน้ำหนักตัวอย่างก่อนทดลอง แล้วใส่ตัวอย่างลงในขวด
- เติมโทลูอินจนท่วมตัวอย่างปิดฝาให้สนิท เก็บในที่มืด 7 วัน
- เททูโลอินออกแล้วซับตัวอย่างให้แห้งแล้วชั่งน้ำหนัก
- นำตัวอย่างไปอบจนน้ำหนักคงที่ แล้วจดบันทึกน้ำหนักหลังอบ
- นำค่าที่ไปคำนวณหาค่า  $1/Q$  จากสูตร

$$\text{Swelling index หรือ } Q = \frac{A_s}{W_1 \times 100} \quad (3)$$

เมื่อ  $A_s$  คือ น้ำหนักของสารละลาย  
 $W_1$  คือ น้ำหนักเริ่มต้น

### 3.5.10 การวิเคราะห์ค่า Rubber-fiber interaction

หาค่า  $Q_f/Q_g$  จากสมการ Lorentz Park

$$Q_f / Q_g = ae^{-z} + b \quad (4)$$

เมื่อ  $Q_r$  คือค่า  $Q$  ของคอมโพสิตเสริมแรง ส่วน  $Q_g$  คือค่า  $Q$  ของคอมโพสิตที่ไม่เสริมแรงโดยค่า  $Q$  คำนวณได้จาก

$$Q = \frac{\text{Swollen wt.} - \text{Dried wt.}}{\text{Original wt.} \times 100 / \text{Formular wt.}} \quad (5)$$

เมื่อ	Swollen wt.	คือ	น้ำหนักตัวอย่างหลังบวมตัว
	Dried wt.	คือ	น้ำหนักตัวอย่างหลังอบแห้ง
	Original wt.	คือ	น้ำหนักเดิมของตัวอย่าง
	Formular wt.	คือ	น้ำหนักโมเลกุลของยาง





## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

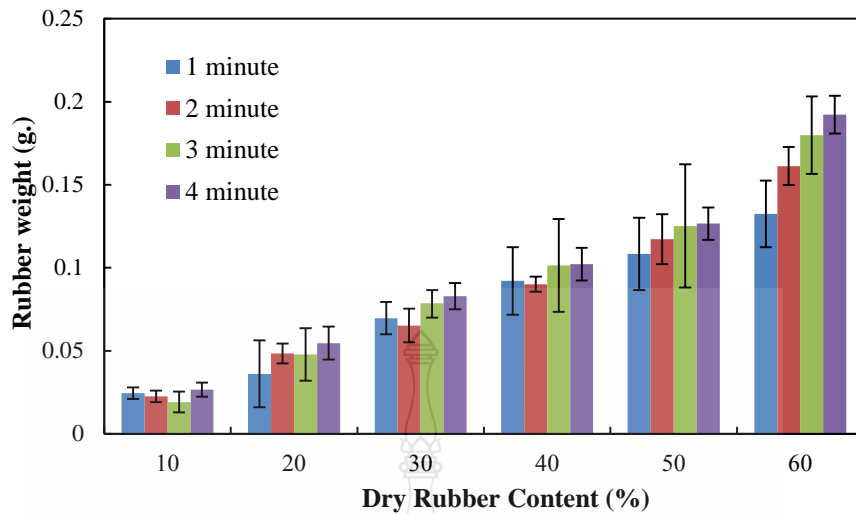
งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของการปรับปรุงของเส้นใยปอกระเจาโดยใช้วิธีการปรับปรุงทางเคมีและการปรับปรุงทางกายภาพ โดยการปรับปรุงทางเคมีคือการปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์และการปรับปรุงทางกายภาพคือการปรับปรุงผิวด้วยน้ำยางธรรมชาติและศึกษาเส้นใยที่ปรับปรุงแล้วต่อสมบัติทางกลและสมบัติทางสัณฐานวิทยาของคอมโพสิตระหว่างเส้นใยปอกระเจาและยางธรรมชาติ และผลของปริมาณของเส้นใยปอกระเจาที่ปริมาณ 10, 20, 30 และ 40 ส่วนในหนึ่งร้อยส่วนของยางธรรมชาติ

#### 4.1 ผลของเวลาที่มีต่อความหนาของยางธรรมชาติบนผิวเส้นใย

การยึดเกาะกันระหว่างเส้นใยกับเนื้อยางแห้งนั้นเป็นการยึดเกาะกันด้วยแรงทางกายภาพคือน้ำยางแทรกตัวเข้าไปในมัดของเส้นใยและเมื่ออบแห้งเนื้อยางแห้งในน้ำยางก็เคลือบผิวของเส้นใยและจะทำหน้าที่เป็นตัวกลางระหว่างเส้นใยกับยางที่เป็นแมทริกซ์

การศึกษาเกี่ยวกับเวลาในการปรับปรุงผิวเพื่อใช้เป็นปัจจัยในการควบคุมความหนาของเนื้อยางแห้งที่เคลือบบนผิวของเส้นใยให้คงที่รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ของเวลาที่มีผลต่อความแตกต่างของน้ำหนักเส้นใยหลังจากปรับปรุงผิวด้วยน้ำยางธรรมชาติ (Rubber weight) คิดเฉพาะเนื้อยางที่เคลือบลงบนเส้นใยเท่านั้น จากการศึกษาพบว่าเวลาในการจุ่มเส้นใยลงในน้ำยางธรรมชาติที่มีปริมาณเนื้อยางแห้งต่างๆ กัน คือ 10-50% ส่งผลที่แตกต่างกัน คือ ที่ปริมาณเนื้อยางแห้งต่ำคือ 10% ระยะเวลาในการจุ่มเส้นใยไม่มีผลต่อการเกาะติดของเนื้อยางบนเส้นใยมากนัก ในขณะที่ปริมาณเนื้อยางแห้งตั้งแต่ 20-40% จะพบว่าการเกาะติดของเนื้อยางบนเส้นใยมีแนวโน้มสูงขึ้นตามเวลาในการจุ่มและจะอิ่มตัวที่เวลา 4 นาที ไม่พบการเปลี่ยนน้ำหนักของเนื้อยาง แต่ในกรณีที่มีปริมาณเนื้อยางแห้งสูงคือ 60% แนวโน้มในการเกาะติดของน้ำยางเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการจุ่มนานขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นผลจากการที่ปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางมีเปอร์เซ็นต์สูงน้ำยางจึงมีความหนืดเพิ่มสูงขึ้นทำให้ที่น้ำยางแทรกตัวเข้าไปในเส้นใยได้ยากขึ้นจึงต้องใช้เวลาในการแทรกตัวเพิ่มขึ้น

ดังนั้นในการควบคุมความหนาของการเกาะติดเนื้อยางบนเส้นใย จะทำการจุ่มที่เวลาเท่าๆ กัน



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ของเวลาที่มีผลต่อความแตกต่างของน้ำหนักเส้นใยหลังจากปรับปรุงผิวด้วยน้ำยางธรรมชาติ

#### 4.2 ความคงทนของเส้นใย (Durability)

ตารางที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของน้ำยางธรรมชาติที่มีผลต่อค่าการดูดความชื้นของเส้นใยก่อนและหลังจากปรับปรุงผิว จากการทดลองพบว่าการปรับปรุงด้วยน้ำยางธรรมชาติส่งผลให้ความคงทนต่อการดูดความชื้นเพิ่มขึ้น 6 เท่า คือ ค่าความชื้นของเส้นใยก่อนปรับปรุงผิวมีค่าร้อยละ 9.16 หลังจากปรับปรุงผิวด้วยน้ำยางธรรมชาติมีค่าเป็นร้อยละ 1.55 เมื่อปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางเพิ่มขึ้นเป็น 60% DRC การที่เส้นใยดูดความชื้นได้น้อยลงเมื่อปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางเพิ่มสูงขึ้นนั้นส่งผลให้เส้นใยสามารถทนต่อความชื้นได้สูงขึ้นนั่นเองและการปรับปรุงผิวเส้นใยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ตามด้วยน้ำยางธรรมชาติ ทำให้เส้นใยมีความคงทนต่อการดูดความชื้นเพิ่มขึ้น 5 เท่า จากเดิมค่าความชื้นของเส้นใยมีค่าร้อยละ 11.07 หลังจากปรับปรุงผิวด้วยน้ำยางธรรมชาติมีค่าเป็นร้อยละ 2.40 ที่ปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางเพิ่มขึ้นเป็น 60% DRC เท่ากัน โดยที่การปรับปรุงผิวเส้นใยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Treated 5%NaOH) มีปริมาณความชื้นที่สูงกว่าเส้นใยที่ปรับปรุงผิวด้วยน้ำยาง (Treated HANR) เป็นผลมาจากการปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นการทำความสะอาดผิวของเส้นใยปอกระเจาทำให้เกิดช่องว่างบนผิวของเส้นใยปอกระเจาส่งผลให้เส้นใยปอกระเจาสามารถดูดความชื้นได้มากขึ้น

ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของน้ำยางธรรมชาติที่มีผลต่อความแตกต่างของการดูดความชื้นและการดูดซึมน้ำของเส้นใยหลังจากปรับปรุงผิวด้วยน้ำยางธรรมชาติ

ตัวอย่าง	ความชื้น (ร้อยละ)	% การดูดซึมน้ำ
Untreated	9.16 ±0.360	62.18±1.825
Treated HANR10%DRC	4.79±0.944	59.66±0.600
Treated HANR20%DRC	4.47±0.162	50.65±0.855
Treated HANR30%DRC	3.62±0.125	37.81±1.352
Treated HANR40%DRC	2.60±0.341	37.14±0.780
Treated HANR50%DRC	1.92±0.120	33.76±1.684
Treated HANR60%DRC	1.55±0.039	31.57±1.452
Treated 5%NaOH	11.07±0.095	59.56±0.945
Treated 5%NaOH+HANR10%DRC	6.93±0.288	56.66±0.915
Treated 5%NaOH+HANR20%DRC	5.58±0.108	38.78±1.272
Treated 5%NaOH+HANR30%DRC	4.12±0.028	36.46±1.011
Treated 5%NaOH+HANR40%DRC	3.09±0.093	31.54±1.055
Treated 5%NaOH+HANR50%DRC	2.31±0.077	24.48±1.352
Treated 5%NaOH+HANR60%DRC	2.40±0.255	19.41±1.817

จากตารางที่ 4.1 พบว่าการปรับปรุงผิวของเส้นใยทั้งสองวิธีส่งผลต่อค่าการดูดซึมน้ำของเส้นใยเช่นกัน โดยผลของการปรับปรุงผิวด้วยน้ำยางธรรมชาติมีค่าความคงทนต่อการดูดซึมน้ำของเส้นใยลดลงจากเดิมเพียง 2 เท่า คือ ก่อนปรับปรุงมีค่าการดูดซึมน้ำที่ 62.19 % และหลังจากปรับปรุงผิวด้วยน้ำยางที่ 60% DRC มีค่าการดูดซึมน้ำที่ 31.75 % ในขณะที่ผลการปรับปรุงผิวเส้นใยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์พบว่าเส้นใยมีความคงทนต่อการดูดซึมน้ำสูงขึ้นเป็น 3 เท่า ก่อนปรับปรุงมีค่าการดูดซึมน้ำที่ 59.54 % และหลังจากปรับปรุงผิวด้วยน้ำยางที่ 60%DRC มีค่าการดูดซึมน้ำที่ 19.43%

สรุปได้ว่าการปรับปรุงของเส้นใยธรรมชาติส่งผลให้เส้นใยมีความคงทนทางความชื้นและการดูดซึมน้ำดีขึ้นกว่าเดิมมาก มีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้เป็นวัสดุเสริมแรงในวัสดุคอมโพสิต

### 4.3 สมบัติทางกลของเส้นใย

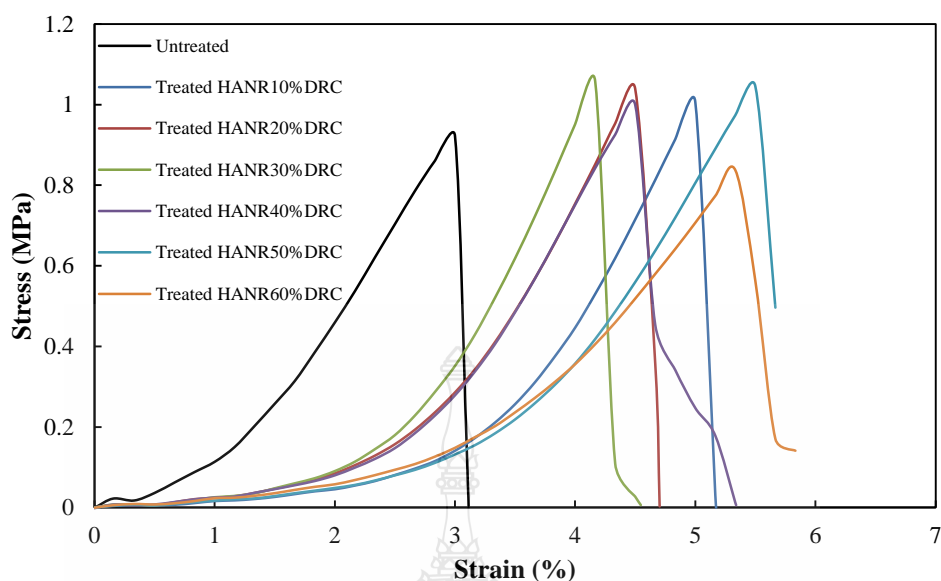
การศึกษาการปรับปรุงผิวเส้นใยปอกระเจาพบว่าหลังจากการปรับปรุงผิวเส้นใยปอกระเจามีลักษณะทางกายภาพที่เปลี่ยนไป เช่น ผิวของเส้นใยปอกระเจา ค่าความเหนียว (Tenacity) ค่าการยืดตัว เป็นต้น โดยจากการศึกษาที่ผ่านมาของ Lifang Liu [14] และคณะได้ทำการศึกษาในเรื่องของการปรับปรุงผิวของปอกระเจาด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์พบว่าหลังการปรับปรุงผิวแล้วเส้นใยปอกระเจามีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กลงและยังเป็นการทำความสะอาดผิวของเส้นใยโดยดูจากค่าปริมาณของเฮมิเซลลูโลสและลิกนินลดลง

การศึกษาสมบัติเชิงกลของเส้นใยเป็นการศึกษาถึงผลที่เกิดขึ้นก่อนและหลังปรับปรุงผิวของเส้นใยด้วยวิธีการปรับปรุงผิวทางเคมีโดยการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อทำความสะอาดผิวและกำจัดลิกนินบนผิวของเส้นใย และการปรับปรุงผิวทางกายภาพโดยการใช้น้ำยางธรรมชาติด้วยสมมติฐานที่ว่าเส้นใยเป็นเส้นใยธรรมชาติซึ่งมีสูตรทางเคมีคือ  $C_6H_{10}O_5$  ที่มีความเป็นขี้ว โดยเมื่อผสมลงในยางซึ่งมีสูตรทางเคมีคือ  $C_5H_8$  ที่ไม่มีความเป็นขี้วนั้นสามารถเข้ากันได้ยาก จึงมีแนวคิดที่จะใช้น้ำยางที่ไม่มีความเป็นขี้วเหมือนกันเคลือบผิวของเส้นใยปอกระเจา เพื่อเป็นตัวกลางและช่วยเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยและยางและจะส่งผลให้คอมโพสิตมีสมบัติที่ดีขึ้น

#### 4.3.1 ผลของการดัดแปรทางกายภาพของเส้นใยปอกระเจา

จากรูปที่ 4.2 ผลจากการปรับปรุงผิวด้วยน้ำยางพบว่าเมื่อปริมาณยางแห้งในน้ำยางเพิ่มสูงขึ้น ทำให้เส้นใยเปลี่ยนสถานะจากเดิมมีลักษณะแข็ง (Hard) และแข็งแรง (Strong) แต่เมื่อได้รับการปรับปรุงผิวจากน้ำยางธรรมชาติทำให้เส้นใยมีลักษณะนุ่ม (Soft) ลงแต่สามารถยืดได้เพิ่มมากขึ้น ค่าที่ได้จากรูปที่ 4.2 สามารถนำไปคำนวณเพื่อหาค่า การทนแรงดึง ค่าระยะยืด และค่ามอดูลัสได้ โดยค่าดังกล่าวถูกแสดงในตารางที่ 4.2

ค่าการทนแรงดึงของเส้นใยปรับปรุงผิวด้วยน้ำยางจากตารางที่ 4.2 มีค่าที่ใกล้เคียงกัน โดยเพิ่มสูงขึ้นเพียงเล็กน้อย ส่วนค่าระยะยืดมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่ค่ามอดูลัสของเส้นใยมีค่าที่ใกล้เคียงกันกับเส้นใยที่ไม่ได้รับการปรับปรุงผิว ในช่วงที่ปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยาง 10-40% และลดลงตามลำดับที่ปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยาง 50-60% ส่วนค่าความเหนียวของเส้นใยมีค่าลดลงเมื่อปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางเพิ่มมากขึ้น



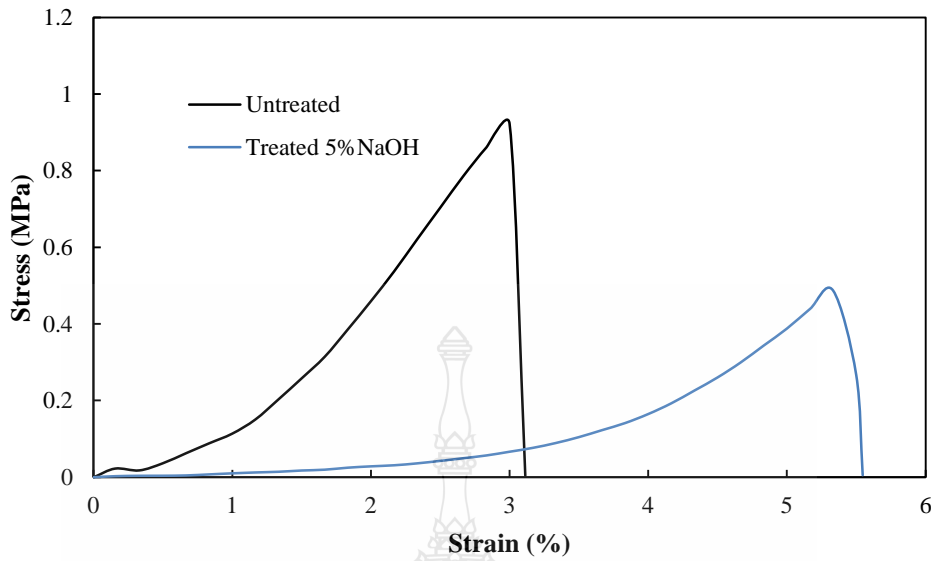
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้น-ความเครียดของเส้นใยปรับปรุงผิวด้วยน้ำยาง

ตารางที่ 4.2 ค่าสมบัติเชิงกลของเส้นใยปอกระเจาปรับปรุงผิวด้วยน้ำยางธรรมชาติ

Sample	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Modulus (MPa)	Tenacity (gf/den)
Untreated	8.699±0.075	3.433±0.383	25.70±4.430	2.047±0.176
Treated HANR10%DRC	0.9374±0.076	5.566±0.252	20.53±1.361	1.641±0.148
Treated HANR20%DRC	1.002±0.099	4.53±0.273	22.2±0.029	1.337±0.132
Treated HANR30%DRC	0.918±0.125	4.06±0.305	22.63±3.072	1.119±0.093
Treated HANR40%DRC	1.079±0.086	4.566±0.450	23.86±3.457	0.981±0.078
Treated HANR50%DRC	1.004±0.062	7.558±1.543	13.651±2.385	0.566±0.035
Treated HANR60%DRC	0.838±0.082	9.468±0.918	8.926±1.252	0.355±0.018

#### 4.3.2 ผลของการตัดแปรทางเคมีของเส้นใยปอกระเจา

จากรูปที่ 4.3 พบว่าเมื่อเส้นใยปอกระเจาได้ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ทำให้เส้นใยปอกระเจามีลักษณะนุ่มและยืดมากขึ้นโดยค่าที่ได้จากรูปที่ 4.3 สามารถนำไปคำนวณเพื่อหาค่าการทนแรงดึง ค่าระยะยืด และค่ามอดูลัสได้โดยค่าดังกล่าวถูกแสดงในตารางที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้น-ความเครียดของเส้นใยปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

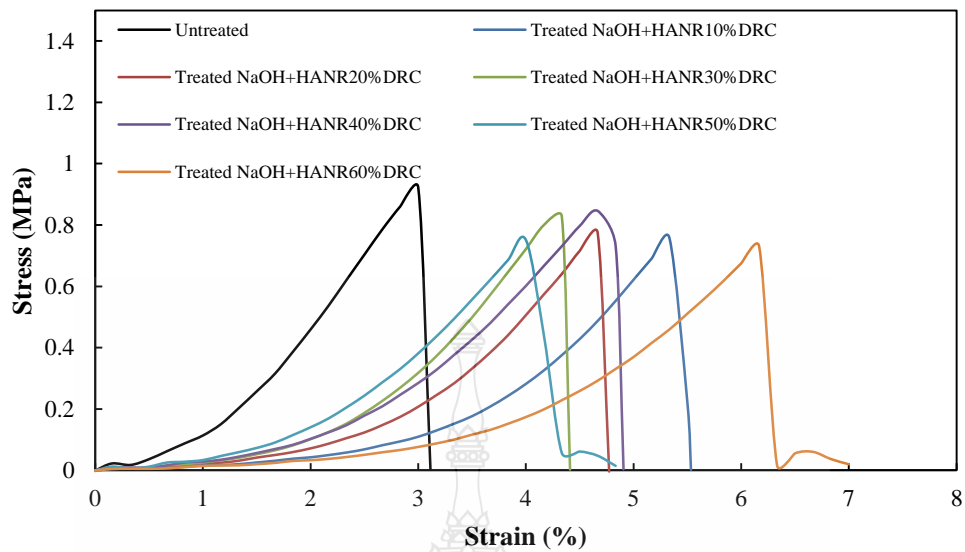
จากตารางที่ 4.3 พบว่าเส้นใยหลังจากปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์มีค่าการทนแรงดึง ค่ามอดูลัสและค่าความเหนียวลดลงจากเดิมประมาณ 2 เท่า และค่ามอดูลัสลดลงจากเดิม 24.4 MPa เหลือเพียง 8.5 MPa ในขณะที่ค่าระยะยืด ณ จุดขาดเพิ่มสูงขึ้นถึง 1.5 เท่า

ตารางที่ 4.3 ค่าสมบัติเชิงกลของเส้นใยปอกระเจาปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

Sample	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Modulus (MPa)	Tenacity (gf/den)
Untreated	8.699±0.075	3.433±0.383	25.70±4.430	2.047±0.176
Treated 5%NaOH	0.407±0.118	5.532±0.739	7.251±1.547	1.024±0.096

#### 4.3.3 ผลของการตัดแปรทางกายภาพพร้อมกับการตัดแปรทางเคมีของเส้นใยปอกระเจา

จากรูปที่ 4.4 พบว่าหลังจากทำการปรับผิวเส้นใยปอกระเจาด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับน้ำยาล้างธรรมชาติแล้วพบว่าเส้นใยมีลักษณะที่เปลี่ยนไปเป็นเส้นใยที่มีความนุ่มและมีการยืดตัวได้มากขึ้น โดยค่าที่ได้จากรูปที่ 4.4 สามารถนำไปคำนวณเพื่อหาค่าการทนแรงดึง ค่าระยะยืด และค่ามอดูลัสได้โดยค่าดังกล่าวถูกแสดงในตารางที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้น-ความเครียดของเส้นใยปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับน้ำยาง

ตารางที่ 4.4 ค่าสมบัติเชิงกลของเส้นใยปอกระเจาปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับน้ำยาง

Sample	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Modulus (MPa)	Tenacity (gf/den)
Untreated	8.699±0.075	3.433±0.383	25.70±4.430	2.047±0.176
Treated 5%NaOH+HANR10%DRC	0.672±0.072	6.372±2.239	11.460±3.378	1.242±0.094
Treated 5%NaOH+HANR20%DRC	0.725±0.179	4.565±0.365	15.735±2.589	0.987±0.217
Treated 5%NaOH+HANR30%DRC	0.776±0.139	4.366±0.298	17.768±2.739	0.780±0.118
Treated 5%NaOH+HANR40%DRC	0.766±0.120	4.433±0.693	17.387±2.333	0.686±0.074
Treated 5%NaOH+HANR50%DRC	0.801±0.122	11.530±0.453	6.972±1.207	0.451±0.057
Treated 5%NaOH+HANR60%DRC	0.735±0.036	13.927±0.099	5.277±0.271	0.303±0.021

จากตารางที่ 4.4 พบว่าเส้นใยปอกระเจามีลักษณะที่เป็นข้อดีของการปรับปรุงผิวด้วยน้ำยางธรรมชาติที่หลังปรับปรุงผิวแล้วยังคงค่าการทนแรงดึงที่สูงไว้ได้และมีค่าระยะยืดที่สูงขึ้น ซึ่งค่าการทนแรงดึงที่ลดลงเมื่อเทียบกับการปรับปรุงผิวด้วยน้ำยางธรรมชาติ เป็นผลมาจากการปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หลังจากการปรับปรุงผิวแล้วทำให้เส้นใยปอกระเจามีค่าการทนแรงดึงที่

ลดลง ดังนั้นเมื่อปรับปรุงผิวเส้นใยปอกระเจาด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับน้ำยางธรรมชาติก็ส่งผลให้เส้นใยปอกระเจามีค่าการทนแรงดึงที่ไม่สูงมากนัก แต่มีค่าระยะยืดที่ดีที่สุดอยู่ที่ Treated 5%NaOH+HANR 60%DRC ซึ่งมีค่าระยะยืดเท่ากับ 13.41% โดยเส้นใยปอกระเจาเดิมมีค่าระยะยืดเพียง 3.77%

สาเหตุที่ทำให้สมบัติของเส้นใยปอกระเจาเปลี่ยนแปลงไปในเรื่องของค่าการทนแรงดึงและค่าระยะยืดก็คือ การที่เส้นใยได้ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยน้ำยางทำให้ภายในมัดของเส้นใยได้มีน้ำยางแทรกอยู่ภายในความเหนียวของน้ำยางได้ทำหน้าที่เสริมแรงให้กับเส้นใย อีกทั้งปัจจัยจากการปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นการทำความสะอาดผิวของเส้นใยทำให้เส้นใยสามารถมีค่าระยะยืดที่เพิ่มสูงขึ้น

จากผลของการปรับปรุงผิวทั้ง 3 วิธีพบว่า การปรับปรุงด้วยน้ำยางธรรมชาติเพียงอย่างเดียวจะให้ผลสมบัติทางกลและค่าความเหนียวที่ดีที่สุด

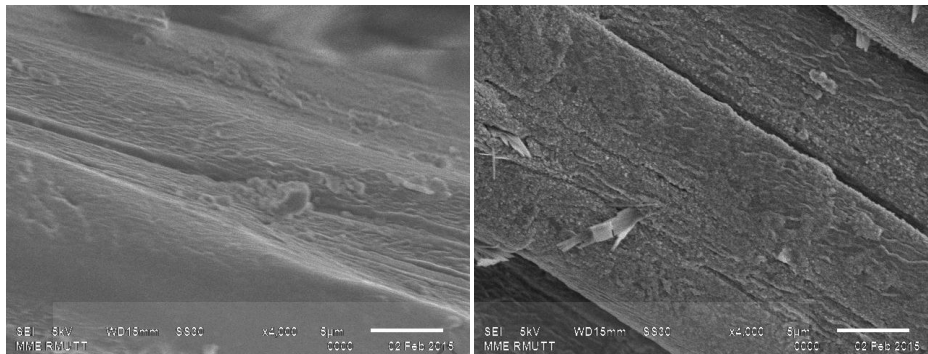
#### 4.4 ลักษณะวิทยาของเส้นใยปอกระเจา

การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาเป็นการศึกษาคุณลักษณะผิวของชิ้นงานตัวอย่างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยต้องการคุณลักษณะผิวที่เปลี่ยนแปลงไปหลังจากปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์และปรับปรุงผิวด้วยน้ำยาง อีกทั้งยังศึกษาความหนาของน้ำยางที่เคลือบผิวของเส้นใยปอกระเจา

จากการศึกษาผิวของเส้นใยปอกระเจาในรูปที่ 4.5 (ก) ผิวของเส้นใยปอกระเจาที่ไม่ได้รับการปรับปรุงผิวนั้นมีพื้นผิวที่เรียบกว่าเส้นใยที่ได้รับการปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ในรูปที่ 4.5 (ข) ซึ่งเป็นผลมาจากการปรับปรุงผิวของเส้นใยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นการทำความสะอาดผิวและสิ่งสกปรกต่างๆที่เกาะอยู่บนผิวของเส้นใย

การศึกษาลักษณะของเส้นใยหลังการปรับปรุงผิวพบว่ารูปที่ 4.6 (ก) และ (ข) ไม่มีความแตกต่างกันมากนักแต่เมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 4.6 (ค) เห็นว่าจะมีลักษณะของเนื้อเยื่อเคลือบอยู่บนผิวของเส้นใยเนื่องจากเมื่อจุ่มเส้นใยลงในน้ำยางทำให้เส้นใยเกิดการดูดน้ำยางเข้ามาในมัดของเส้นใยและเมื่ออบแห้งทำให้มีเนื้อเยื่อแห้งติดอยู่บนผิวของเส้นใยรูปที่ 4.7 และ 4.8 แสดงถึงการที่เมื่อปริมาณเนื้อเยื่อแห้งในน้ำยางเพิ่มสูงขึ้นทำให้มีปริมาณของเยื่อแห้งเกาะบนผิวและภายในมัดของเส้นใยเพิ่มสูงขึ้น

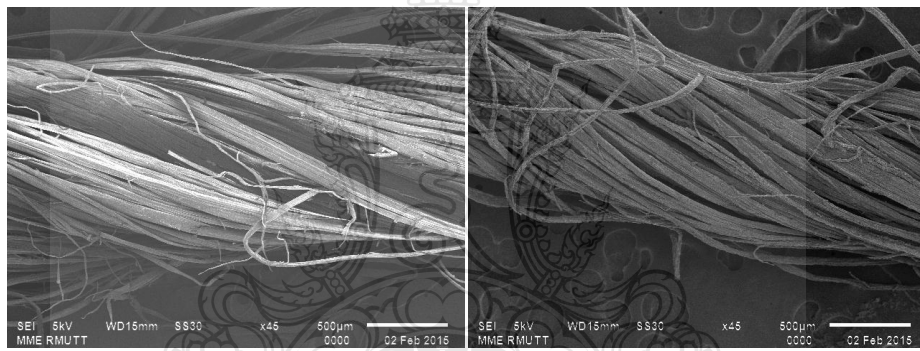




(ก)

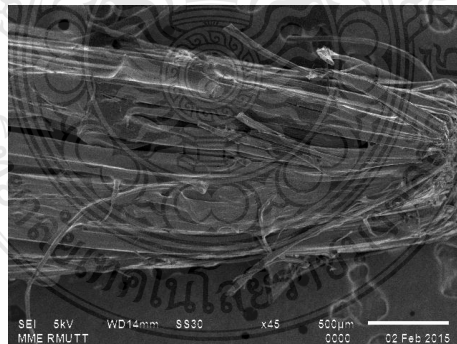
(ข)

รูปที่ 4.5 ลักษณะผิวของเส้นใยปอกระเจาที่กำลังขยาย 4000 เท่า(ก)ไม่ได้รับการปรับปรุงผิว(ข)ปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์



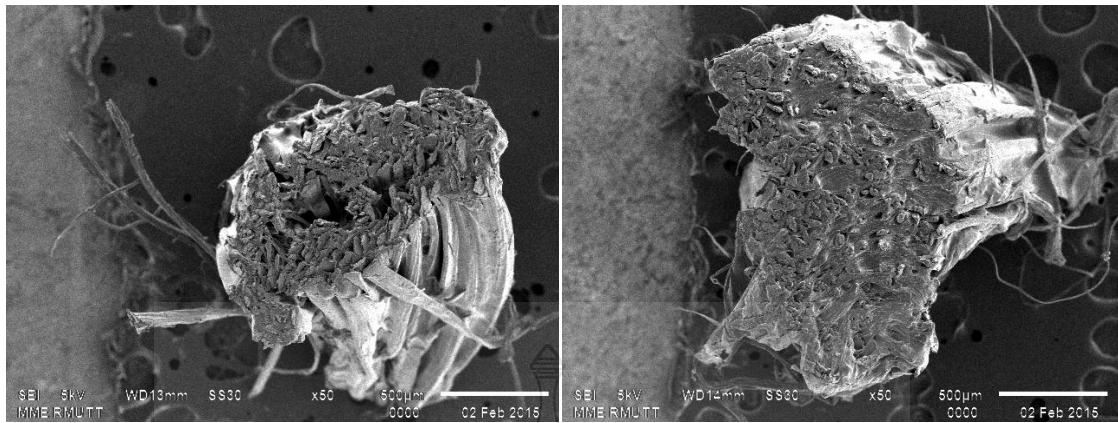
(ก)

(ข)



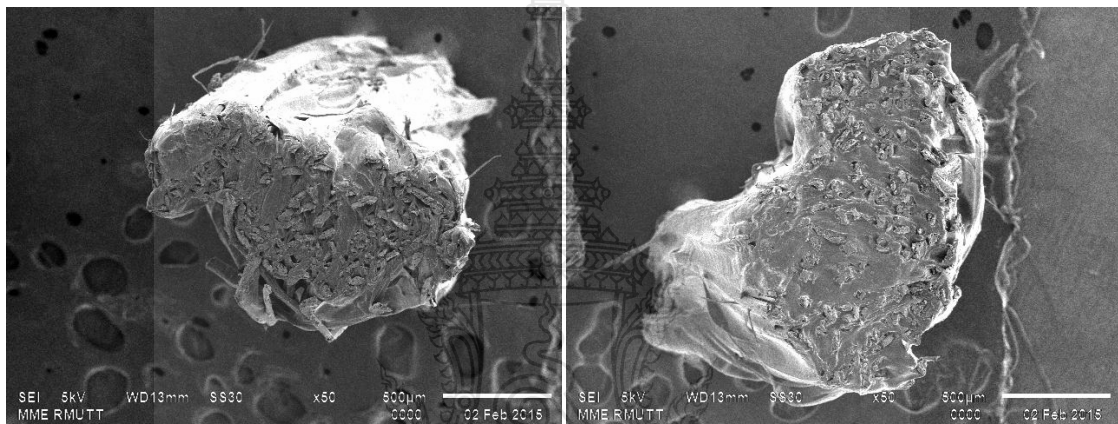
(ค)

รูปที่ 4.6 ลักษณะของเส้นใยปอกระเจาที่กำลังขยาย 45 เท่า (ก) ไม่ได้รับการปรับปรุงผิว (ข) ปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และ (ค) เส้นใยปอกระเจาที่ปรับปรุงผิวด้วยน้ำยางธรรมชาติ



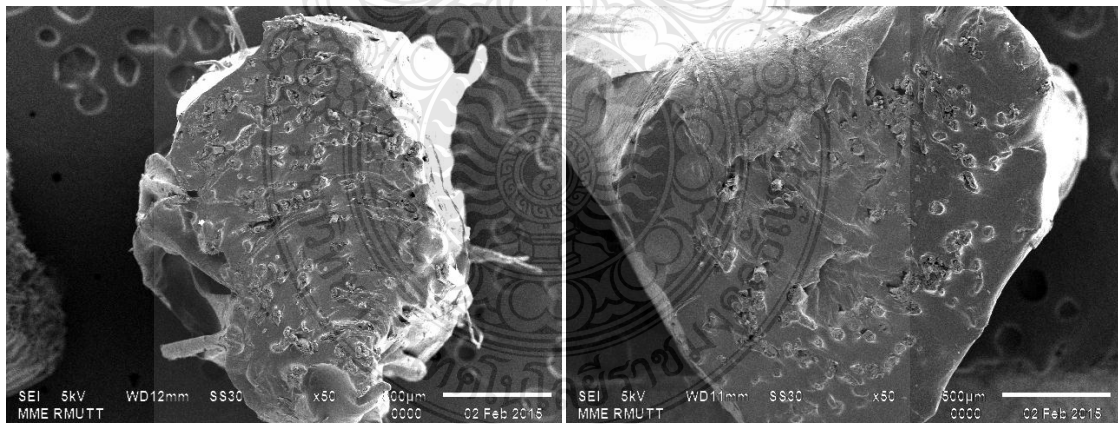
(ก)

(ข)



(ค)

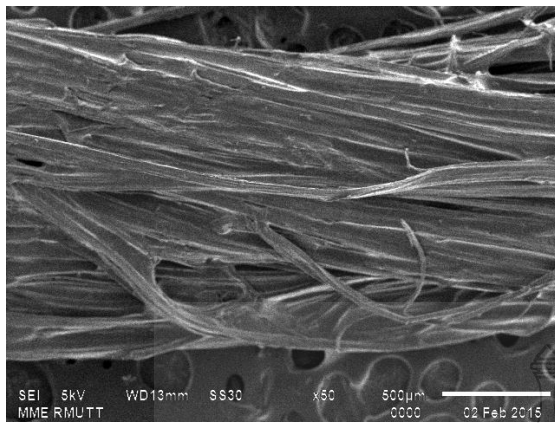
(ง)



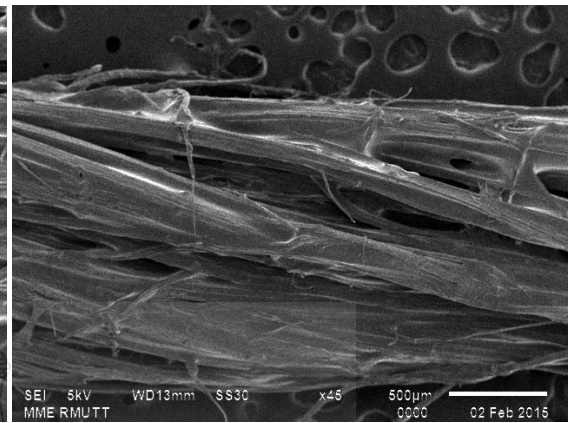
(จ)

(ฉ)

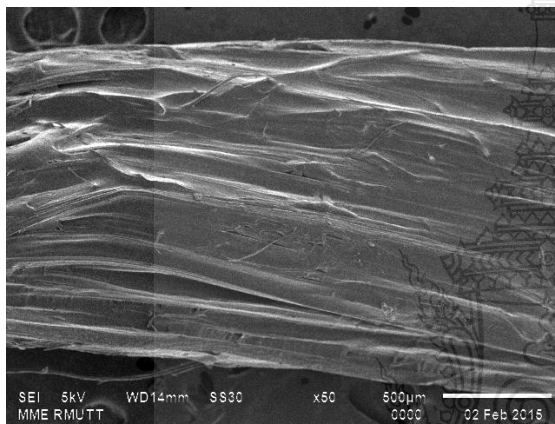
รูปที่ 4.7 ลักษณะพื้นที่หน้าตัดของเส้นใยพอลิเอทิลีนที่ปรับผิวด้วยน้ำยางธรรมชาติที่ปริมาณยางแห้ง (ก) 10 เปอร์เซ็นต์ (ข) 20 เปอร์เซ็นต์ (ค) 30 เปอร์เซ็นต์ (ง) 40 เปอร์เซ็นต์ (จ) 50 เปอร์เซ็นต์ และ (ฉ) 60 เปอร์เซ็นต์



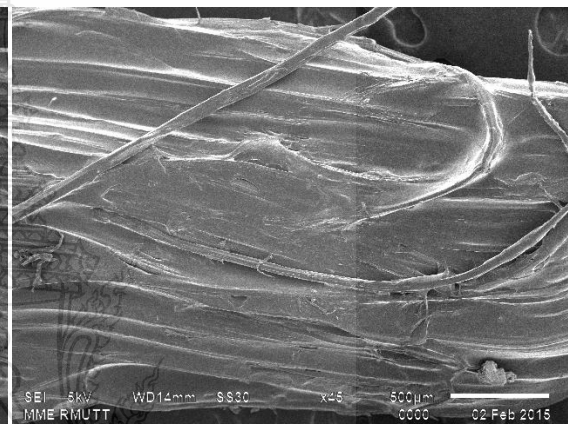
(ก)



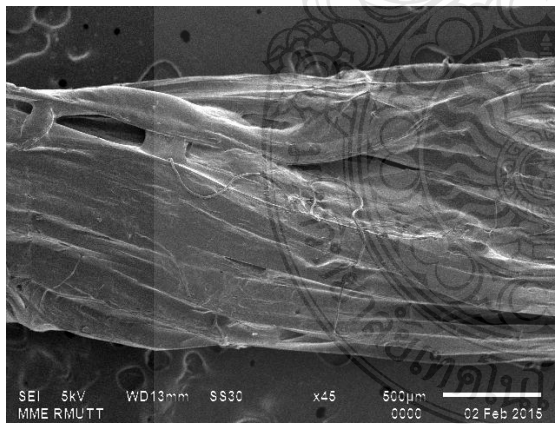
(ข)



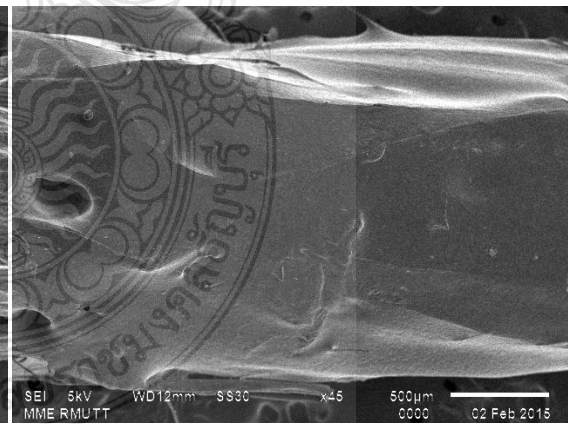
(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

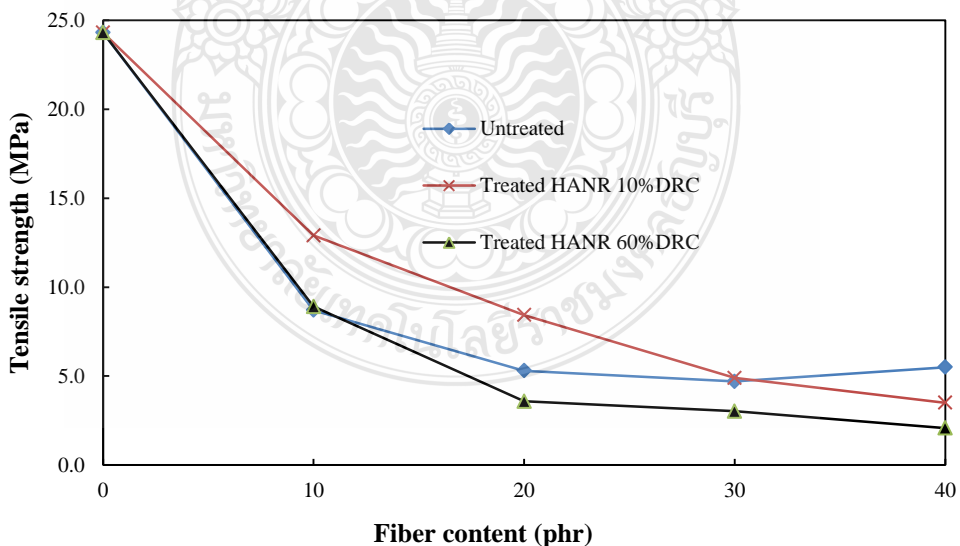
รูปที่ 4.8 ลักษณะผิวของเส้นใยปอกระเจาปรับปรุงผิวด้วยน้ำยางธรรมชาติที่ปริมาณยางแห้ง (ก) 10 เปอร์เซ็นต์ (ข) 20 เปอร์เซ็นต์ (ค) 30 เปอร์เซ็นต์ (ง) 40 เปอร์เซ็นต์ (จ) 50 เปอร์เซ็นต์ และ (ฉ) 60 เปอร์เซ็นต์

#### 4.5 สมบัติทางกลของยางคอมโพสิต

##### 4.5.1 ผลของปริมาณยางแห้ง (%DRC) ที่มีต่อค่าการทนแรงดึงของยางคอมโพสิต

การทดสอบความเค้น-ความเครียด เป็นวิธีการทดสอบที่ง่ายและนิยมใช้กันมาก เพราะผลที่ได้สามารถบอกลักษณะสมบัติเชิงกลพื้นฐานของวัสดุ ได้แก่ ค่าความทนต่อแรงดึงค่าระยะยืด ณ จุดขาด และค่ามอดูลัส ซึ่งการทดลองนี้เกิดจากสมมติฐานที่ว่าเมื่อทำการปรับปรุงผิวของเส้นใยด้วยน้ำยางธรรมชาติผิวของเส้นใยจะถูกเคลือบด้วยน้ำยางธรรมชาติซึ่งส่งผลให้ช่องว่างระหว่างเส้นใยธรรมชาติกับเมทริกซ์ลดน้อยลงและช่วยเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยปอกระเจากับยางธรรมชาติ ส่งผลให้สมบัติเชิงกลของคอมโพสิตดี

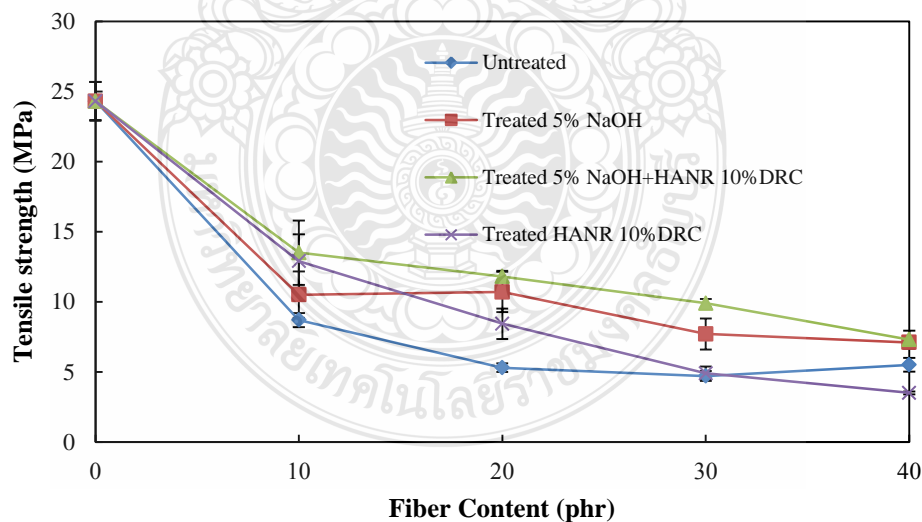
จากรูปที่ 4.9 พบว่าค่าการทนแรงดึงของยางมีค่าสูงกว่าคอมโพสิตในทุกอัตราส่วนของปริมาณเส้นใยที่ใช้เป็นวัสดุเสริมแรง เพราะว่าการดึงยึดสามารถเหนี่ยวนำให้ยางเกิดผลึกแต่เมื่อเติมเส้นใยลงไปการเกิดผลึกขณะดึงยึดของยางได้ถูกรบกวนโดยเส้นใย ดังนั้นประสิทธิภาพในการเกิดผลึกของการดึงยึดจึงลดลงเป็นเหตุให้ค่าการทนแรงดึงของคอมโพสิตต่ำกว่าของยาง นอกจากนี้พบว่าค่าการทนต่อแรงดึงของคอมโพสิตมีค่าลดลงเมื่อปริมาณของเส้นใยเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มสูงขึ้นทำให้เกิดการเกาะกลุ่มกันของเส้นใยทำให้การถ่ายเทความเค้นเกิดได้ยากขึ้นและยังเป็นการรบกวนความสม่ำเสมอของเฟสเมทริกซ์อีกด้วยส่งผลให้ค่าความทนทานต่อแรงดึงของคอมโพสิตมีค่าลดลง



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการทนแรงดึงต่อปริมาณเส้นใยปอกระเจา

การตัดแปรทางกายภาพเป็นการปรับปรุงผิวด้วยน้ำยาง จากการศึกษพบว่าในรูปที่ 4.9 ค่าการทนแรงดึงของคอมโพสิตมีค่าลดลงเมื่อปริมาณของเส้นใยเพิ่มสูงขึ้นแต่เมื่อเปรียบเทียบค่าการทนแรงดึงของคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยพบว่าคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยปอกระเจาปรับปรุงผิวด้วยน้ำยางธรรมชาติที่มีปริมาณยางแห้ง 10 เปอร์เซ็นต์ (Treated HANR10%DRC) แสดงค่าการทนแรงดึงที่สูงกว่าคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยไม่ได้รับการปรับปรุงผิว (Untreated) และคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยที่ได้รับการปรับปรุงผิวด้วยน้ำยางที่มีปริมาณยางแห้ง 60 เปอร์เซ็นต์ (Treated HANR 60%DRC) สาเหตุที่ทำให้คอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยที่ได้รับการปรับปรุงผิวด้วยน้ำยางที่มีปริมาณยางแห้ง 60 เปอร์เซ็นต์มีค่าการทนแรงดึงต่ำคือการทำที่เส้นใยปรับปรุงผิวด้วยน้ำยางที่มีเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งสูงทำให้มีชั้นของเนื้อยางเคลือบผิวเส้นใยหนาทำให้เส้นใยไม่สามารถแตกตัวและกระจายในเนื้อของเมทริกซ์ยางธรรมชาติได้ อีกทั้งเส้นใยยังจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อน ซึ่งเมื่อใช้น้ำยางธรรมชาติที่มีเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งน้อยลงทำให้เส้นใยมีการกระจายตัวได้มากขึ้นและเกิดการรวมตัวเป็นกลุ่มก้อนน้อยลงส่งผลให้คอมโพสิตมีค่าการทนแรงดึงสูงขึ้น งานวิจัยนี้จึงได้เลือกน้ำยางที่มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 10% เพื่อทำการศึกษาสมบัติของยางคอมโพสิต

#### 4.5.2 ผลของปริมาณเส้นใยที่มีต่อค่าการทนแรงดึงของยางคอมโพสิต

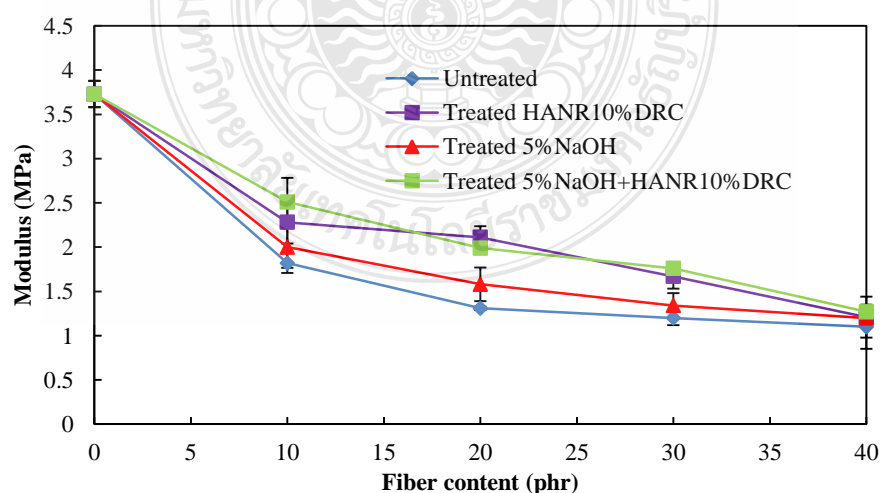


รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการทนแรงดึงต่อปริมาณเส้นใยก่อนและหลังปรับปรุงผิว

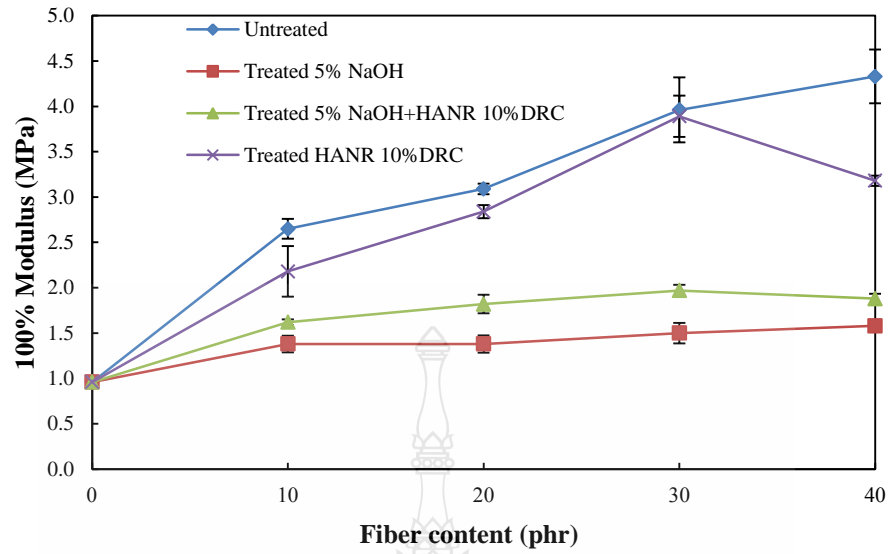
จากรูปที่ 4.10 ค่าการทนแรงดึงของคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับน้ำยาง(Treated 5%NaOH+HANR10%DRC) แสดงค่าการทนแรงดึงที่ดีที่สุด ในทุกอัตราส่วนเมื่อเทียบกับคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยไม่ปรับปรุงผิว ส่วนคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยปรับปรุงผิวด้วยน้ำยางและคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์(Treated 5%NaOH) มีค่าการทนแรงดึงที่ใกล้เคียงกันซึ่งสูงกว่าคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยไม่ปรับปรุงผิว แต่ยังคงต่ำกว่าคอมโพสิตเสริมแรงด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับน้ำยางธรรมชาติ เป็นผลมาจากการปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นการทำความสะอาดผิวของเส้นใย ทำให้เส้นใยสามารถเสริมแรงให้กับคอมโพสิตได้ดีขึ้น ส่วนการปรับปรุงผิวด้วยน้ำยางธรรมชาติเป็นการเคลือบน้ำยางบนผิวของเส้นใย เพื่อให้ น้ำยางที่เคลือบอยู่นั้นทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมประสานระหว่างเส้นใยกับยาง ดังนั้นการปรับปรุงผิวของเส้นใยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับน้ำยางเป็นการรวมเอาข้อดีของการปรับปรุงผิวเส้นใยทั้งสองแบบมารวมกันส่งผลให้คอมโพสิตมีค่าการทนแรงดึงที่สูงขึ้น

#### 4.5.3 ผลของปริมาณเส้นใยที่มีต่อค่ามอดูลัสของคอมโพสิต

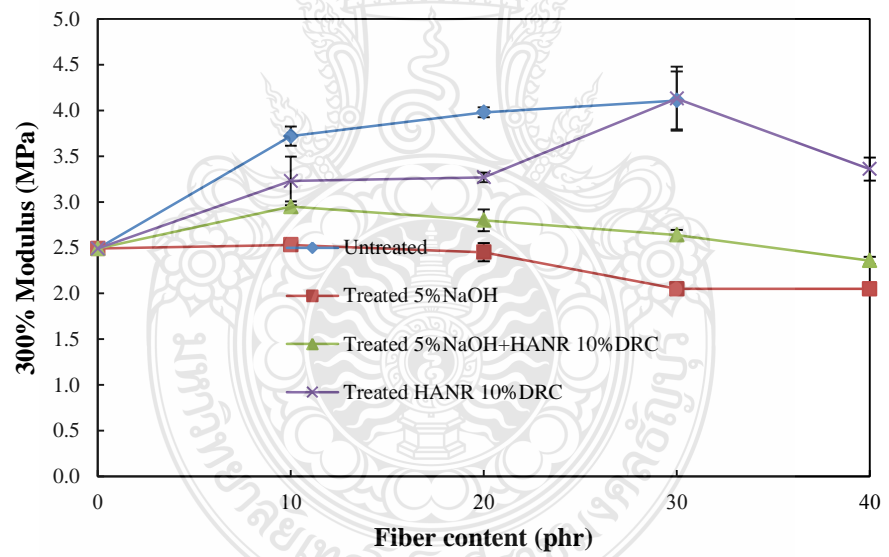
จากรูปที่ 4.11 ค่ามอดูลัสของคอมโพสิตมีแนวโน้มลดลงต่ำลงเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น โดยคอมโพสิตที่แสดงค่ามอดูลัสได้ดีที่สุดคือ คอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยปรับปรุงผิวด้วยน้ำยางและคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับน้ำยาง เนื่องจากเส้นใยที่ใช้เสริมแรงให้กับคอมโพสิตมีเนื้อยางแห้งเคลือบอยู่ส่งผลให้คอมโพสิตมีค่ามอดูลัสที่ดีขึ้น



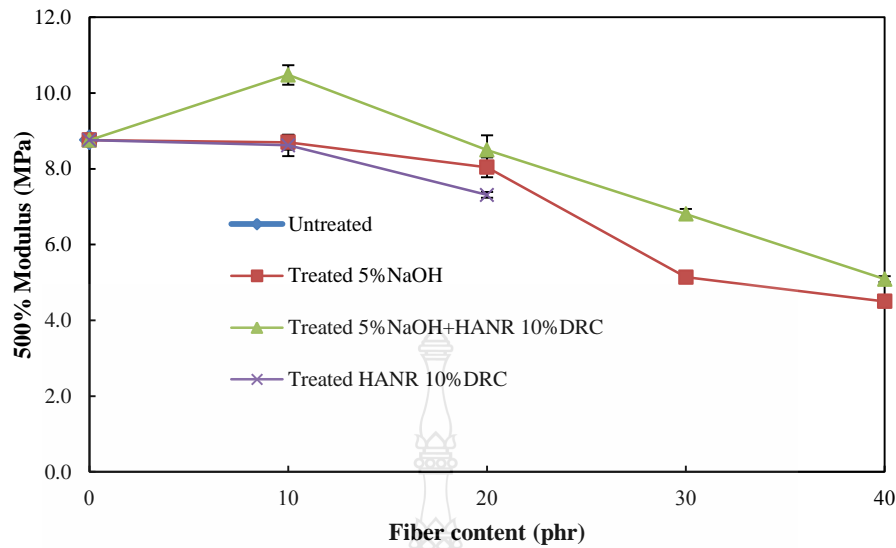
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดูลัสต่อปริมาณเส้นใยก่อนและหลังปรับปรุงผิว



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า 100% มอดูลัสต่อปริมาณเส้นใยก่อนและหลังปรับปรุงผิว



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า 300% มอดูลัสต่อปริมาณเส้นใยก่อนและหลังปรับปรุงผิว



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า 500% มอดูลัสต่อปริมาณเส้นใยก่อนและหลังปรับปรุงผิว

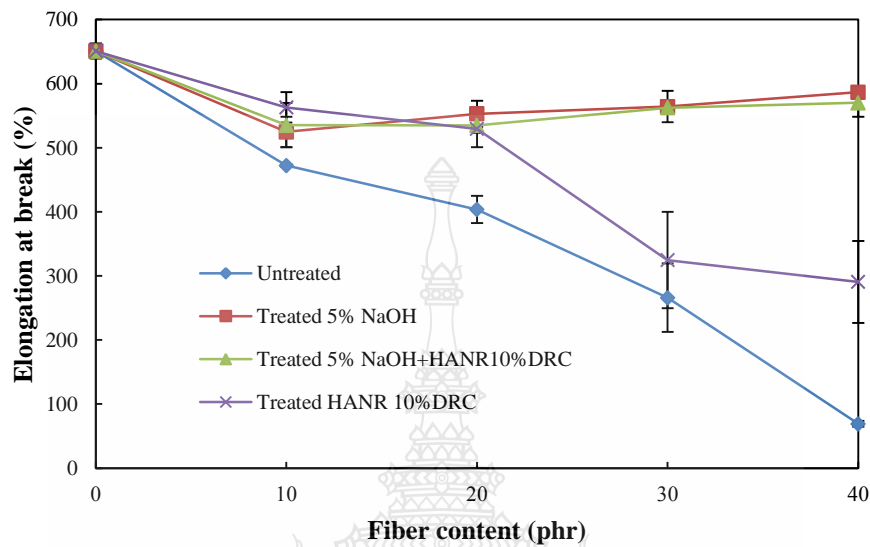
จากรูปที่ 4.12 และ 4.13 พบว่าค่ามอดูลัสที่ 100% และ 300% คอมโพลีเมอร์เสริมแรงด้วยเส้นใยไม่ปรับปรุงผิวกับคอมโพลีเมอร์เสริมแรงด้วยเส้นใยปรับปรุงผิวด้วยน้ำยางแสดงค่ามอดูลัสที่ใกล้เคียงกันซึ่งมีค่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับคอมโพลีเมอร์เสริมแรงด้วยเส้นใยปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์และคอมโพลีเมอร์เสริมแรงด้วยเส้นใยปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับน้ำยาง โดยค่าดังกล่าวมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้นส่วนรูปที่ 4.14 เป็นค่ามอดูลัสที่ 500% มีเพียงคอมโพลีเมอร์เสริมแรงด้วยเส้นใยปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์และคอมโพลีเมอร์เสริมแรงด้วยเส้นใยปรับปรุงผิวโซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับน้ำยางเท่านั้นเนื่องจากคอมโพลีเมอร์มีค่าระยะยืดมากกว่า 500% โดยคอมโพลีเมอร์ที่แสดงค่ามอดูลัส 500% ได้ดีที่สุดคือคอมโพลีเมอร์เสริมแรงด้วยเส้นใยปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับน้ำยางที่ปริมาณ 10 phr และเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มสูงขึ้นค่ามอดูลัส 500 % ก็มีแนวโน้มลดลง

#### 4.5.4 ผลของปริมาณเส้นใยที่มีต่อค่าระยะยืด ณ จุดขาดของคอมโพลีเมอร์

จากรูปที่ 4.15 พบว่าคอมโพลีเมอร์ที่เสริมแรงด้วยเส้นใยปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์และคอมโพลีเมอร์เสริมแรงด้วยเส้นใยปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับน้ำยางมีค่าระยะยืดที่ลดลงเมื่อปริมาณเส้นใย 10 phr แต่เมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มสูงขึ้นค่าระยะยืด ณ จุดขาดก็เพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อยตามลำดับ ส่วนคอมโพลีเมอร์เสริมแรงด้วยเส้นใยปรับปรุงผิวด้วยน้ำยางและคอมโพลีเมอร์เสริมแรงด้วยเส้นใยไม่ปรับปรุงผิวมีค่าลดลงเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มสูงขึ้น เป็นผลมาจากการที่เส้นใยผ่านการ

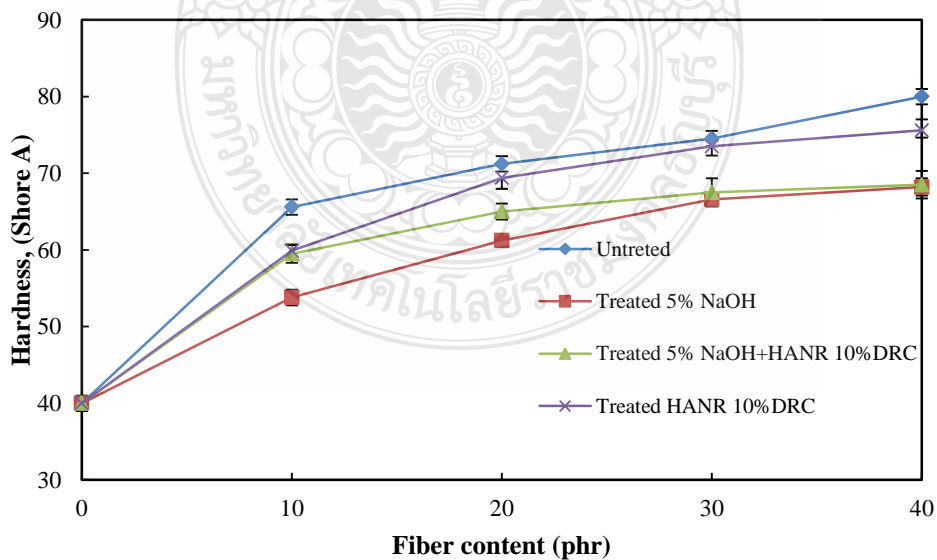


ปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ทำให้เส้นใยมีลักษณะที่นุ่มและมีค่าระยะยืดที่สูงขึ้น จึงส่งผลให้เมื่อใช้เส้นใยดังกล่าวเป็นสารเสริมแรง คอมโพสิตจึงมีค่าระยะยืดที่สูงมากขึ้น



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืด ณ จุดขาดต่อปริมาณเส้นใยก่อนและหลังปรับปรุงผิว

#### 4.5.6 ผลของปริมาณเส้นใยที่มีต่อค่าความแข็งที่ผิวของคอมโพสิต

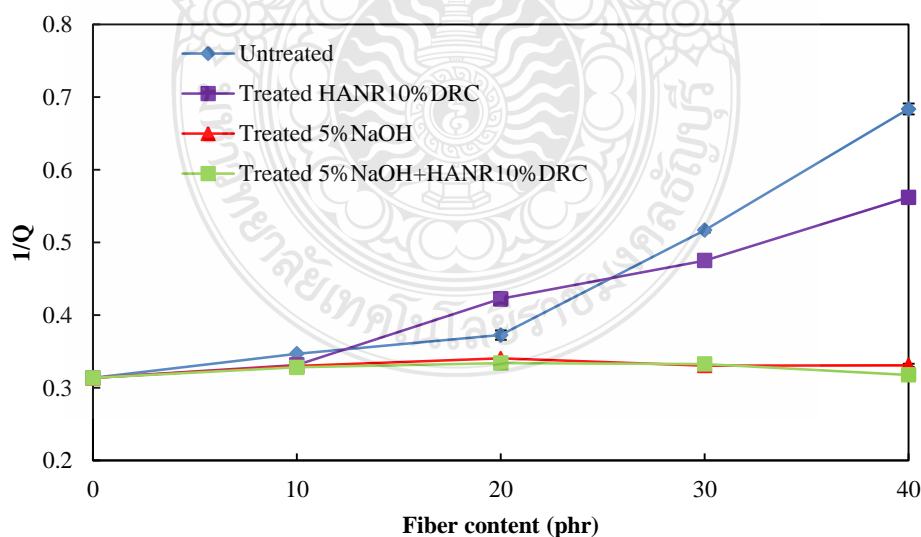


รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งที่ผิวต่อปริมาณเส้นใยก่อนและหลังปรับปรุงผิว

จากรูปที่ 4.16 พบว่าค่าความแข็งที่ผิวของคอมโพสิตเพิ่มสูงขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มสูงขึ้นโดยคอมโพสิตที่แสดงค่าความแข็งที่ผิวสูงสุดคือคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยไม่ปรับปรุงผิว ซึ่งมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้น 100% รองลงมาคือคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยปรับปรุงผิวด้วยน้ำยางซึ่งมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้น 85% เมื่อเทียบกับความแข็งของยางธรรมชาติที่ไม่ได้เสริมแรงเนื่องจากเส้นใยไม่ปรับปรุงผิวและเส้นใยปรับปรุงผิวด้วยน้ำยางยังคงมีลักษณะที่แข็ง ดังนั้นเมื่อนำมาเสริมแรงให้กับยางธรรมชาติส่งผลให้ยางมีค่าความแข็งที่เพิ่มสูงขึ้น

#### 4.6 ค่าดัชนีการบวมตัว (Swelling Index)

การทดสอบการบวมตัวเป็นการทดสอบเพื่อดูพฤติกรรมของการบวมตัวของยางคอมโพสิตเมื่อแช่ในสารละลายจากผลการทดลองในรูปที่ 4.17 พบว่ายางคอมโพสิตที่มีลักษณะการทนต่อสารละลายดีที่สุดคือคอมโพสิตที่มีค่าดัชนีการบวมตัวสูง (1/Q) นั่นคือคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยไม่ปรับปรุงผิว และปรับปรุงผิวด้วยน้ำยางธรรมชาติ 10%DRC ซึ่งมีค่าดัชนีการบวมตัวเพิ่มสูงขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น โดยค่าดัชนีการบวมตัวของยางธรรมชาติมีค่าเท่ากับ 0.313 แต่ค่าดัชนีการบวมตัวของคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยไม่ปรับปรุงผิวที่ปริมาณเส้นใย 40 phr มีค่าสูงถึง 0.683 ในขณะที่ยางคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยที่ปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์และใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับน้ำยางธรรมชาติพบว่าค่าดัชนีการบวมตัวคงที่ ไม่สามารถทนต่อการบวมตัวได้สารละลายได้

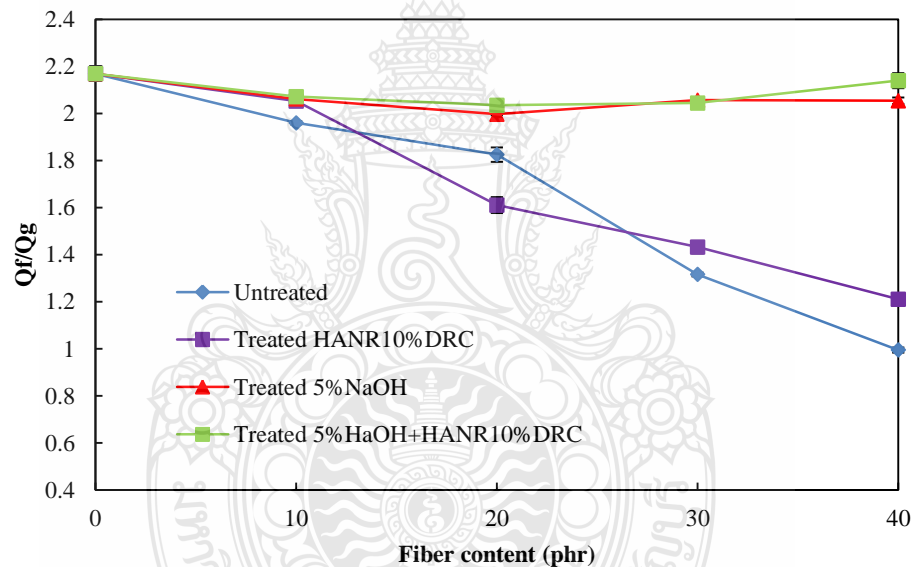


รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการบวมตัวต่อปริมาณเส้นใยก่อนและหลังปรับปรุงผิว

#### 4.7 ค่าแรงดึงดูระหว่างเส้นใยกับยาง(Rubber-Fiber Interaction)

แรงดึงดูระหว่างเส้นใยกับยางเป็นปัจจัยสำคัญประการหนึ่งเนื่องจากการที่ยางคอมโพสิตมีแรงดึงดูระหว่างเส้นใยกับยางที่ดีก็ส่งผลให้ยางคอมโพสิตมีสมบัติการคงตัวที่ดีด้วย ค่าแรงดึงดูระหว่างเส้นใยกับยางจะถูกแสดงโดยค่า  $Q_f/Q_g$  โดยการที่ค่า  $Q_f/Q_g$  ต่ำแสดงว่าค่าแรงดึงดูระหว่างเส้นใยกับยางมีค่ามาก

ดังนั้นจากการทดลองรูปที่ 4.18 พบว่าคอมโพสิตที่มีค่าแรงดึงดูระหว่างเส้นใยกับยางที่ดีคือคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยไม่ปรับปรุงผิวและคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยปรับปรุงผิวด้วยน้ำยาง โดยดูได้จากค่า  $Q_f/Q_g$  ที่ลดลงเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มสูงขึ้น โดยมีแนวโน้มสอดคล้องกับค่ามอดูลัสที่ 100% และ 300% และค่าความแข็งที่ผิวของยางคอมโพสิต

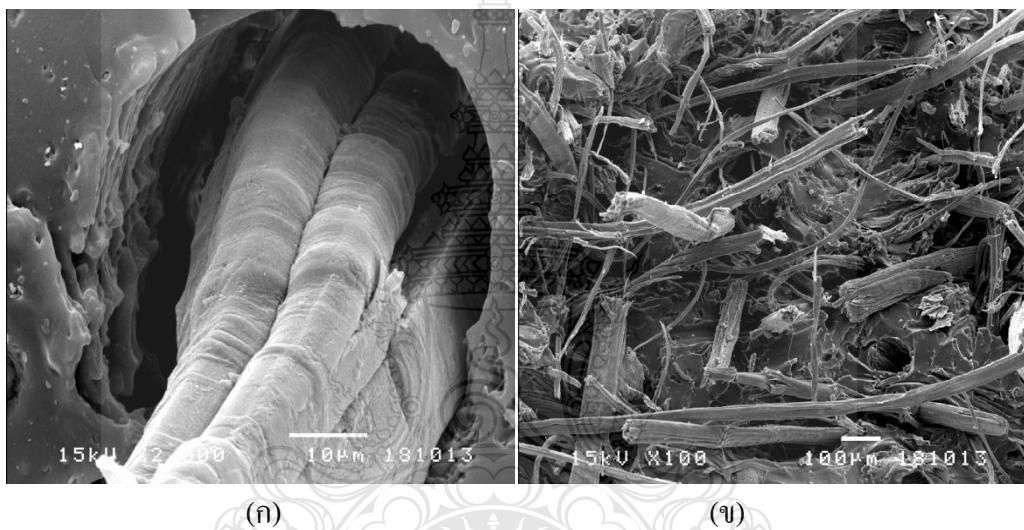


รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดึงดูระหว่างเส้นใยกับยางต่อปริมาณเส้นใยก่อนและหลังปรับปรุงผิว

#### 4.8 ลักษณะวิทยาของคอมโพสิต

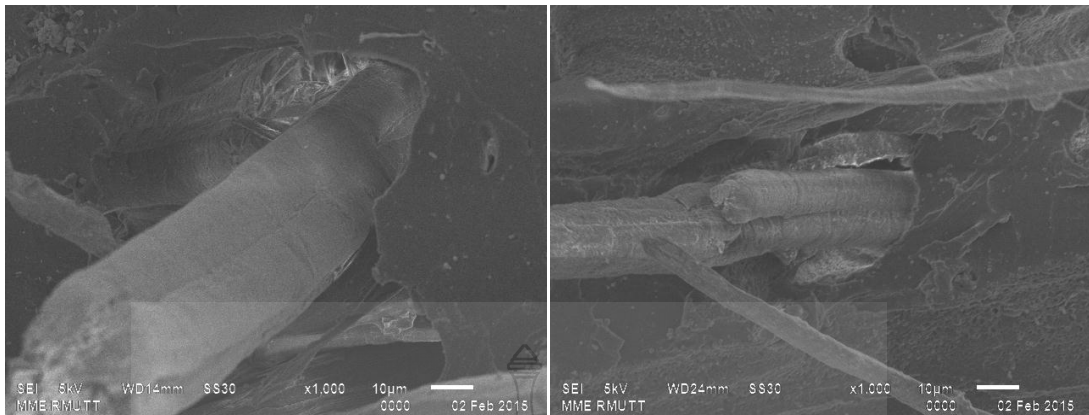
ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของคอมโพสิตเป็นการศึกษาเพื่อคุณลักษณะการกระจายตัวของเส้นใยในคอมโพสิต คูช่องว่างระหว่างเส้นใยกับแมทริกซ์ ซึ่งส่งผลกระทบต่อสมบัติเชิงกลของคอมโพสิต

จากรูปที่ 4.19 สาเหตุที่ทำให้คอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยปรับปรุงผิวด้วยน้ำยางที่มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 60% มีสมบัติเชิงกลที่ไม่ดีเนื่องจากรูปที่ 4.19 (ก) ช่องว่างระหว่างเส้นใยกับยางธรรมชาติที่กว้างมาก และรูปที่ 4.19 (ข) เกิดการรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน และเส้นใยมีการรวมตัวกันเป็นมัดไม่แตกออกจากกันทำให้การเสริมแรงนั้นเป็นไปได้ได้น้อย



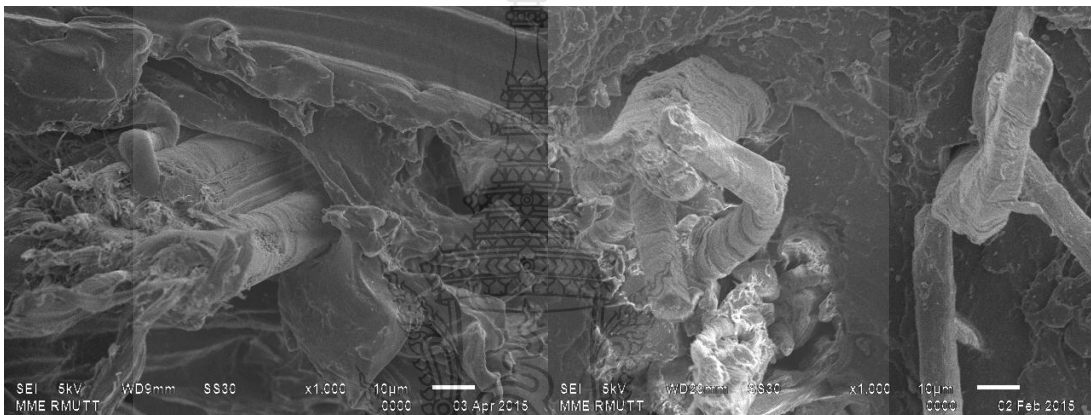
รูปที่ 4.19 ภาพไมโครกราฟของคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยปอกระเจาปรับปรุงผิวด้วยน้ำยางธรรมชาติที่มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 60 เปอร์เซ็นต์ (ก) กำลังขยาย 2000 เท่า และ (ข) กำลังขยาย 100 เท่า

จากรูปที่ 4.20 เป็นการศึกษาช่องว่างระหว่างเส้นใยกับยางพบว่าหลังจากเส้นใยมีการปรับปรุงผิวด้วยไซเดียมไฮดรอกไซด์ช่องว่างระหว่างเส้นใยกับยางมีขนาดที่แคบลงเมื่อเทียบกับเส้นใยที่ไม่ได้รับการปรับปรุงผิวเป็นผลมากจากการทำความสะอาดผิวของเส้นใยได้ช่วยเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยกับยางได้มากยิ่งขึ้น และเมื่อนำเส้นใยที่ปรับปรุงผิวด้วยน้ำยางและปรับปรุงผิวด้วยไซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับน้ำยางมาเปรียบเทียบพบว่า เนื่องจากเส้นใยทั้งสองแบบนี้มีน้ำยางเป็นตัวปรับปรุงผิวจึงทำให้ช่องว่างที่เกิดขึ้นนั้นน้อยมาก เป็นผลมาจากยางที่เคลือบบนผิวของเส้นใยได้ทำหน้าที่เป็นตัวประสานระหว่างเส้นใยกับยางได้เป็นอย่างดีอีกทั้งยังส่งผลกระทบต่อสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้นด้วย



(ก)

(ข)

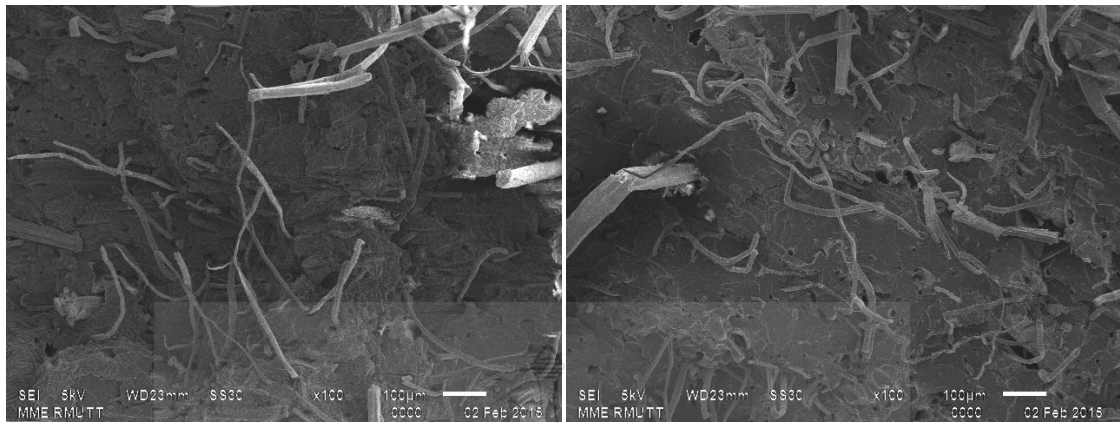


(ค)

(ง)

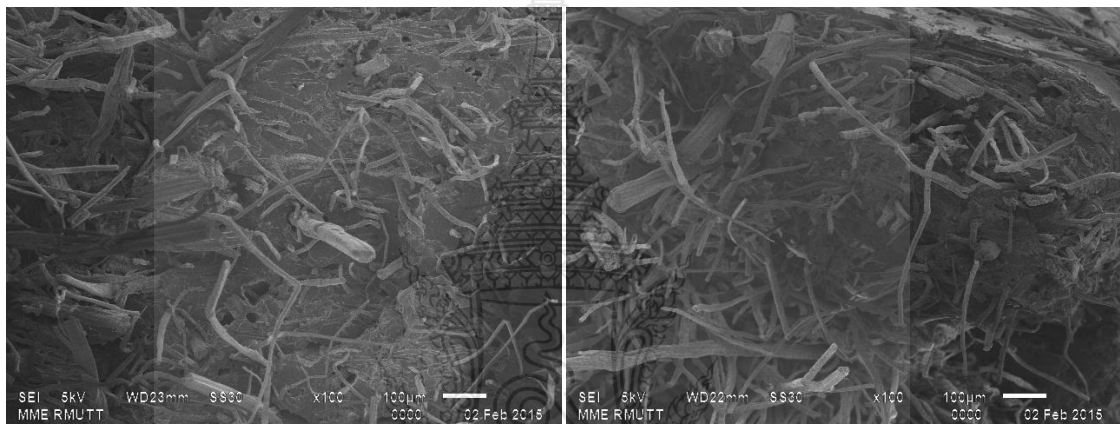
**รูปที่ 4.20** การเปรียบเทียบไมโครกราฟของคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยพอลิโพรพิลีน (ก) ไม่ปรับปรุงผิว (ข) ปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ค) ปรับปรุงผิวด้วยน้ำยาง และ (ง) ปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับน้ำยาง

จากรูปที่ 4.21 เป็นการศึกษาการกระจายตัวของเส้นใยภายในคอมโพสิต พบว่าเมื่อปริมาณของเส้นใยเพิ่มสูงขึ้นการกระจายตัวก็ยิ่งมากขึ้น และอาจมีบางส่วนที่ยังคงรวมตัวกันเป็นกลุ่มบ้าง จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้คอมโพสิตมีสมบัติการทนแรงดึงที่ลดลงเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มสูงขึ้น เพราะการเกิดการเกาะกลุ่มกันและการกระจายตัวของเส้นใยได้ไปขัดขวางการเกิดผลึกของยางธรรมชาติขณะการดึงยืด



(ก)

(ข)



(ค)

(ง)

รูปที่ 4.21 การเปรียบเทียบไมโครกราฟของคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยปอกระเจาปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับน้ำยางธรรมชาติที่มีปริมาณยางแห้ง 10 เปอร์เซ็นต์โดย (ก) 10 phr(ข) 20 phr(ค) 30 phrและ (ง) 40 phr

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย การอภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัยและการอภิปรายผล

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาวิธีการปรับปรุงผิวของเส้นใยต่อความคงทนและสมบัติเชิงกลของเส้นใยธรรมชาติและสมบัติเชิงกลของยางคอมโพสิต การปรับปรุงผิวเส้นใยที่ใช้ในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็นสามแบบคือการปรับปรุงผิวเส้นใยด้วยวิธีทางเคมีโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อเป็นการทำความสะอาดสิ่งสกปรกต่าง ๆ บนผิวของเส้นใย การปรับปรุงผิวเส้นใยด้วยวิธีทางกายภาพโดยใช้น้ำยา เพื่อให้เส้นใยเคลือบผิวของเส้นใยและทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมประสานระหว่างยางที่เป็นแมทริกซ์และเส้นใยที่เป็นสารเสริมแรงและการปรับปรุงผิวเส้นใยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับน้ำยา

จากการศึกษาเรื่องเวลาที่ใช้ควบคุมความหนาของยางบนผิวของเส้นใยพบว่าเวลามีผลน้อยมากเมื่อใช้ปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยาธรรมชาติ (DRC) 10-50% แต่เมื่อปริมาณ DRC เป็น 60% ต้องอาศัยเวลาเพื่อให้ยางแทรกเข้าไปในเส้นใยเนื่องจากน้ำยามีความหนืดสูง ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อความหนาของยางบนผิวของเส้นใยอย่างมากคือปริมาณยางแห้งในน้ำยา โดยเมื่อปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยาเพิ่มสูงขึ้นน้ำหนักของยางแห้งที่เกาะบนผิวของเส้นใยก็เพิ่มมากขึ้น

จากการศึกษาความคงทนทางความชื้นของเส้นใยพบว่าหลังจากที่เส้นใยได้รับการปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์อย่างเดียวยังทำให้เส้นใยมีค่าการดูดความชื้นที่เพิ่มขึ้นจากเส้นใยเดิม 9.164% เป็น 11.072% แต่เมื่อนำเส้นใยไปปรับปรุงผิวด้วยน้ำยาพบว่าค่าการดูดความชื้นของเส้นใยลดลงตามปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยาที่เพิ่มขึ้น เส้นใยที่มีค่าการดูดความชื้นต่ำที่สุดคือเส้นใยปรับปรุงผิวด้วยน้ำยาที่มี DRC 60% ซึ่งมีค่าความชื้นเพียง 1.554%

จากการศึกษาสมบัติของเส้นใยพบว่าค่าความเหนียวของเส้นใยมีค่าลดลง 2 เท่า หลังจากมีการปรับปรุงผิว จากเดิมค่าความเหนียวของเส้นใยปอกระเจาอยู่ที่ 2.10 gf/den เมื่อปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ค่าความเหนียวของเส้นใยลดลงเหลือเพียง 1.09 gf/den และเมื่อปรับปรุงผิวด้วยน้ำยาก็อ้างทำให้ค่าความเหนียวของเส้นใยลดลงตามลำดับ ค่าการทนแรงดึงของเส้นใยมีค่าเพิ่มสูงขึ้น หลังจากปรับปรุงผิวด้วยน้ำยาธรรมชาติโดยเส้นใยที่แสดงค่าการทนแรงดึงได้สูงที่สุดคือเส้นใยที่ปรับปรุงผิวด้วยน้ำยาที่มี DRC 30% โดยมีค่าถึง 1.058 MPa ซึ่งเส้นใยเดิมมีค่าการทนแรงดึงเพียง 0.922 MPa ค่ามอดูลัสของเส้นใยมีค่าลดลงหลังจากปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์และมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อปรับปรุงผิวด้วยน้ำยา ส่วนค่าระยะยืดของเส้นใยมีค่าลดลงเล็กน้อยหลังจากปรับปรุงผิว

ด้วยน้ำยางที่มีปริมาณ DRC 10-40% และเพิ่มขึ้นเมื่อปรับปรุงผิวด้วยน้ำยางที่มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 50-60%DRC

ยางธรรมชาติคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับน้ำยางมีค่าการทนแรงดึงลดลงเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มสูงขึ้นคือ 13.50, 11.80, 9.90 และ 7.30 MPa ตามลำดับ แต่ยังคงสูงกว่ายางคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยไม่ปรับปรุงผิว ซึ่งมีค่าการทนแรงดึงคือ 8.70, 5.30, 4.70 และ 5.50 MPa ตามลำดับ ในขณะที่ค่าความแข็งที่ผิวและค่ามอดูลัสที่ 100% และ 300% มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มสูงขึ้นและพบว่าคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยไม่ปรับปรุงผิวกับคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยปรับปรุงผิวด้วยน้ำยางแสดงค่ามอดูลัสที่ 100% และ 300% และค่าความแข็งที่ผิวที่ดีที่สุดที่สุดเป็นผลมาจากค่าการที่คอมโพสิตมีแรงดึงดูระหว่างเส้นใยกับยางดี ซึ่งดูได้จากค่า  $Q_f/Q_g$  และค่า  $1/Q$

จากการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของคอมโพสิตพบว่าการที่คอมโพสิตแสดงค่าการทนแรงดึงที่ดีขึ้นเป็นผลมาจากช่องว่างระหว่างเส้นใยกับยางลดลง ซึ่งคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยปรับปรุงผิวด้วยน้ำยางที่มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 10% กับคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับน้ำยางที่มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 10% แสดงถึงช่องว่างที่เล็กที่สุด

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

ความหนาของเนื้อยางแห้งบนผิวของเส้นใยปอกระเจามีผลต่อการทดลองมากเนื่องจากเมื่อความหนาของเนื้อยางมากขึ้นความเหนียวของยางจะส่งผลให้เส้นใยไม่สามารถกระจายตัวในแมทริกซ์ได้อีกทั้งยังจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนส่งผลให้สมบัติของคอมโพสิตต่ำลง



## บรรณานุกรม

- [1] พงษ์ธร แซ่ฮุ่ย, *ยาง ชนิด สมบัติ และการใช้งาน*, พิมพ์ครั้งที่ 2, ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเมค), 2537. หน้า 4-13.
- [2] วรากรณ์ ขจรไชยกูล, *ผลิตภัณฑ์ยาง: กระบวนการผลิตและเทคโนโลยี*, พิมพ์ครั้งที่ 1, ซีโน พับลิชชิ่ง (ประเทศไทย), 2552. หน้า 9-11
- [3] Thai Rubber Portal, *การแปรรูปยาง* (online), 2012, Available: <http://www.thairubbers.com/rubberportal/>, (3 กันยายน 2557).
- [4] สำนักงานพัฒนาเศรษฐกิจจากฐานชีวภาพ (องค์การมหาชน), *ยางเครฟ-เรื่อนำรู้* (online), 2014, Available: <http://www.adsthailand.com.bedo/ยางเครฟ-เรื่อนำรู้>, (3 กันยายน 2557).
- [5] โครงการสารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน, *การทำยางแท่ง* (online), Available: <http://kanchanapisek.or.th/kp6/sub/book/book.php?book=3&chap=4&page=t3-4-infodetail08.html>, (3 กันยายน 2557).
- [6] ยางธรรมชาติ(Natural rubber) (online), 2004, Available: [http://www.electron.rmutphysics.com/science-news/index.php?option=com\\_content&task=view&id=141](http://www.electron.rmutphysics.com/science-news/index.php?option=com_content&task=view&id=141), (4 กันยายน 2557)
- [7] วัชรินทร์ รัศมี, "สมบัติเชิงกลและเชิงพลวัตของยางคอมปาวด์ผสมซิลิกาที่ปรับปรุงผิวโดยเทคนิคแอคไมเซลล์าร์พอลิเมอร์ไรเซชันแบบรวมและแยกขั้นตอน," วิทยานิพนธ์, วิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2557.
- [8] มณฑา จันทร์เกตุเล็ก, *วิทยาศาสตร์สิ่งทอเบื้องต้น*, พิมพ์ครั้งที่ 1, หอรัศนชัยการพิมพ์, 2541. หน้า 59-96.
- [9] นवलเข ปาลิวณิช, *ความรู้เรื่องผ้าและเส้นใย*, เม็ดทรายพรีนติ้ง, 2542. หน้า 67-99.
- [10] กษมาจารุกัจจ, "การเตรียมคอมโพสิตจากยางธรรมชาติและเส้นใยป่านศรนารายณ์," รายงานการวิจัย, วิศวกรรมพอลิเมอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2555.
- [11] เจริญ นาคะสรรค์, *พอลิเมอร์เชิงประกอบ*, เทคโนโลยีเบื้องต้นทางพลาสติก. กรุงเทพฯ, 2545.
- [12] เกศินี โกศลเมธี, "การเตรียมและสมบัติเชิงกลของยางคอมโพสิตเตรียมจากยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกผสมเส้นใยปอกระเจา," วิทยานิพนธ์, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีพอลิเมอร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2552.
- [13] พงษ์ธร แซ่ฮุ่ย, *ยาง กระบวนการผลิตและการทดสอบ*, พิมพ์ครั้งที่ 1, ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเมค), 2550. หน้า 11-29.

## บรรณานุกรม (ต่อ)

- [14] L. Liu, Jianyong Yu, Longdi Cheng, and Weiwei Qu, "Mechanical properties of poly (butylene succinate)(PBS) biocomposites reinforced with surface modified jute fibre," *Composites : Part A*, vol. 40, pp. 669-674, March 2009.
- [15] K. Mysamy, and I. Rajendran, "The mechanical properties, deformation and thermomechanical properties of alkali treated and untreated Agave continuous fibre reinforced epoxy composites," *Materials and Design*, vol. 32, pp. 3076-3084, December 2010.
- [16] B.F. Yousif, A. Shalwan, C.W.Chin, and K.C. Ming, "Flexural properties of treated and untreated kenaf/epoxy composites," *Materials and Design*, vol. 40, pp.378-385, April 2012.
- [17] V.G. Geethamma, G. Kalaprasad, Gabriel Groeninckx, and Sabu Thomas, "Dynamic mechanical behavior of short coir fiber reinforced natural rubber composites," *Composites: Part A*, vol. 36, pp.1499-1506, March 2005.
- [18] H. Ismail, S. Shuhelmy, and M.R. Edyham, "The effects of a silane coupling agent on curing characteristics and mechanical properties of bamboo fibre filled natural rubber composites," *European Polymer Journal*, vol. 38 pp. 39-47, April 2001.
- [19] A.K. Mohanty, Mubarak, and G. Hinrichsen, "Surface modification of jute and its influence on performance of biodegradable jute-fibric/Biopol composites," *Composites Science and Technology*, vol.60, pp. 1115-1124, January 2000.
- [20] B.K. Sarkar and Dipa Ray, "Effect of the defect concentration on the impact fatigue endurance of untreated and alkali treated jute–vinylester composites under and liquid nitrogen atmosphere," *Composites Science and Technology*, vol.64, pp. 2213–2219, June (2004).
- [21] D. Ray, B.K. Sarkar, S.Das, and A.K. Rana, "Dynamic mechanical and thermal analysis of vinylester-resin-matrix composites reinforced with untreated and alkali-treated jute fibres" *Composites Science and Technology*, vol.62, pp. 911–917, December (2002).
- [22] J. Wei and Christian Meyer, "Degradation mechanisms of natural fiber in the matrix of cement composites," *Cement and Concrete Research*, vol.73 pp.1-16, February (2015).
- [23] A.B. Nair and R.Joseph, "Eco-friendly bio-composite using natural rubber (NR) matrices and natural fiber reinforcements," pp.249-283

## บรรณานุกรม (ต่อ)

- [24] U. Nirmal, Jamil Hashim and M.M.H Megat Ahmad, "A review on tribological performance of natural fibre polymeric composite," *Tribology International*, vol. 83, pp. 77-104, November (2014).
- [25] S. Indran, R.Edwin Raj and V.S. Sreenivasan, "Characterization of new natural cellulosic fiber from *Cissusquadrangularis* root," *Carbohydrate Polymers*, vol.110, pp.423-429, april (2014)
- [26] Z.N. Azwa, B.F. Yousif, A.C.Manalo and W.Karunasena, "A review on the degradability of polymeric composites based on natural fibres" *Materials and Design*, vol.47,pp.424-442, December (2012)



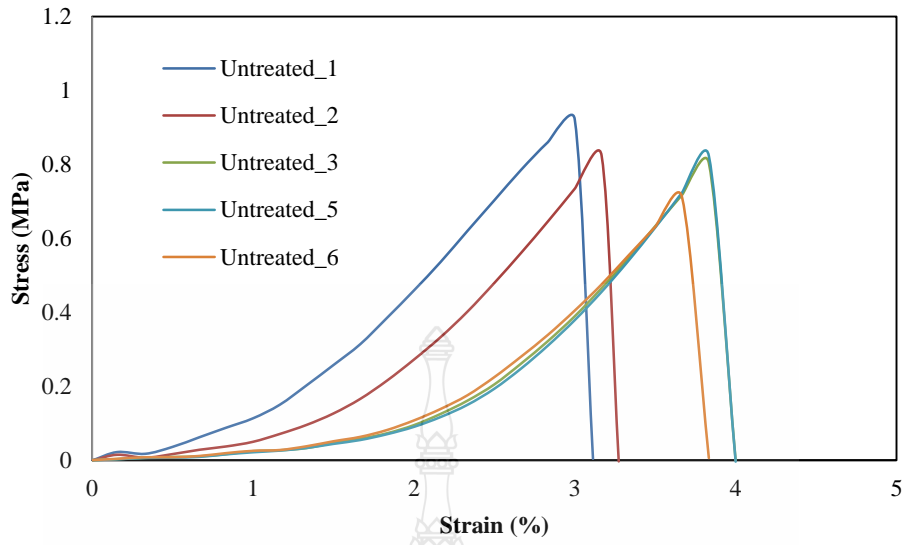


ภาคผนวก

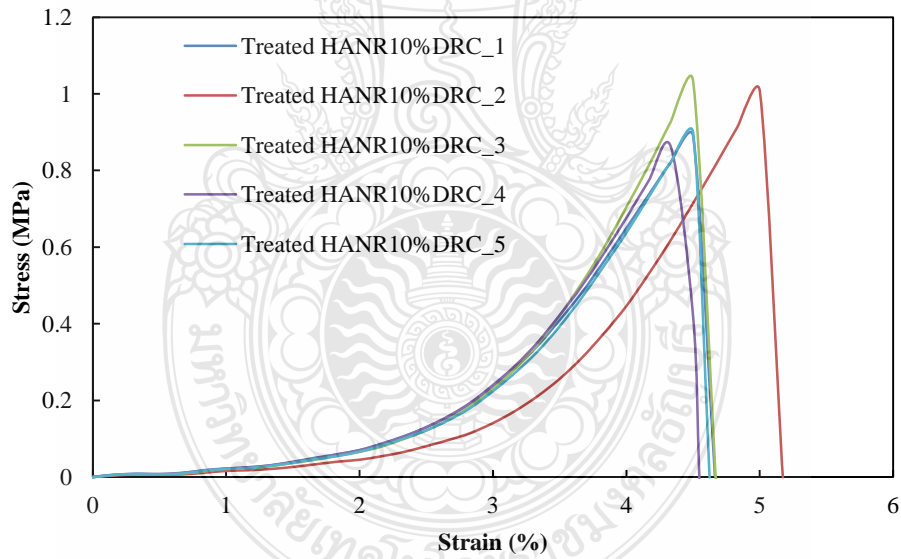
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ภาคผนวก ก  
ข้อมูลการทดสอบเส้นใยปอกระเจา

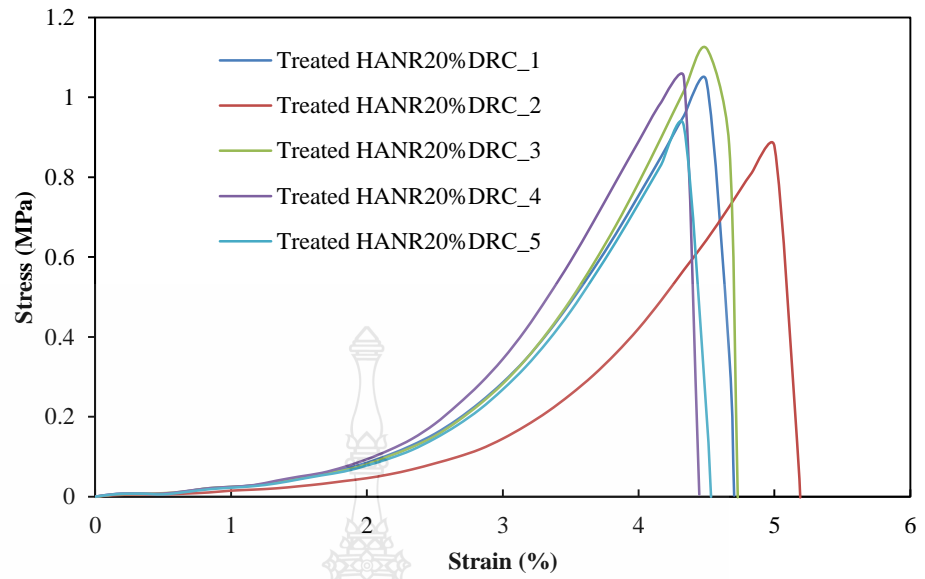




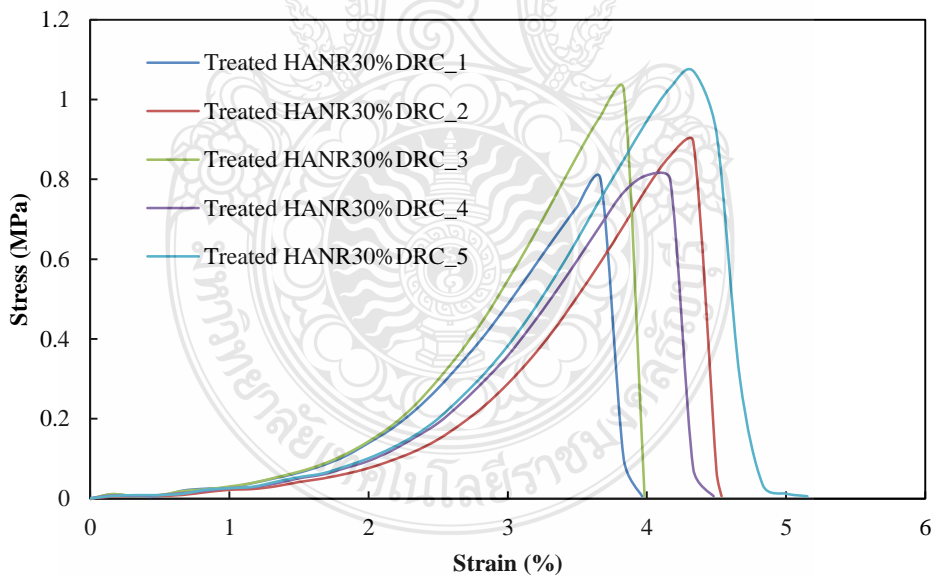
รูปที่ ก 1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของเส้นใยปอกระเจาไม่ปรับปรุงผิว



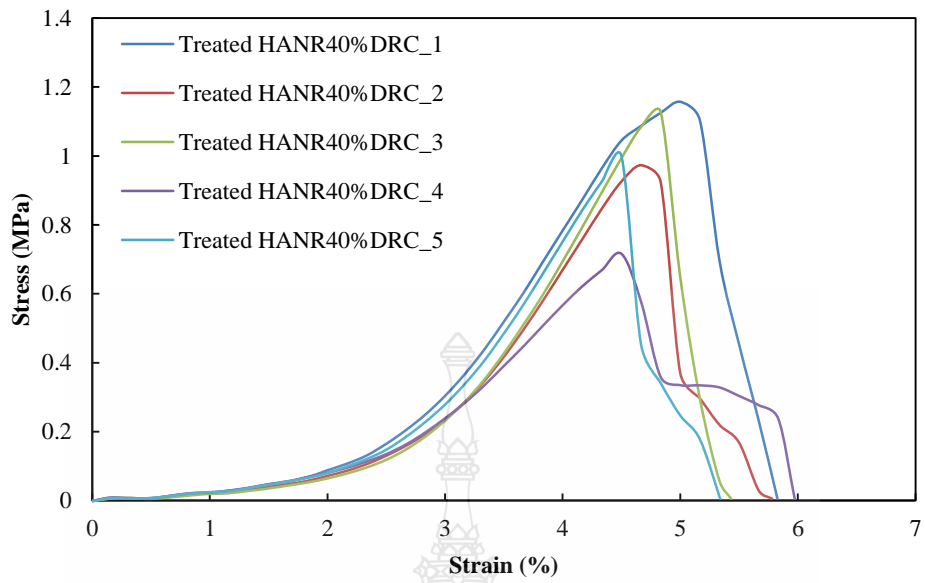
รูปที่ ก 2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของเส้นใยปอกระเจาปรับปรุงผิวด้วยน้ำยาง 10%DRC



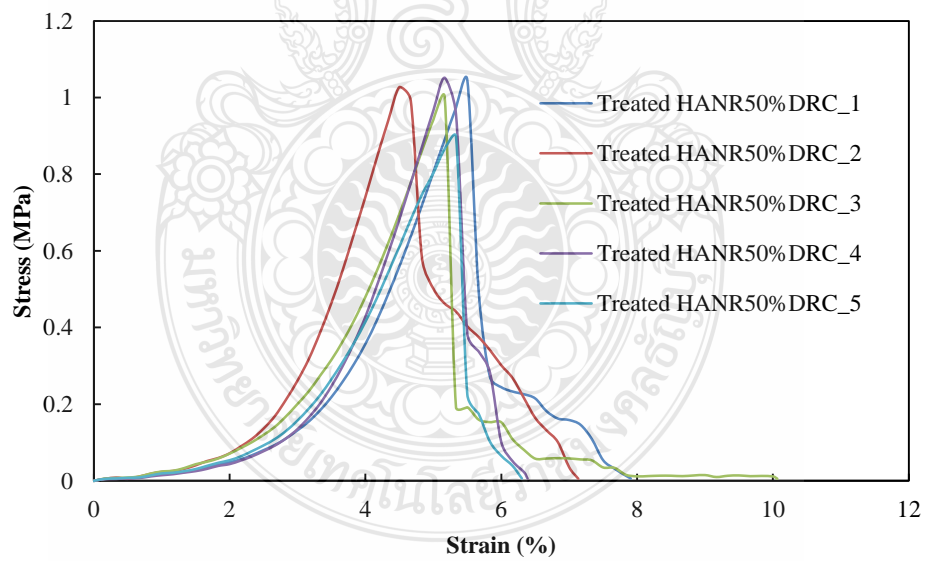
รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของเส้นใยพอลิเอทิลีนที่ปรับปรุงผิวด้วยน้ำยาง 20%DRC



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของเส้นใยพอลิเอทิลีนที่ปรับปรุงผิวด้วยน้ำยาง 30%DRC

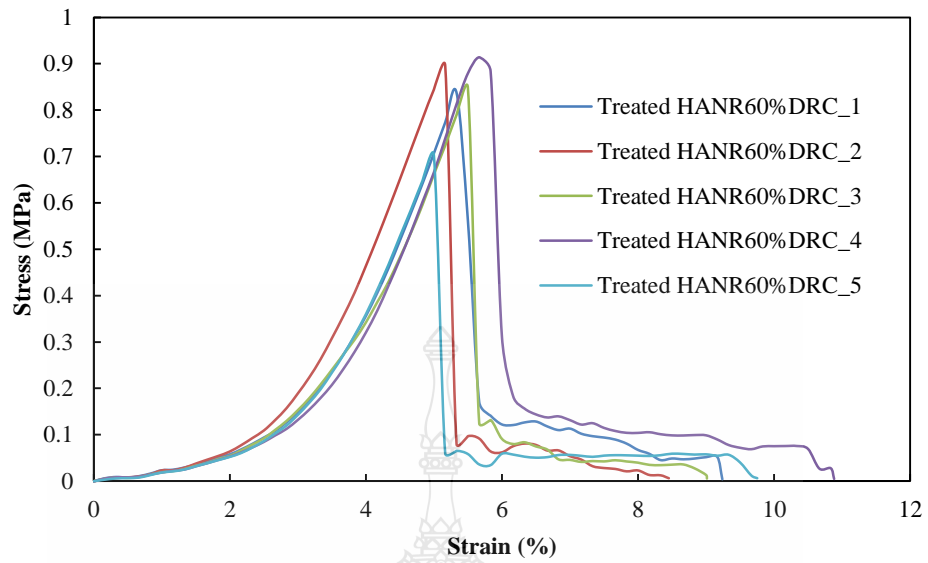


รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของเส้นใยปอกระเจาปรับปรุงผิวด้วยน้ำยาง 40%DRC

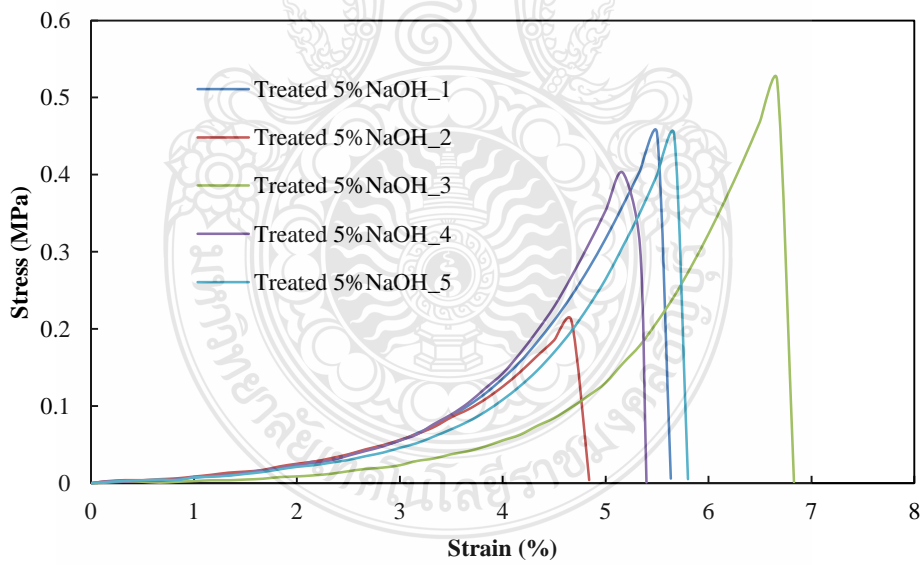


รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของเส้นใยปอกระเจาปรับปรุงผิวด้วยน้ำยาง 50%DRC

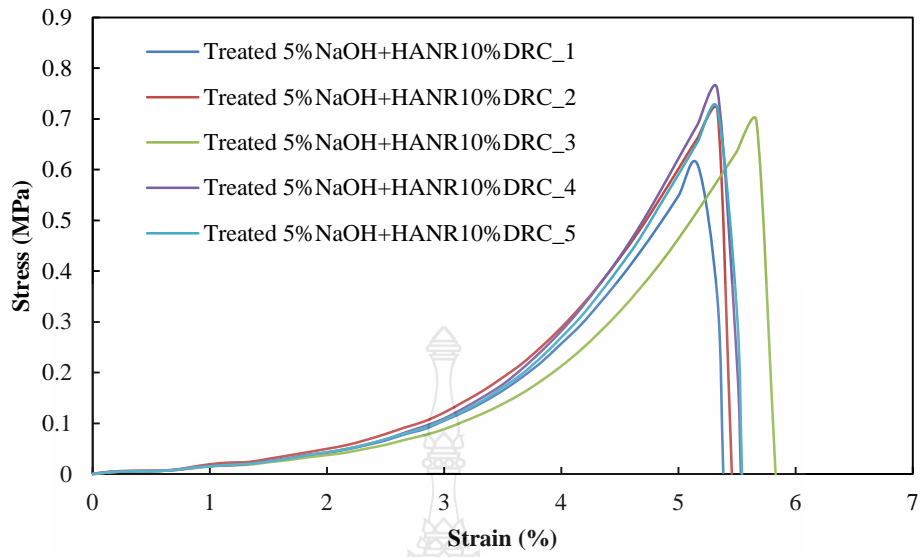




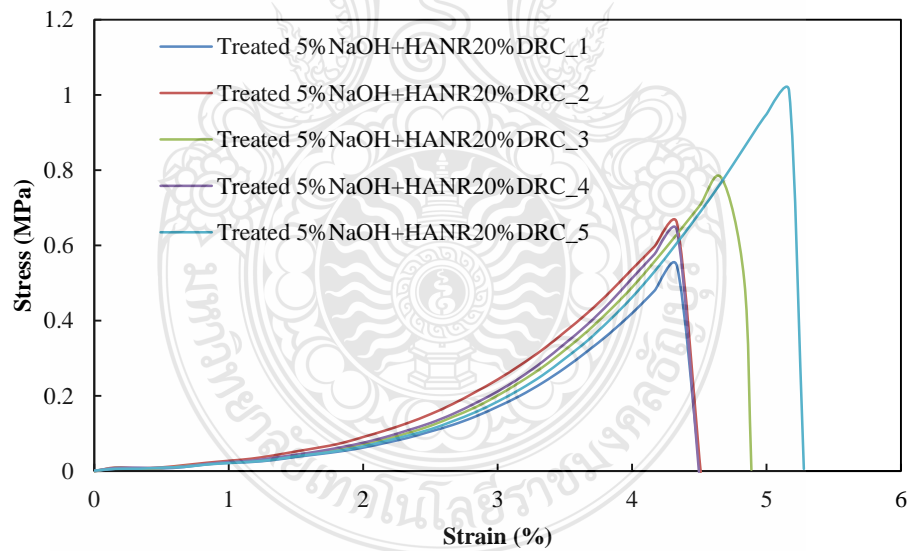
รูปที่ ๗ ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของเส้นใยปอกระเจาปรับปรุงผิวด้วยน้ำยาง 60%DRC



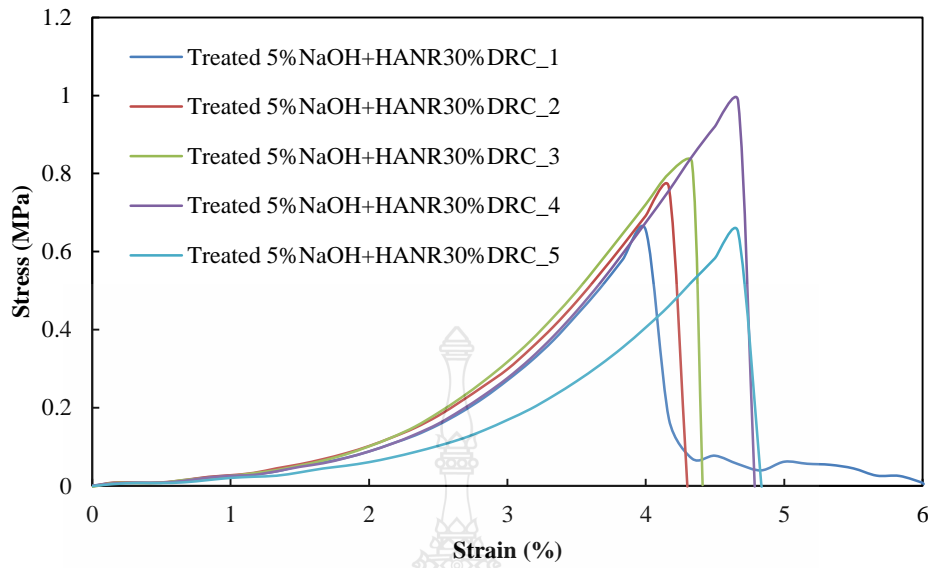
รูปที่ ๘ ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของเส้นใยปอกระเจาปรับปรุงผิวด้วย 5%w/w โซเดียมไฮดรอกไซด์



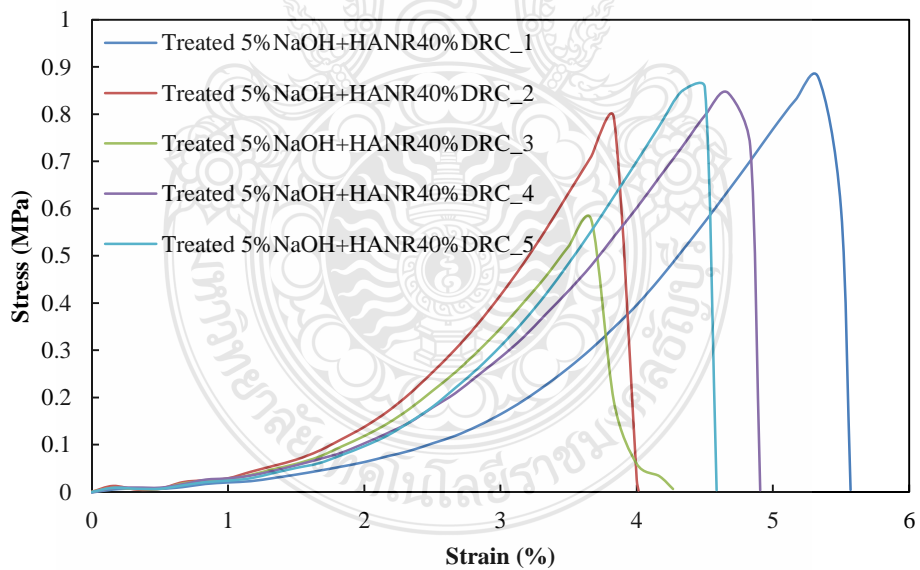
รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของเส้นใยปอกระเจาปรับปรุงผิวด้วย 5%w/w โซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับน้ำยางธรรมชาติ 10%DRC



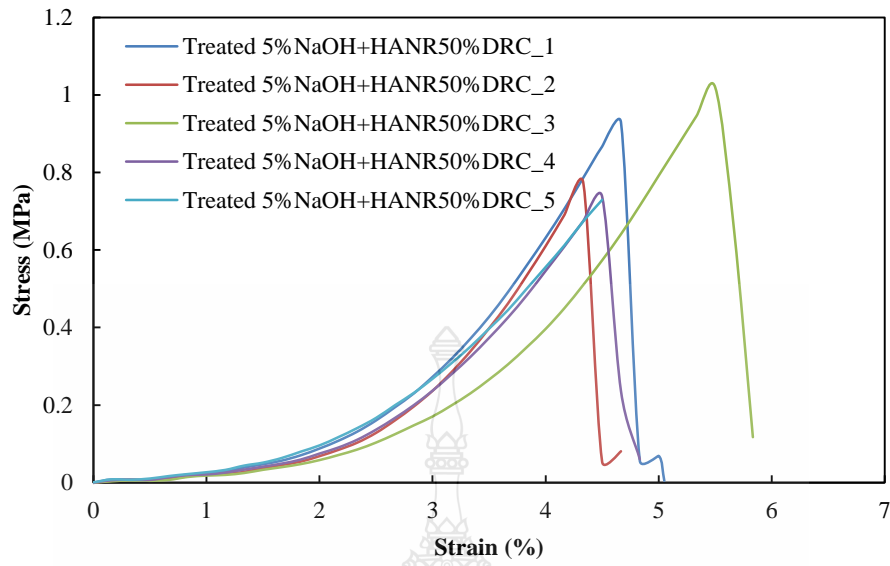
รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของเส้นใยปอกระเจาปรับปรุงผิวด้วย 5%w/w โซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับน้ำยางธรรมชาติ 20%DRC



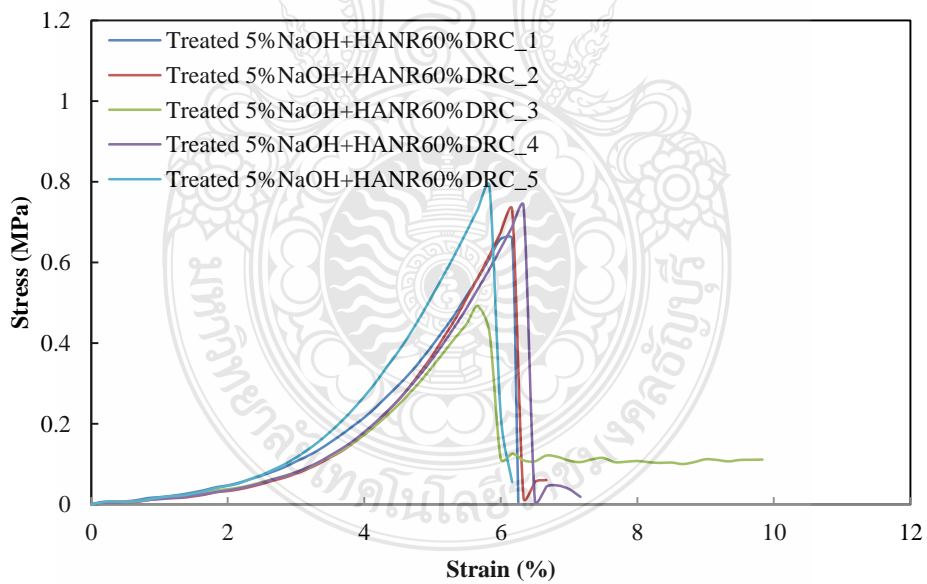
รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของเส้นใยปอกระเจาปรับปรุงผิวด้วย 5%w/w โซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับน้ำยางธรรมชาติ 30%DRC



รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของเส้นใยปอกระเจาปรับปรุงผิวด้วย 5%w/w โซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับน้ำยางธรรมชาติ 40%DRC



รูปที่ ก 13 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของเส้นใยปอกระเจาปรับปรุงผิวด้วย 5%w/w โซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับน้ำยางธรรมชาติ 50%DRC



รูปที่ ก 14 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของเส้นใยปอกระเจาปรับปรุงผิวด้วย 5%w/w โซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับน้ำยางธรรมชาติ 60%DRC

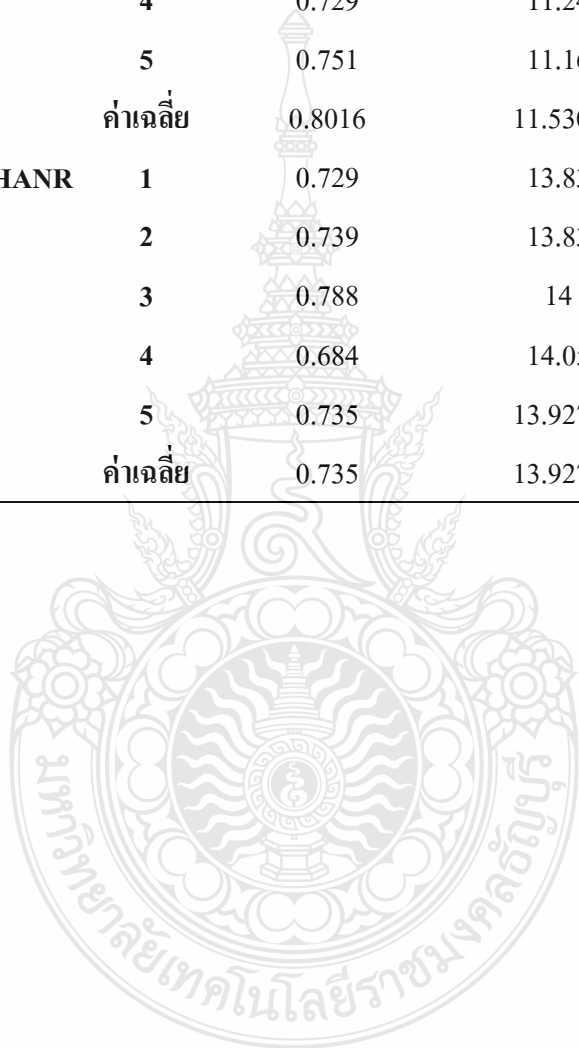
ตารางที่ ก 1 สมบัติเชิงกลของเส้นใยปอกระเจา

ชื่อตัวอย่าง	ชั้นที่	Stress (MPa)	Strain (%)	Modulus (MPa)
Untreated	1	0.9221	3	30.7367
	2	0.8244	3.166	26.0392
	3	0.804	3.833	20.9757
	4	0.976	3.333	29.2829
	5	0.823	3.833	21.4714
	ค่าเฉลี่ย	0.8699	3.433	25.7012
Treated HANR 10%DRC	1	0.889	4.5	19.7556
	2	1.006	4.999	20.124
	3	1.033	4.5	22.9556
	4	0.861	4.333	19.8708
	5	0.898	4.5	19.9556
	ค่าเฉลี่ย	0.9374	4.5664	20.5323
Treated HANR 20%DRC	1	1.039	4.5	23.0889
	2	0.876	4.999	17.5235
	3	1.122	4.5	24.9333
	4	1.049	4.333	24.2096
	5	0.927	4.333	21.394
	ค่าเฉลี่ย	1.0026	4.533	22.2298
Treated HANR 30%DRC	1	0.8	3.66	21.8579
	2	0.894	4.333	20.6324
	3	1.025	3.83	26.7624
	4	0.8	4.166	19.2031
	5	1.071	4.333	24.7173
	ค่าเฉลี่ย	0.918	4.0644	22.6346

ชื่อตัวอย่าง	ชั้นที่	Stress (MPa)	Strain (%)	Modulus (MPa)
Treated HANR 40%DRC	1	1.157	5	23.14
	2	0.973	4.666	20.853
	3	1.127	4.833	23.3188
	4	0.999	4.5	22.223
	5	1.142	3.833	29.7939
	ค่าเฉลี่ย	1.0796	4.5664	23.8611
Treated HANR 50%DRC	1	1.045	7.906	13.2178
	2	1.027	7.133	14.3979
	3	1	10.063	9.9374
	4	1.051	6.386	16.4579
	5	0.898	6.303	14.2472
	ค่าเฉลี่ย	1.0042	7.5582	13.6516
Treated HANR 60%DRC	1	0.837	9.239	9.0594
	2	0.895	8.453	10.588
	3	0.847	9.013	9.3975
	4	0.913	10.883	8.3892
	5	0.702	9.753	7.1978
	ค่าเฉลี่ย	0.8388	9.4682	8.9264
Treated 5%NaOH	1	0.452	5.499	8.2197
	2	0.21	4.666	4.5006
	3	0.521	6.666	7.8158
	4	0.402	5.166	7.7816
	5	0.45	5.666	7.9421
	ค่าเฉลี่ย	0.407	5.5326	7.252

ชื่อตัวอย่าง	ชั้นที่	Stress (MPa)	Strain (%)	Modulus (MPa)
Treated 5%NaOH+HANR 10%DRC	1	0.608	5.166	11.7693
	2	0.716	5.333	13.4258
	3	0.694	5.666	12.2485
	4	0.757	5.333	14.1946
	5	0.587	10.366	5.6627
	ค่าเฉลี่ย	0.6724	6.3728	11.4602
Treated 5%NaOH+HANR 20%DRC	1	0.544	4.333	12.5548
	2	0.658	4.333	15.1858
	3	0.777	4.666	16.6524
	4	0.638	4.33	14.7344
	5	1.01	5.166	19.5509
	ค่าเฉลี่ย	0.7254	4.5656	15.7357
Treated 5%NaOH+HANR 30%DRC	1	0.654	3.999	16.3541
	2	0.764	4.166	18.3389
	3	0.828	4.333	19.1092
	4	0.985	4.666	21.1102
	5	0.65	4.666	13.9306
	ค่าเฉลี่ย	0.7762	4.366	17.7686
Treated 5%NaOH+HANR 40%DRC	1	0.877	5.333	16.4448
	2	0.79	3.833	20.6105
	3	0.576	3.666	15.7119
	4	0.732	4.833	15.1459
	5	0.856	4.5	19.0222
	ค่าเฉลี่ย	0.7662	4.433	17.3871

ชื่อตัวอย่าง	ชั้นที่	Stress (MPa)	Strain (%)	Modulus (MPa)
Treated 5%NaOH+HANR 50%DRC	1	0.772	11.981	6.4435
	2	1.019	11.203	9.0958
	3	0.737	12.07	6.106
	4	0.729	11.24	6.4858
	5	0.751	11.16	6.7294
	ค่าเฉลี่ย	0.8016	11.5308	6.9721
Treated 5%NaOH+HANR 60%DRC	1	0.729	13.83	5.2711
	2	0.739	13.83	5.3435
	3	0.788	14	5.6286
	4	0.684	14.05	4.8683
	5	0.735	13.9275	5.2779
	ค่าเฉลี่ย	0.735	13.9275	5.2779





ตารางที่ ก 2 ค่าความเหนียว (Tenacity)

ชื่อตัวอย่าง	ชั้นที่	Max.load (gf)	น้ำหนักเส้นใย 9000 เมตร(den)	Tenacity (gf/den)
Untreated	1	7377.49		2.16985
	2	6595.93		1.939979
	3	6434.21	3400	1.892415
	4	7810.68		2.297259
	5	6589.35		1.938044
	ค่าเฉลี่ย		6961.532	
Treated HANR 10%DRC	1	7118.75		1.483073
	2	8054.43		1.678006
	3	8267.72	4800	1.722442
	4	7187.02		1.497296
	5	8777.52		1.82865
	ค่าเฉลี่ย		7881.088	
Treated HANR 20%DRC	1	8313.13		1.385522
	2	7015.24		1.169207
	3	8980.97	6000	1.496828
	4	8394.06		1.39901
	5	7418.47		1.236412
	ค่าเฉลี่ย		8024.374	
Treated HANR 30%DRC	1	7154.26		0.966792
	2	8205.55		1.108858
	3	8569.71	7400	1.158069
	4	8465.94		1.144046
	5	9014.81		1.218218
	ค่าเฉลี่ย		8282.954	

ชื่อตัวอย่าง	ชั้นที่	Max.load (gf)	น้ำหนักเส้นใย 9000 เมตร (den)	Tenacity (gf/den)
Treated HANR 40%DRC	1	9256.46	8800	1.05187
	2	7784.26		0.884575
	3	9017.83		1.024753
	4	7996.06		0.908643
	5	9137.36		1.038336
	ค่าเฉลี่ย	8638.394		0.981636
Treated HANR 50%DRC	1	8361.98	14200	0.588872
	2	8218.22		0.578748
	3	8007.99		0.563943
	4	8412.8		0.592451
	5	7186.17		0.506068
	ค่าเฉลี่ย	8037.432		0.566016
Treated HANR 60%DRC	1	6698.44	20000	0.334922
	2	7164.95		0.358248
	3	6783.29		0.339165
	4	7311.71		0.365586
	5	7568.01		0.378401
	ค่าเฉลี่ย	7105.28		0.355264
Treated 5%NaOH	1	3622.57	3600	1.006269
	2	4173.64		1.159344
	3	3220.57		0.894603
	4	3605.92		1.001644
	5	3811.42		1.058728
	ค่าเฉลี่ย	3686.824		1.024118

ชื่อตัวอย่าง	ชั้นที่	Max.load (gf)	น้ำหนักเส้นใย 9000 เมตร (den)	Tenacity (gf/den)
Treated 5%NaOH+HANR 10%DRC	1	5734.75		1.19474
	2	5559.06		1.158138
	3	6059.73	4800	1.262444
	4	5760		1.2
	5	6707.78		1.397454
	ค่าเฉลี่ย	5964.264		1.242555
Treated 5%NaOH+HANR 20%DRC	1	5268.82		0.878137
	2	6221.77		1.036962
	3	5111.68	6000	0.851947
	4	8087.41		1.347902
	5	4947.89		0.824648
	ค่าเฉลี่ย	5927.514		0.987919
Treated 5%NaOH+HANR 30%DRC	1	6113.51		0.727799
	2	6626.86		0.788912
	3	7884.38	8400	0.938617
	4	5200.18		0.619069
	5	6959.08		0.828462
	ค่าเฉลี่ย	6556.802		0.780572
Treated 5%NaOH+HANR 40%DRC	1	7021.9		0.747011
	2	6326.68		0.673051
	3	6768.54	9400	0.720057
	4	6854.3		0.729181
	5	5282.09		0.561924
	ค่าเฉลี่ย	6450.702		0.686245

ชื่อตัวอย่าง	ชั้นที่	Max.load (gf)	น้ำหนักเส้นใย 9000 เมตร (den)	Tenacity (gf/den)
Treated 5%NaOH+HANR 50%DRC	1	7429.56	13600	0.546291
	2	6182.27		0.454579
	3	5900.66		0.433872
	4	5346.65		0.393136
	5	5833.7		0.428949
	ค่าเฉลี่ย	6138.568		0.451365
Treated 5%NaOH+HANR 60%DRC	1	5265.67	19000	0.277141
	2	5837.94		0.30726
	3	5914.62		0.311296
	4	6309.14		0.33206
	5	5476.4		0.288232
	ค่าเฉลี่ย	5760.754		0.303198



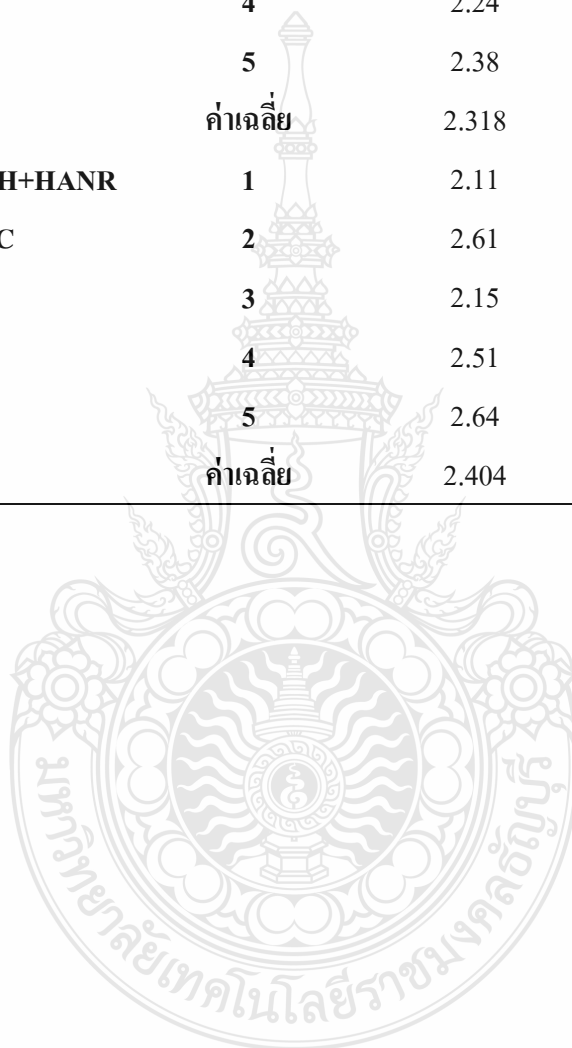
ตารางที่ ก 3 สมบัติความคงทนของเส้นใย

ชื่อตัวอย่าง	ชั้นที่	Moisture content (%)	ดูดซึมน้ำ (%)
Untreated	1	9.32	64.1
	2	8.57	61.2
	3	9.53	62.1
	4	9.26	59.72
	5	9.14	63.8
	ค่าเฉลี่ย		9.164
Treated HANR 10%DRC	1	4.17	58.83
	2	6.31	60.12
	3	5.13	59.21
	4	4.2	60.1
	5	4.15	60.04
	ค่าเฉลี่ย		4.792
Treated HANR 20%DRC	1	4.4	51.87
	2	4.65	50.12
	3	4.55	49.87
	4	4.23	51.23
	5	4.54	50.19
	ค่าเฉลี่ย		4.474
Treated HANR 30%DRC	1	3.49	37.38
	2	3.75	38.6
	3	3.75	35.63
	4	3.51	38.56
	5	3.63	38.9
	ค่าเฉลี่ย		3.626

ชื่อตัวอย่าง	ชั้นที่	Moisture content (%)	ดูดซึมน้ำ (%)
Treated HANR 40%DRC	1	2.95	37.89
	2	2.1	36.86
	3	2.87	36.41
	4	2.65	38.07
	5	2.46	36.51
	ค่าเฉลี่ย	2.606	37.148
Treated HANR 50%DRC	1	1.86	33.91
	2	2.11	35.61
	3	1.98	31.29
	4	1.87	33.1
	5	1.81	34.93
	ค่าเฉลี่ย	1.926	33.768
Treated HANR 60%DRC	1	1.52	33.65
	2	1.61	32.24
	3	1.52	30.31
	4	1.54	31.53
	5	1.58	30.13
	ค่าเฉลี่ย	1.554	31.572
Treated 5%NaOH	1	11.02	60.02
	2	11.02	58.76
	3	10.98	61.01
	4	11.21	58.87
	5	11.13	59.18
	ค่าเฉลี่ย	11.072	59.568

ชื่อตัวอย่าง	ชั้นที่	Moisture content (%)	ดูดซึมน้ำ (%)
<b>Treated 5%NaOH+HANR</b> <b>10%DRC</b>	1	7.09	55.87
	2	6.43	57.34
	3	7.15	57.85
	4	6.97	56.52
	5	7.01	55.75
	ค่าเฉลี่ย	6.93	56.666
<b>Treated 5%NaOH+HANR</b> <b>20%DRC</b>	1	5.62	40.75
	2	5.56	39.07
	3	5.62	37.51
	4	5.41	37.83
	5	5.7	38.76
	ค่าเฉลี่ย	5.582	38.784
<b>Treated 5%NaOH+HANR</b> <b>30%DRC</b>	1	4.14	35.74
	2	4.09	38.01
	3	4.13	36.43
	4	4.15	36.72
	5	4.09	35.41
	ค่าเฉลี่ย	4.12	36.462
<b>Treated 5%NaOH+HANR</b> <b>40%DRC</b>	1	3.14	32.81
	2	2.98	32.33
	3	3.2	31.24
	4	3.01	31.21
	5	3.13	30.12
	ค่าเฉลี่ย	3.092	31.542

ชื่อตัวอย่าง	ชั้นที่	Moisture content (%)	จุดชื้นน้ำ (%)
Treated 5%NaOH+HANR 50%DRC	1	2.39	25.11
	2	2.23	26.56
	3	2.35	23.75
	4	2.24	23.76
	5	2.38	23.24
	ค่าเฉลี่ย	2.318	24.484
Treated 5%NaOH+HANR 60%DRC	1	2.11	21.86
	2	2.61	17.98
	3	2.15	17.89
	4	2.51	18.51
	5	2.64	20.84
	ค่าเฉลี่ย	2.404	19.416

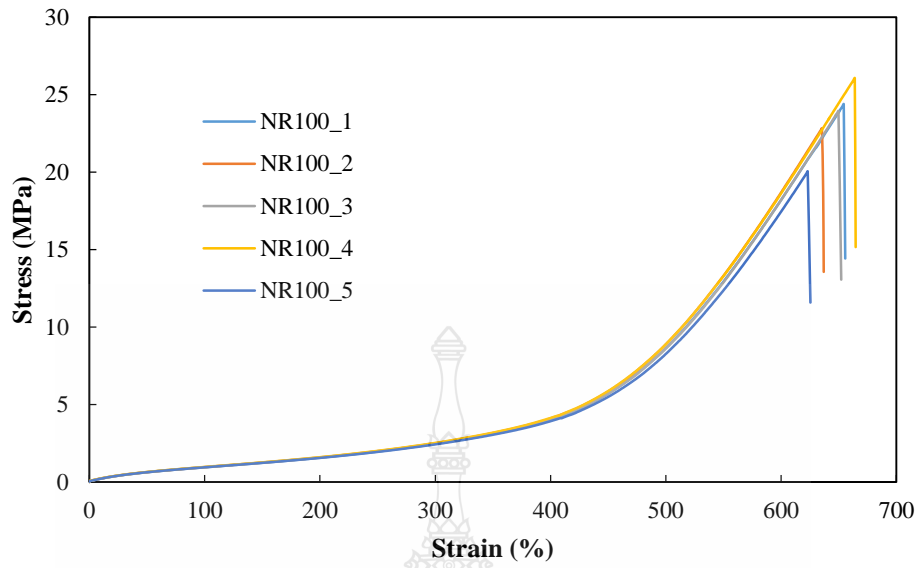




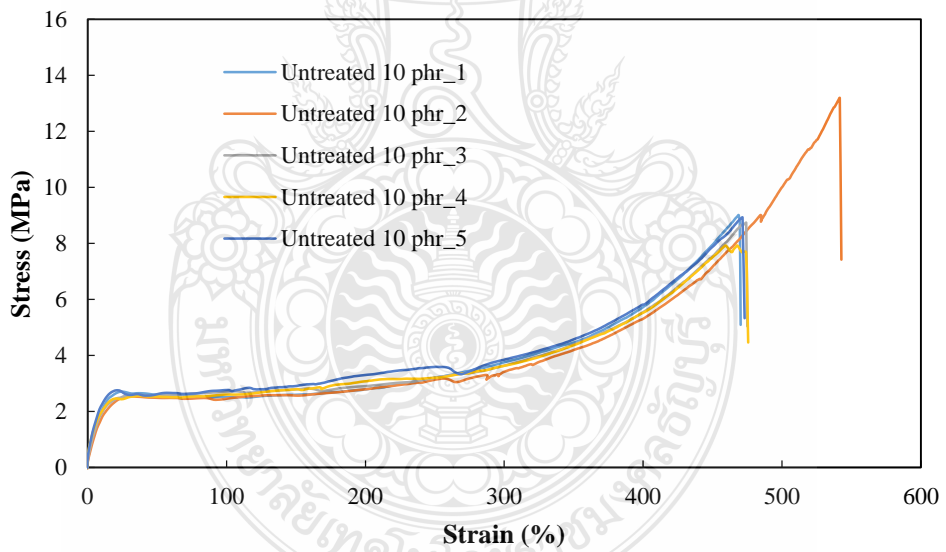


**ภาคผนวก ข**

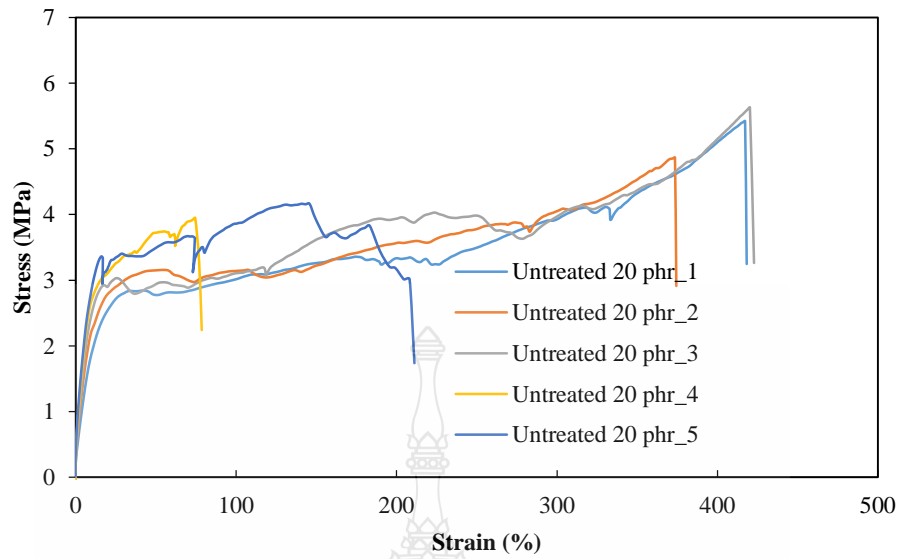
**ข้อมูลการทดสอบคอมพิวเตอร์**



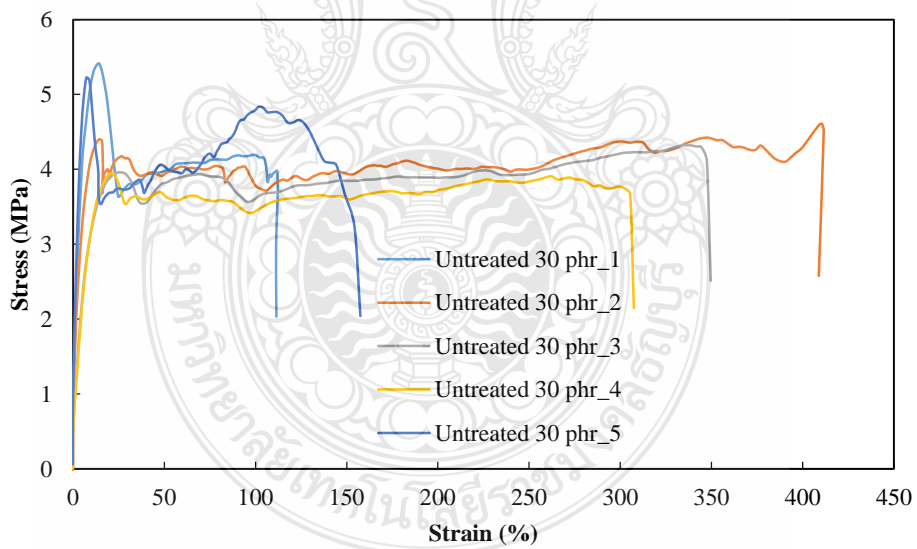
รูปที่ ๑ ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของยางธรรมชาติ



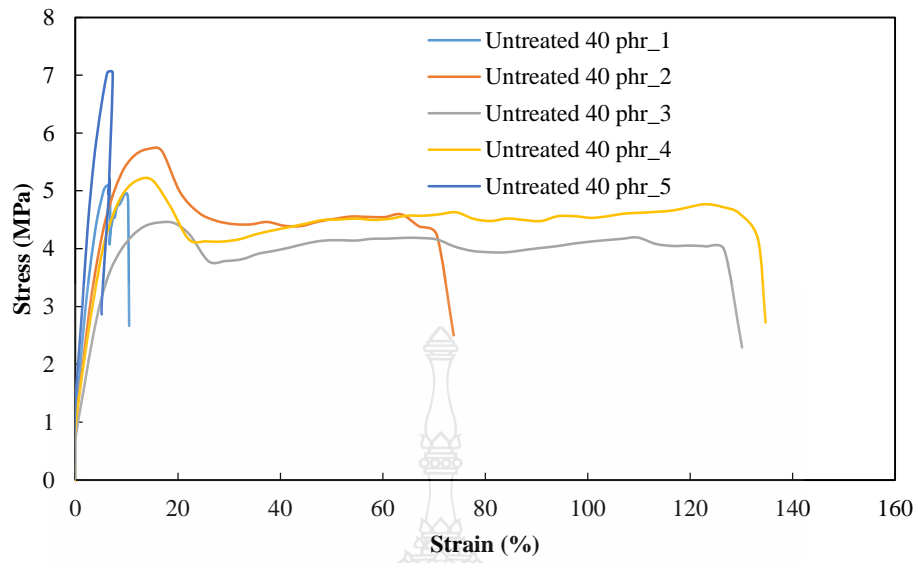
รูปที่ ๒ ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของคอมพอลิเตสเตอร์มแรงด้วยเส้นใยปอกระเจา  
ไม่ปรับปรุงผิว ปริมาณ 10 phr



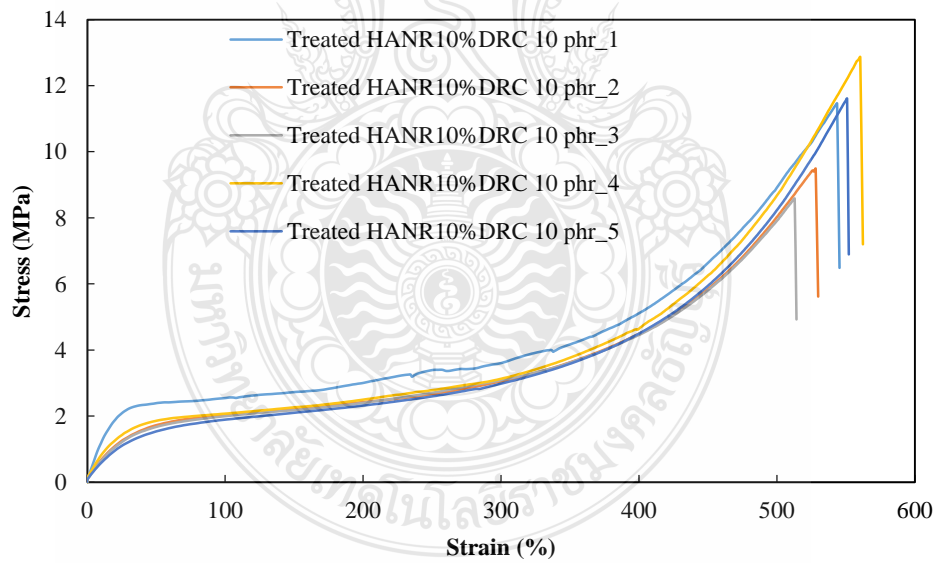
รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยปอกระเจา ไม่ปรับปรุงผิว ปริมาณ 20 phr



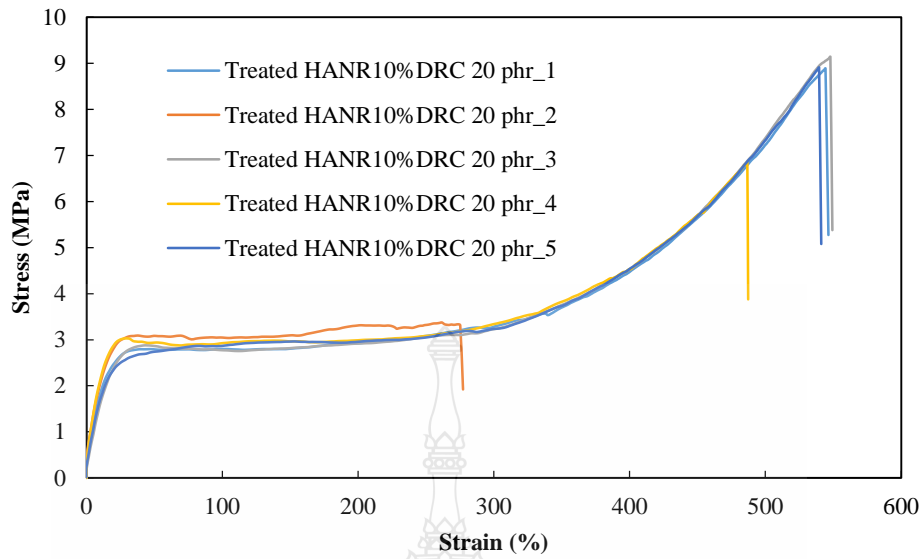
รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยปอกระเจา ไม่ปรับปรุงผิว ปริมาณ 30 phr



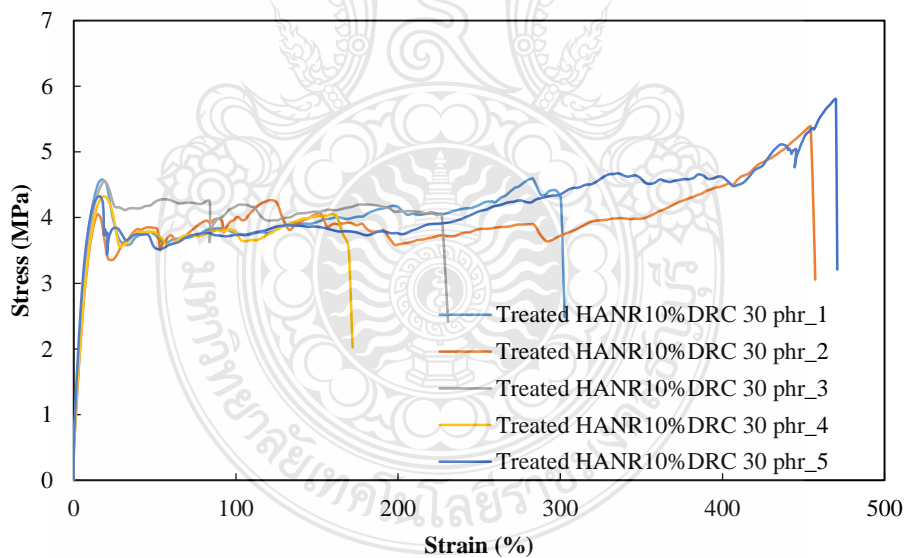
รูปที่ ข 5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยปอกระเจา ไม่ปรับปรุงผิว ปริมาณ 40 phr



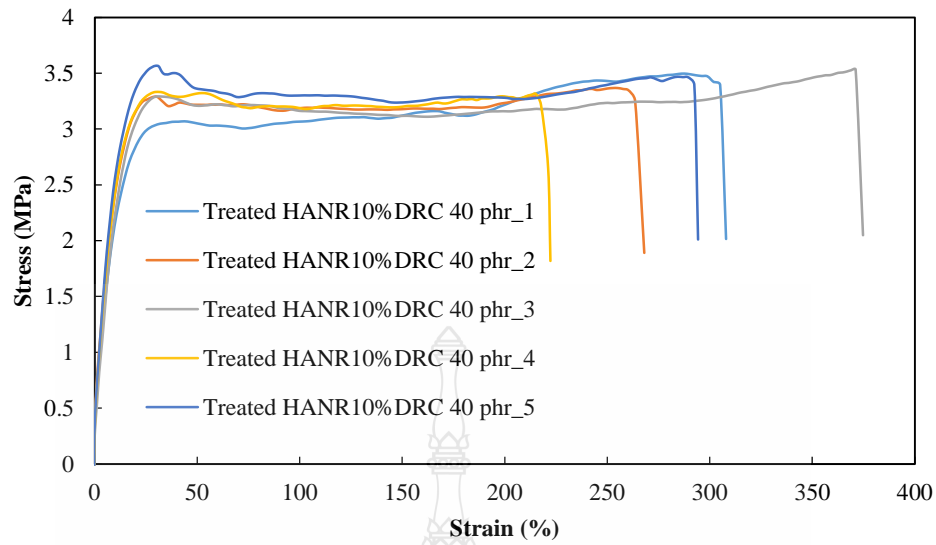
รูปที่ ข 6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยปอกระเจา ปรับปรุงผิวด้วยน้ำยางธรรมชาติความเข้มข้น 10%DRC ปริมาณ 10 phr



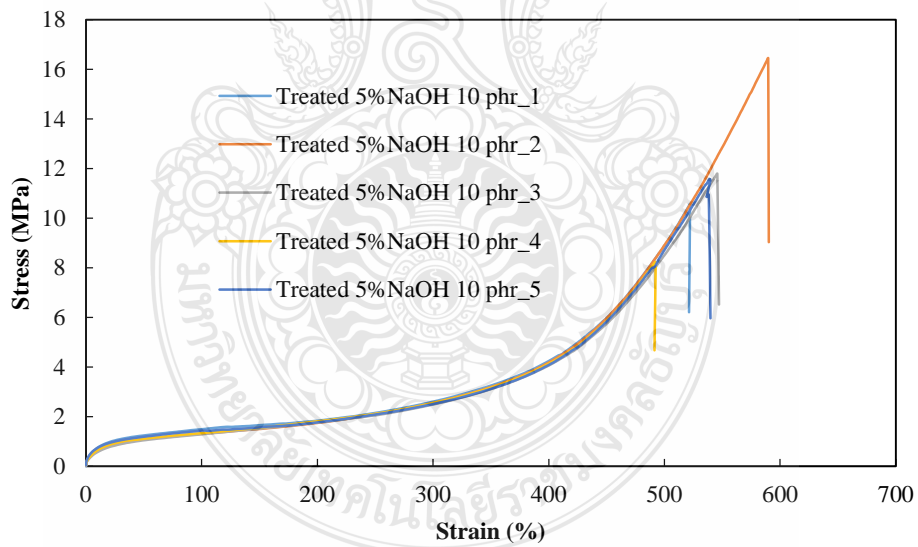
รูปที่ ๗ ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของคอม โพลีดีเอริมแรงด้วยเส้นใยปอกระเจา ปรับปรุงผิวด้วยน้ำยางธรรมชาติความเข้มข้น 10%DRC ปริมาณ 20 phr



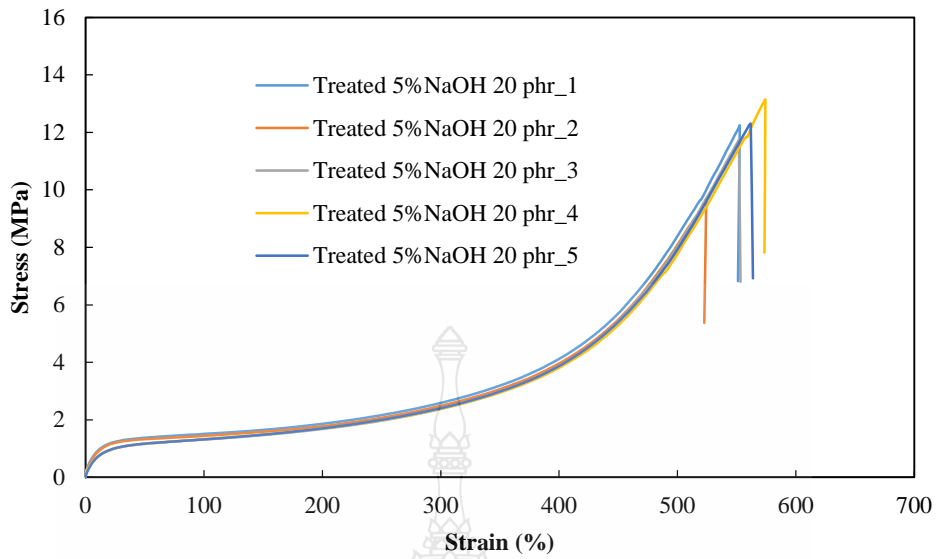
รูปที่ ๘ ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของคอม โพลีดีเอริมแรงด้วยเส้นใยปอกระเจา ปรับปรุงผิวด้วยน้ำยางธรรมชาติความเข้มข้น 10%DRC ปริมาณ 30 phr



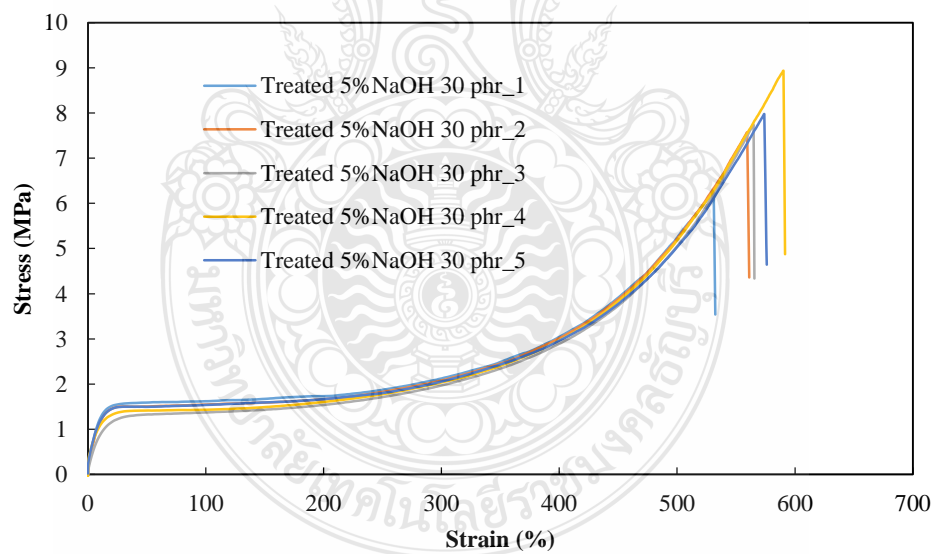
รูปที่ ๙ ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยปอกระเจา  
ปรับปรุงผิวด้วยน้ำยาธรรมชาติความเข้มข้น 10%DRC ปริมาณ 40 phr



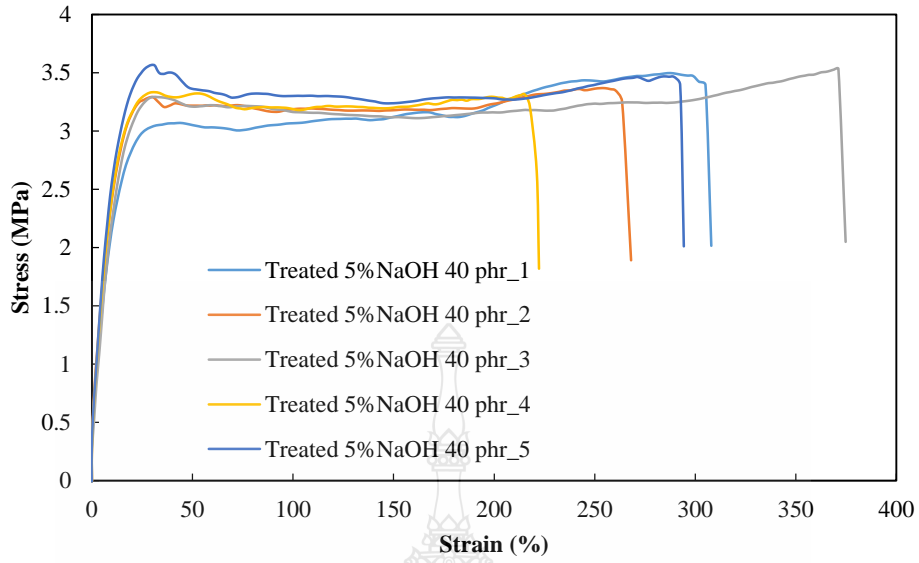
รูปที่ ๑๐ ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยปอกระเจา  
ปรับปรุงผิวด้วย 5%w/w โซเดียมไฮดรอกไซด์ ปริมาณ 10 phr



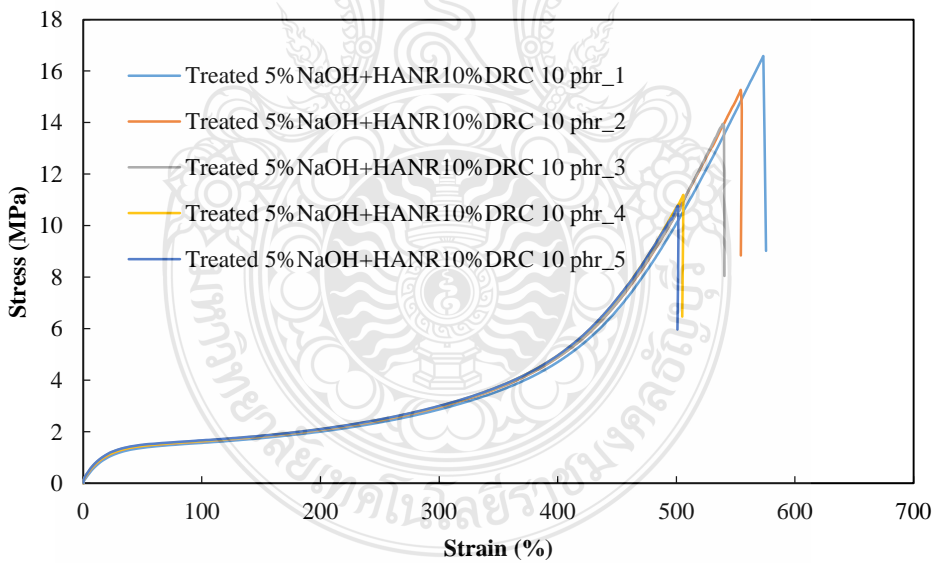
รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยปอกระเจา ปรับปรุงผิวด้วย 5%w/w โซเดียมไฮดรอกไซด์ ปริมาณ 20 phr



รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยปอกระเจา ปรับปรุงผิวด้วย 5%w/w โซเดียมไฮดรอกไซด์ ปริมาณ 30 phr

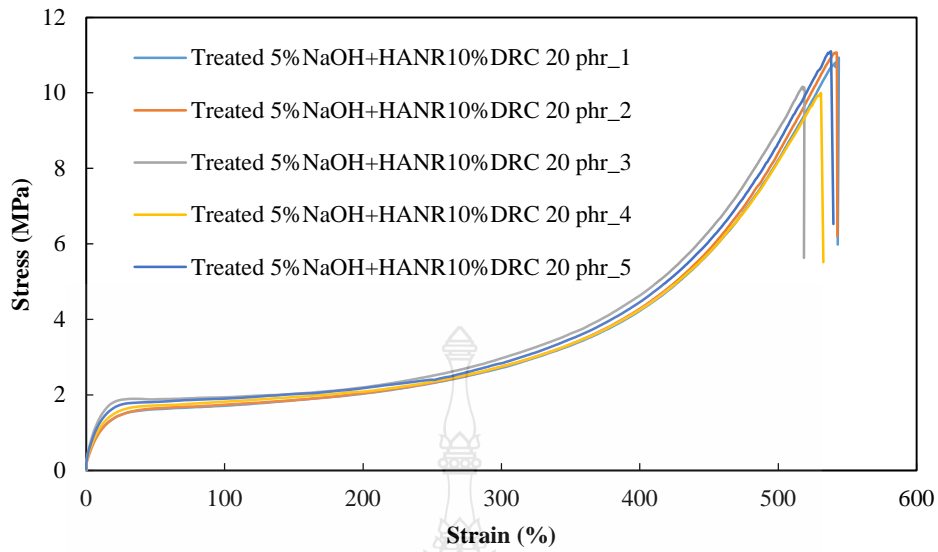


รูปที่ ข 13 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของคอมพอลิทีตเสริมแรงด้วยเส้นใยปอกระเจา  
ปรับปรุงผิวด้วย 5%w/w โซเดียมไฮดรอกไซด์ ปริมาณ 40 phr

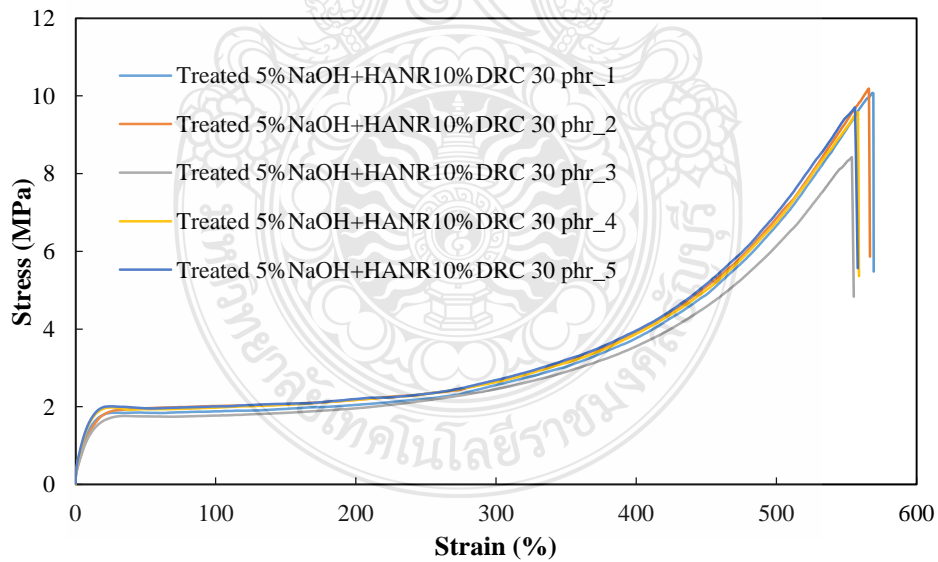


รูปที่ ข 14 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของคอมพอลิทีตเสริมแรงด้วยเส้นใยปอกระเจา  
ปรับปรุงผิวด้วย 5%w/w โซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับน้ำยางธรรมชาติความเข้มข้น 10%DRC ปริมาณ  
10 phr

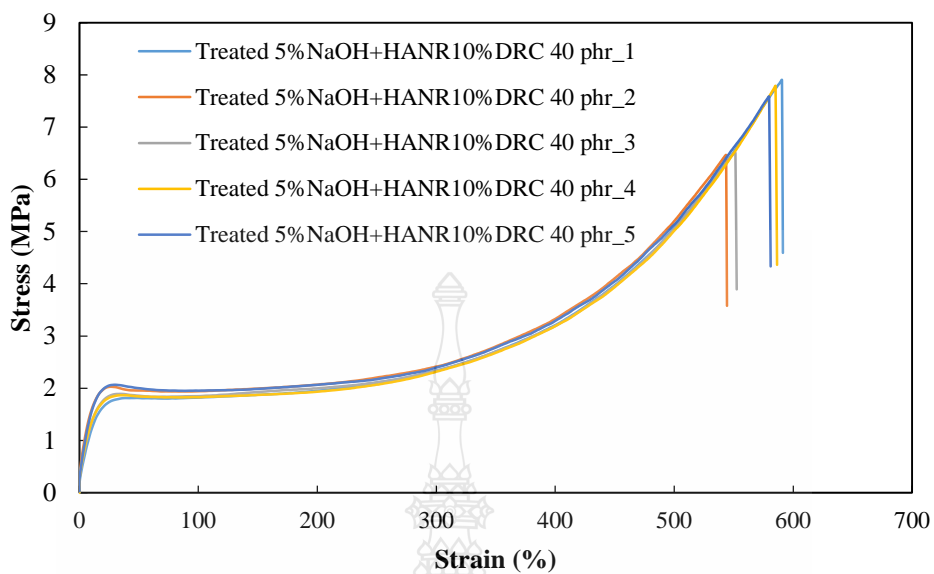




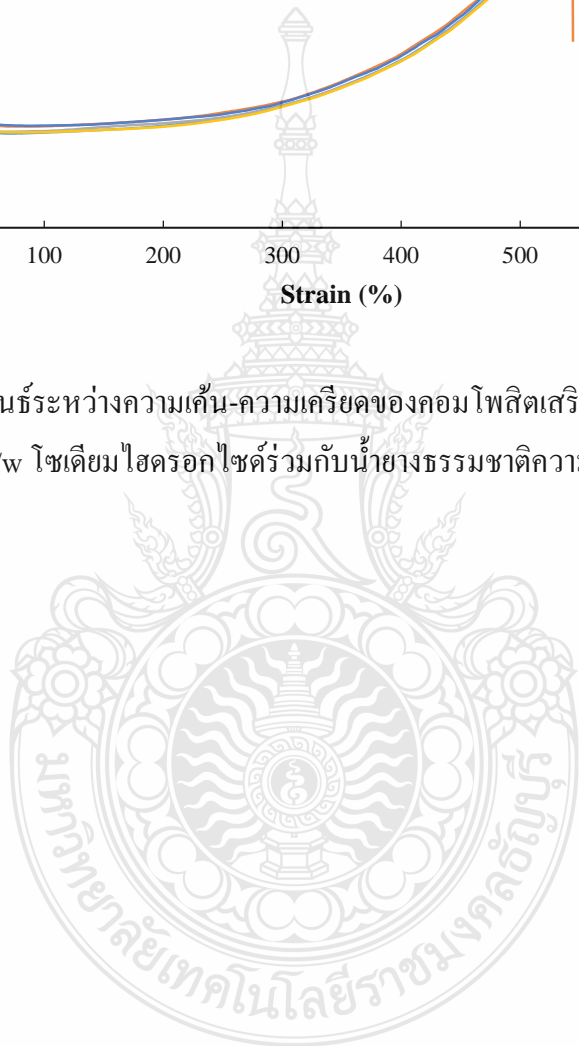
รูปที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยปอกระเจา ปรับปรุงผิวด้วย 5%w/w โซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับน้ำยางธรรมชาติความเข้มข้น 10%DRC ปริมาณ 20 phr



รูปที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยปอกระเจา ปรับปรุงผิวด้วย 5%w/w โซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับน้ำยางธรรมชาติความเข้มข้น 10%DRC ปริมาณ 30 phr



รูปที่ ข 17 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของคอม โพลีเอทิลีนเสริมแรงด้วยเส้นใยปอกระเจา ปรับปรุงผิวด้วย 5%w/w โซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับน้ำยางธรรมชาติความเข้มข้น 10%DRC ปริมาณ 40 phr



ตารางที่ ข 1 สมบัติเชิงกลของคอม โพลีต

ชื่อตัวอย่าง	ชั้นที่	Tensile Strength (MPa)	Elongation at break (%)	Young's Modulus (MPa)
NR 100	1	24.4	654.3	3.729176
	2	22.8	636.4	3.582652
	3	23.9	649.7	3.678621
	4	26.1	663.8	3.931907
	ค่าเฉลี่ย	24.3	651.00	3.730589
Untreated 10 phr	1	9	469.6	1.916525
	2	8.7	474.2	1.834669
	3	7.9	474.1	1.666315
	4	8.9	471.5	1.887593
	ค่าเฉลี่ย	8.625	472.35	1.826275
Untreated 20 phr	1	5.4	417.2	1.294343
	2	4.9	373.5	1.311914
	3	5.6	420.2	1.332699
	4	5.4	403.5	1.33829
	ค่าเฉลี่ย	5.325	403.6	1.319312
Untreated 30 phr	1	4.6	411.5	1.117861
	2	4.3	347.4	1.237766
	3	3.9	305.4	1.277014
	4			
	ค่าเฉลี่ย	4.26	354.76	1.200812
Untreated 40 phr	1	4.5	126.7	3.551697
	2	5.2	133.2	3.903904
	3	-	-	-
	4	-	-	-
	ค่าเฉลี่ย	4.85	129.95	3.732205

ชื่อตัวอย่าง	ชั้นที่	Tensile Strength (MPa)	Elongation at break (%)	Young's Modulus (MPa)
Treated HANR 60%DRC 10 phr	1	8.41	1420.3	0.592128
	2	8.67	1371.2	0.632293
	3	9.12	1378.5	0.661589
	4	9.45	1402.1	0.673989
	ค่าเฉลี่ย	8.9125	1393.025	0.64
Treated HANR 60%DRC 20 phr	1	3.33	954.1	0.34902
	2	4.02	915.5	0.439104
	3	2.97	945.3	0.314186
	4	4.02	900.5	0.446419
	ค่าเฉลี่ย	3.585	928.85	0.387182
Treated HANR 60%DRC 30 phr	1	2.98	702.8	0.424018
	2	2.87	726.4	0.395099
	3	3.25	735.5	0.441876
	4	2.99	723.8	0.413098
	ค่าเฉลี่ย	3.0225	722.125	0.418523
Treated HANR 60%DRC 40 phr	1	2.25	541.2	0.415743
	2	2.21	587.6	0.376106
	3	1.98	603.5	0.328086
	4	1.87	521.3	0.358719
	ค่าเฉลี่ย	2.0775	563.4	0.369663
Treated HANR 10%DRC 10 phr	1	11.5	543.7	2.115137
	2	12.9	560.4	2.301927
	3	11.6	550.9	2.105645
	4	15.6	596.9	2.613503
	ค่าเฉลี่ย	12.9	562.975	2.284053

ชื่อตัวอย่าง	ชั้นที่	Tensile Strength (MPa)	Elongation at break (%)	Young's Modulus (MPa)
Treated HANR 10%DRC 20 phr	1	8.9	544.2	1.635428
	2	9.1	547.8	1.66119
	3	6.8	486.7	1.397165
	4	8.9	539.5	1.649676
	ค่าเฉลี่ย	8.425	529.55	1.585865
Treated HANR 10%DRC 30 phr	1	4.6	300.3	1.531802
	2	5.4	415.3	1.300265
	3	4.6	159.4	2.885822
	4	4.3	441.6	0.973732
	ค่าเฉลี่ย	4.725	329.15	1.672905
Treated HANR 10%DRC 40 phr	1	3.5	305.1	1.147165
	2	3.4	263.6	1.289833
	3	3.5	371.2	0.942888
	4	3.3	221.2	1.491863
	ค่าเฉลี่ย	3.425	290.275	1.217937
Treated 5%NaOH 10 phr	1	10.6	522.2	2.029874
	2	11.8	545.7	2.16236
	3	8.2	492.5	1.664975
	4	11.6	538.3	2.154932
	ค่าเฉลี่ย	10.55	524.675	2.003035
Treated 5%NaOH 20 phr	1	12.2	552.7	2.207346
	2	9.7	524.3	1.850086
	3	11.7	551.9	2.119949
	4	13.1	574.3	2.281038
	ค่าเฉลี่ย	11.675	550.8	2.114605

ชื่อตัวอย่าง	ชั้นที่	Tensile Strength (MPa)	Elongation at break (%)	Young's Modulus (MPa)
Treated 5%NaOH 30 phr	1	6.2	531	1.167608
	2	7.6	559.4	1.358598
	3	7.7	564.9	1.363073
	4	8.9	590.2	1.507963
	ค่าเฉลี่ย	7.6	561.375	1.349311
Treated 5%NaOH 40 phr	1	6.6	578.5	1.140882
	2	7.4	596.4	1.240778
	3	6.9	584.6	1.180294
	4	7.5	586.9	1.277901
	ค่าเฉลี่ย	7.1	586.6	1.209964
Treated 5%NaOH +HANR 10%DRC 10 phr	1	15.9	573.4	2.772933
	2	15.1	555.2	2.719741
	3	12	506.3	2.370136
	4	11.2	505.9	2.213876
	ค่าเฉลี่ย	13.55	535.2	2.519172
Treated 5%NaOH +HANR 10%DRC 20 phr	1	10.9	543.8	2.004413
	2	11.1	542.4	2.04646
	3	10.2	518.9	1.965697
	4	10.5	535.5	1.960784
	ค่าเฉลี่ย	10.675	535.15	1.994339
Treated 5%NaOH +HANR 10%DRC 30 phr	1	10.1	569.2	1.77442
	2	10.2	566	1.80212
	3	9.6	558.2	1.719814
	4	9.7	556.1	1.744291
	ค่าเฉลี่ย	9.9	562.375	1.760161

ชื่อตัวอย่าง	ชั้นที่	Tensile Strength (MPa)	Elongation at break (%)	Young's Modulus (MPa)
Treated 5%NaOH	1	7.9	590.6	1.337623
+HANR 10%DRC 40 phr	2	6.7	543.6	1.232524
	3	6.8	561.2	1.211689
	4	7.8	585.2	1.332878
	ค่าเฉลี่ย	7.3	570.15	1.278678

ตารางที่ ข 2 มอดูลัสของคอมโพสิต

ชื่อตัวอย่าง	ชั้นที่	มอดูลัส						
		10%	50%	100%	200%	300%	400%	500%
NR100	1	0.22	0.63	0.95	1.56	2.47	4.02	8.64
	2	0.22	0.64	0.96	1.58	2.5	4.09	8.88
	3	0.22	0.64	0.96	1.58	2.49	4.04	8.62
	4	0.23	0.65	0.97	1.6	2.52	4.13	8.89
	ค่าเฉลี่ย	0.2225	0.64	0.96	1.58	2.495	4.07	8.7575
Untreated 10 phr	1	2.01	2.61	2.52	2.79	3.76	5.73	-
	2	1.92	2.57	2.71	2.91	3.64	5.54	-
	3	1.99	2.53	2.61	3.08	3.63	5.53	-
	4	2.22	2.62	2.77	3.31	3.85	5.81	-
	ค่าเฉลี่ย	2.035	2.5825	2.6525	3.0225	3.72	5.6525	-
Untreated 20 phr	1	1.89	2.84	3.12	3.33	3.94	5.1	-
	2	2.23	3.15	3.14	3.56	4.06	5.14	-
	3	2.5	2.94	3.11	3.94	3.97	5.11	-
	4	2.22	2.87	3.01	3.62	3.95	5.16	-
	ค่าเฉลี่ย	2.21	2.95	3.095	3.6125	3.98	5.1275	-

ชื่อตัวอย่าง	ชั้นที่	มอดูลัส						
		10%	50%	100%	200%	300%	400%	500%
<b>Untreated 30</b>	<b>1</b>	5.17	3.98	4.21	4.01	4.37	4.3	-
<b>phr</b>	<b>2</b>	3.95	3.93	3.78	3.89	4.21	-	-
	<b>3</b>	4.1	3.82	4.26	3.72	3.76	-	-
	<b>4</b>	3.3	3.8	3.51	-	-	-	-
	<b>ค่าเฉลี่ย</b>	4.13	3.8825	3.94	3.873333	4.113333	4.3	-
<b>Untreated 40</b>	<b>1</b>	4.95	4.51	4.12	-	-	-	-
<b>phr</b>	<b>2</b>	5.45	4.14	4.54	-	-	-	-
	<b>3</b>	4.1	4.5	-	-	-	-	-
	<b>4</b>	5.02	-	-	-	-	-	-
	<b>ค่าเฉลี่ย</b>	4.88	4.383333	4.33	-	-	-	-
<b>Treated</b>	<b>1</b>	1.19	2.39	2.55	3	3.6	5.11	8.91
<b>HANR</b>	<b>2</b>	0.81	1.86	2.07	2.5	3.13	4.64	8.67
<b>10%DRC 10</b>	<b>3</b>	0.58	1.54	1.89	2.32	2.98	4.49	8.23
<b>phr</b>	<b>4</b>	1.11	2.13	2.22	2.48	3.21	4.8	8.67
	<b>ค่าเฉลี่ย</b>	0.9225	1.98	2.1825	2.575	3.23	4.76	8.62
<b>Treated</b>	<b>1</b>	1.83	2.79	2.8	3	3.28	4.47	7.23
<b>HANR</b>	<b>2</b>	1.6	2.86	2.77	2.5	3.23	4.52	7.38
<b>10%DRC 20</b>	<b>3</b>	2.12	2.94	2.93	2.32	3.34	4.53	7.33
<b>phr</b>	<b>4</b>	1.7	2.74	2.87	2.48	3.23	4.53	-
	<b>ค่าเฉลี่ย</b>	1.8125	2.8325	2.8425	2.575	3.27	4.5125	7.313333
<b>Treated</b>	<b>1</b>	3.94	3.73	3.66	4.16	4.3	4.48	-
<b>HANR</b>	<b>2</b>	3.56	3.84	3.99	3.59	3.72	4.61	-
<b>10%DRC 30</b>	<b>3</b>	3.78	4.24	4.17	4.09	4.35	-	-
<b>phr</b>	<b>4</b>	3.61	3.78	3.77	3.76	-	-	-
	<b>ค่าเฉลี่ย</b>	3.7225	3.8975	3.8975	3.9	4.123333	4.545	-



ชื่อตัวอย่าง	ชั้นที่	มอดูลัส						
		10%	50%	100%	200%	300%	400%	500%
<b>Treated HANR</b>	<b>1</b>	2.16	3.05	3.07	3.22	3.45	-	-
<b>10%DRC 40 phr</b>	<b>2</b>	2.42	3.22	3.19	3.23	3.27	-	-
	<b>3</b>	2.24	3.21	3.16	3.16	-	-	-
	<b>4</b>	2.44	3.32	3.19	3.29	-	-	-
	<b>ค่าเฉลี่ย</b>	2.315	3.2	3.1525	3.225	3.36	-	-
	<b>Treated</b>	<b>1</b>	0.74	1.24	1.49	3.22	2.6	4.23
<b>5%NaOH 10 phr</b>	<b>2</b>	0.57	1.04	1.29	3.23	2.48	4.05	8.5
	<b>3</b>	0.65	1.1	1.33	3.16	2.55	4.12	8.71
	<b>4</b>	0.74	1.19	1.43	3.29	2.5	4.07	-
	<b>ค่าเฉลี่ย</b>	0.675	1.1425	1.385	3.225	2.5325	4.1175	8.7
	<b>Treated</b>	<b>1</b>	0.91	1.38	1.51	1.86	2.59	4.11
<b>5%NaOH 20 phr</b>	<b>2</b>	0.87	1.33	1.44	1.78	2.48	3.96	8.09
	<b>3</b>	0.71	1.16	1.31	1.68	2.38	3.85	8.04
	<b>4</b>	0.72	1.17	1.33	1.7	2.38	3.8	7.76
	<b>ค่าเฉลี่ย</b>	0.8025	1.26	1.3975	1.755	2.4575	3.93	8.07
	<b>Treated</b>	<b>1</b>	1.22	1.59	1.62	1.73	2.12	3.04
<b>5%NaOH 30 phr</b>	<b>2</b>	1.15	1.5	1.55	1.67	2.08	3.01	5.22
	<b>3</b>	0.86	1.33	1.37	1.54	1.97	2.89	5.05
	<b>4</b>	1.07	1.42	1.43	1.6	2.04	2.96	5.18
	<b>ค่าเฉลี่ย</b>	1.075	1.46	1.4925	1.635	2.0525	2.975	5.1725
	<b>Treated</b>	<b>1</b>	0.93	1.47	1.51	1.63	1.98	2.72
<b>5%NaOH 40 phr</b>	<b>2</b>	0.93	1.55	1.57	1.71	2.04	2.79	4.46
	<b>3</b>	1.1	1.63	1.65	1.74	2.08	2.84	4.46
	<b>4</b>	1.2	1.59	1.6	1.74	2.09	2.91	4.71
	<b>ค่าเฉลี่ย</b>	1.04	1.56	1.5825	1.705	2.0475	2.815	4.495

ชื่อตัวอย่าง	ชั้นที่	มอดูลัส						
		10%	50%	100%	200%	300%	400%	500%
Treated	1	0.64	1.37	1.57	2	2.86	4.7	10.08
5%NaOH	2	0.72	1.45	1.62	2.06	2.95	4.88	10.48
+HANR	3	0.76	1.47	1.63	2.07	2.97	4.89	10.48
10%DRC 10 phr	4	0.74	1.45	1.64	2.1	2.99	4.95	10.7
	ค่าเฉลี่ย	0.715	1.435	1.615	2.0575	2.9425	4.855	10.435
Treated	1	1.05	1.62	1.71	2.03	2.71	4.22	8.22
5%NaOH	2	1.03	1.64	1.74	2.04	2.74	4.28	8.4
+HANR	3	1.41	1.88	1.94	2.2	2.97	4.63	9.02
10%DRC 20 phr	4	1.14	1.72	1.82	2.09	2.75	4.25	8.18
	ค่าเฉลี่ย	1.1575	1.715	1.8025	2.09	2.7925	4.345	8.455
Treated	1	1.43	1.85	1.88	2.05	2.56	3.76	6.66
5%NaOH	2	1.33	1.96	2.02	2.18	2.66	3.92	6.85
+HANR	3	1.58	1.94	1.98	1.96	2.63	3.87	6.75
10%DRC 30 phr	4	1.62	1.96	2.01	2.18	2.69	3.96	6.97
	ค่าเฉลี่ย	1.49	1.9275	1.9725	2.0925	2.635	3.8775	6.8075
Treated	1	1.2	1.81	1.82	1.95	2.34	3.2	5.07
5%NaOH	2	1.57	1.96	1.94	2.07	2.41	3.32	5.2
+HANR	3	1.33	1.86	1.85	2	2.34	3.19	5.05
10%DRC 40 phr	4	1.34	1.84	1.83	1.93	2.32	3.18	5.02
	ค่าเฉลี่ย	1.36	1.8675	1.86	1.9875	2.3525	3.2225	5.085

ตารางที่ ข 2 สมบัติการบวมตัวและค่า Interaction

ชื่อตัวอย่าง	ชั้นที่	Q	Qf/Qg	1/Q
NR 100	1	3.138167	0.983761	0.318657
	2	3.221301	1.009822	0.310434
	3	3.210454	1.006421	0.311482
	ค่าเฉลี่ย	3.18977	1.000001	0.313524
Untreated 10 phr	1	2.880056	0.902847	0.347215
	2	2.894118	0.907255	0.345528
	3	2.874083	0.900975	0.347937
	ค่าเฉลี่ย	2.882752	0.903693	0.346894
Untreated 20 phr	1	2.69213	0.843936	0.371453
	2	2.724793	0.854175	0.367
	3	2.635358	0.826139	0.379455
	ค่าเฉลี่ย	2.684094	0.841417	0.372636
Untreated 30 phr	1	1.92217	0.602567	0.520245
	2	1.937709	0.607438	0.516073
	3	1.945671	0.609934	0.513962
	ค่าเฉลี่ย	1.935183	0.606646	0.51676
Untreated 40 phr	1	1.47356	0.461935	0.678629
	2	1.47108	0.461158	0.679773
	3	1.444554	0.452843	0.692255
	ค่าเฉลี่ย	1.463065	0.458645	0.683552
Treated HANR 10%DRC 10 phr	1	3.01616	0.945513	0.331547
	2	3.040195	0.953048	0.328926
	3	2.998334	0.939925	0.333519
	ค่าเฉลี่ย	3.01823	0.946162	0.331331

ชื่อตัวอย่าง	ชั้นที่	Q	Qf/Qg	1/Q
<b>Treated HANR 10%DRC</b> <b>20 phr</b>	1	2.41702	0.757694	0.413733
	2	2.371636	0.743466	0.42165
	3	2.316914	0.726312	0.431609
	ค่าเฉลี่ย	2.368523	0.742491	0.42233
<b>Treated HANR 10%DRC</b> <b>30 phr</b>	1	2.137177	0.669968	0.467907
	2	2.118705	0.664177	0.471986
	3	2.061119	0.646125	0.485173
	ค่าเฉลี่ย	2.105667	0.66009	0.475022
<b>Treated HANR 10%DRC</b> <b>40 phr</b>	1	1.782232	0.558699	0.561094
	2	1.797886	0.563606	0.556209
	3	1.758918	0.55139	0.568531
	ค่าเฉลี่ย	1.779679	0.557898	0.561945
<b>Treated 5% NaOH 10 phr</b>	1	3.02103	0.94704	0.331013
	2	3.04497	0.954545	0.328411
	3	3.027933	0.949204	0.330258
	ค่าเฉลี่ย	3.031311	0.950263	0.329894
<b>Treated 5% NaOH 20 phr</b>	1	2.930206	0.918569	0.341273
	2	2.937808	0.920952	0.34039
	3	2.941184	0.92201	0.339999
	ค่าเฉลี่ย	2.9364	0.92051	0.340554
<b>Treated 5% NaOH 30 phr</b>	1	3.026722	0.948825	0.33039
	2	3.017768	0.946018	0.331371
	3	3.028593	0.949411	0.330186
	ค่าเฉลี่ย	3.024361	0.948084	0.330649

ชื่อตัวอย่าง	ชั้นที่	Q	Qf/Qg	1/Q
<b>Treated 5% NaOH 40 phr</b>	1	3.012793	0.944458	0.331918
	2	3.00662	0.942523	0.332599
	3	3.043915	0.954214	0.328524
	ค่าเฉลี่ย	3.021109	0.947065	0.331014
<b>Treated 5%NaOH+HANR 10%DRC 10 phr</b>	1	3.054567	0.957554	0.327379
	2	3.043734	0.954158	0.328544
	3	3.042423	0.953747	0.328685
	ค่าเฉลี่ย	3.046908	0.955153	0.328203
<b>Treated 5%NaOH+HANR 10%DRC 20 phr</b>	1	2.98823	0.936758	0.334646
	2	3.003849	0.941654	0.332906
	3	2.985282	0.935834	0.334977
	ค่าเฉลี่ย	2.992454	0.938082	0.334176
<b>Treated 5%NaOH+HANR 10%DRC 30 phr</b>	1	2.987352	0.936483	0.334745
	2	3.016008	0.945466	0.331564
	3	3.015359	0.945262	0.331635
	ค่าเฉลี่ย	3.00624	0.942404	0.332648
<b>Treated 5%NaOH+HANR 10%DRC 40 phr</b>	1	3.125277	0.97972	0.319972
	2	3.114732	0.976414	0.321055
	3	3.200624	1.00334	0.312439
	ค่าเฉลี่ย	3.146878	0.986491	0.317822



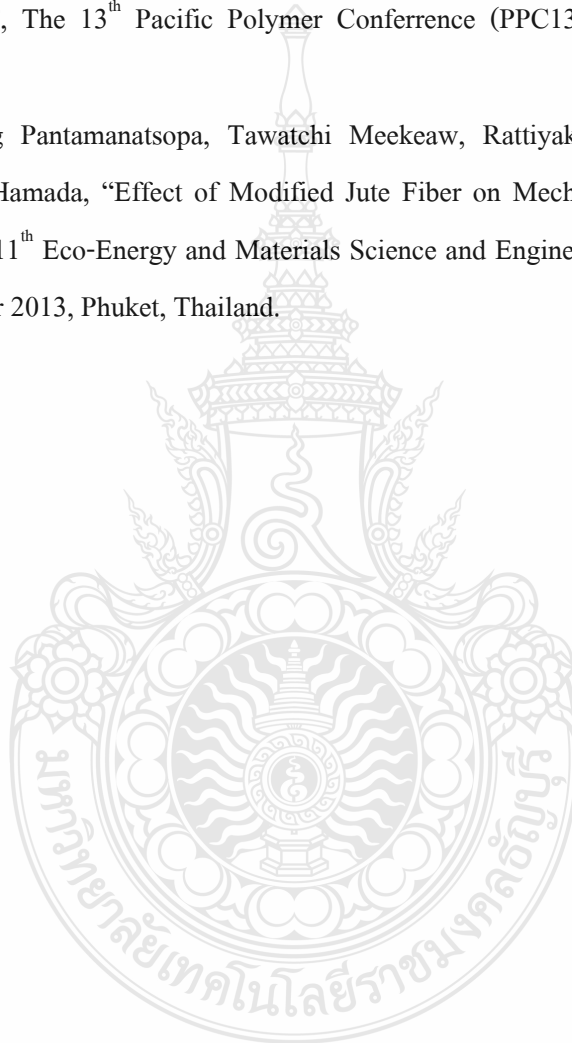
ภาคผนวก ค

ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่

## ผลงานวิจัยในงานประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ (National and International Conferences)

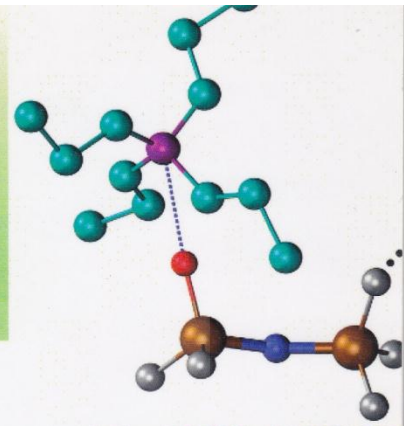
1. Pruttipong Pantamanatsopa, Tawatchi Meekeaw, Warunee Klinklai and Hiroyuki Hamada, “Improvement in Mechanical Properties of Green Rubber Composite Reinforced with Modified Jute Fiber”, The 13<sup>th</sup> Pacific Polymer Conference (PPC13), 17-22 November 2013, Kaohsiung, Taiwan.

2. Pruttipong Pantamanatsopa, Tawatchi Meekeaw, Rattiyakorn Suthamyong, Ketsara Arrub and Hiroyuki Hamada, “Effect of Modified Jute Fiber on Mechanical Properties of Green Rubber Composite”, 11<sup>th</sup> Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium (EMSES 11<sup>th</sup>), 18-21 December 2013, Phuket, Thailand.



Abstract Book

11<sup>th</sup>  
Eco-Energy and  
Materials  
Science and  
Engineering  
Symposium



Energy Technology, Environmental and Social Impact, Nanotechnology and Material Technology, Energy Economic and Management, Nuclear Technology, New Technology, Automotive Composite, and Other  
■ Topics related to Energy Field.

Organized by



December 18-21, 2013  
Phuket Graceland Resort and Spa  
Phuket, Thailand

Co-organized by



Sponsored by





**International Scientific Advisory Committee:**

<b>General Chair:</b>	
Assoc.Prof.Dr. Prasert PINPATHOMRAT	RMUTT, Thailand
<b>General Co-Chair:</b>	
Prof. Dr. Kiyoshi YOSHIKAWA	Kyoto Uni., Japan
<b>Organizing Chair:</b>	
Asst. Prof. Dr. Sommai PIVSA-ART	RMUTT, Thailand
Prof. Dr. Takeshi YAO	Kyoto Uni., Japan
<b>Organizing Co-Chair:</b>	
Prof. Dr. Hideaki OHGAKI	Kyoto Uni., Japan
<b>International Scientific Committees:</b>	
Prof. Dr. Susumu YOSHIKAWA	Kyoto Uni., Japan
Prof. Dr. Phadungsak RATTANADECHO	TU, Thailand
Prof. Dr. Shiro SAKA	Kyoto Uni., Japan
Prof. Dr. Hitomi OHARA	KIT, Japan
Prof. Dr. Hideki YAMANE	KIT, Japan
Prof. Dr. Hiroyuki HAMADA	KIT, Japan
Prof. Dr.-Ing. Habil Ingo STADLER	FH Koeln, Germany
Prof. Dr. Young S. CHAI	Korea
Prof. Dr. Nipon TANGTHAM	KU, Thailand
Prof. Dr. Masayoshi OKUBO	Osaka Uni, Japan
Prof. Dr. Somchai WONGWISES	KMITL, Thailand
Prof. Dr. Nadarajah MITHULANANTHAN	UQ, Australia
Prof. Dr. Yasuaki KISHIMOTO	Kyoto Uni., Japan
Prof. Dr. Yuichi ANADA	Hokkaido Info. Uni., Japan
Prof. Dr. Narongrit SOMBATSOMPOP	KMUTT, Thailand
Assoc. Prof. Dr. Numyoot SONGTHANAPITAK	RMUTL, Thailand
Assoc. Prof. Dr. Bandit FUNGTAMMASAN	KMUTT, Thailand
Assoc. Prof. Dr. Ken KOKUBO	Osaka Uni., Japan
Assoc. Prof. Dr. K. Srinivas REDDY	IIT-Madras, India
Assoc. Prof. Dr. David Jan COWAN	IUPUI, USA
Assoc. Prof. Dr. Per B ZETTERLUND	Australia
Assoc. Prof. Dr. Vijit KINNARES	KMITL, Thailand
Assoc. Prof. Dr. Yoshikazu SUZUKI	Tsukuba Uni., Japan
Assoc. Prof. Dr. Kaan KERDCHEUN	RMUTI, Thailand
Assoc. Prof. Dr. Wakin PIYARAT	SWU, Thailand
Assoc. Prof. Dr. Seiichi KAWAHARA	Nakaoga Uni., Japan
Assoc. Prof. Dr. Wissanu PECHARAPA	KMITL, Thailand
Asst. Prof. Dr. Somchai HIRANVAROMDOM	RMUTT, Thailand
Asst. Prof. Dr. Wanchai SUBSINGHA	RMUTT, Thailand
Asst. Prof. Dr. Thanapong SUWANNASRI	KMUTNB, Thailand
Asst. Prof. Dr. Napaporn PHUANGPORNPIITAK	KU, Thailand
Asst. Prof. Dr. Boonrit PRASARTKAEW	RMUTT, Thailand

## 11<sup>th</sup> EMSES 2013

Asst. Prof. Dr. Supakit SUTTIRUENGWONG	SU, Thailand
Asst. Prof. Dr. Vallop PHUPA	RMUTP, Thailand
Asst. Prof. Dr. Pramook UNAHALEKHAKA	RMUTSB, Thailand
Asst. Prof. Dr. Arthit SODE-YOME	EGAT, Thailand
Asst. Prof. Dr. Yuttana KAMSUWAN	Chaimai Uni., Thailand
Asst. Prof. Dr. Jakkree SRINONCHAT	RMUTT, Thailand
Asst. Prof. Dr. Uthen KAMNAN	RMUTL, Thailand
Asst. Prof. Dr. Cattariya SUWANNASRI	KMUTNB, Thailand
Dr. Sei-ichi AIBA	AIST, Japan
Dr. Nuvong CHOLLACOOP	MTEC, Thailand
Dr. Wirachai ROYNARIN	RMUTT, Thailand
Dr. Chatchai SOPPAPITAKSAKUL	RMUTT, Thailand
Dr. Pinit SRITHORN	RMUTI, Thailand
<b>ASEAN Committee:</b>	
Prof. Dr. Yoyok Wahyu Subroto	UGM, Indonesia
Prof. Dr. Wega TRISUNAYANTI	UGM, Indonesia
Prof. Dr. Tumiran	UGM, Indonesia
Prof. Dr. Jun LI	NYU, Singapore
Prof. Dr. INTHAN	ITB, Indonesia
Prof. Dr. Khamphone NANTHAVONG	NOL, Laos
Prof. Dr. Kampui SOUTHISOMBHAT	NOL, Laos
Prof. Dr. Yew Wei LEONG	NYU, Singapore
Prof. Dr. Nguyen Minh TAN	HU, Vietnam
<b>General Secretary:</b>	
Asst. Prof. Dr. Krischonme BHUMKITTIPICH	RMUTT, Thailand
Dr. Sumonman NIAMLANG	RMUTT, Thailand
<b>Technical Program Chair:</b>	
Asst. Prof. Dr. Krischonme BHUMKITTIPICH	RMUTT, Thailand
<b>Area: Energy Technology (ET)</b>	
Asst. Prof. Dr. Boonrit PRASARTKAEW	RMUTT, Thailand
<b>Area: Environmental and Social Impact (ES)</b>	
Dr. Nithiwat CHOOSAKUL	RMUTT, Thailand
<b>Area: Nanotechnology and Materials Science (NM)</b>	
Asst. Prof. Dr. Warunee ARIYAWIRIYANANT	RMUTT, Thailand
<b>Area: Energy Economic and Management (EM)</b>	
Dr. Surin NGAEMNGAM	RMUTT, Thailand
Dr. Pimnapat IEMSOMBOON	RMUTT, Thailand
<b>Area: New Energy Technology (NT)</b>	
Dr. Kiyooki ISHIMOTO	RMUTT, Thailand
<b>Area: Nuclear Technology (NU)</b>	
Prof. Dr. Hideaki OHGAKI	Kyoto Uni., Japan
<b>Area: Automotive Composite (AC)</b>	
Prof. Dr. Hiroyuki HAMADA	Kyoto Uni., Japan

## 11<sup>th</sup> EMSES 2013

---

### Area:

#### Exhibition Chair:

Asst.Prof.Dr. Amnoiy REUNGWAREE RMUTT, Thailand  
Dr. Winai CHANPENG RMUTT, Thailand

#### Local Arrangement Chair

Dr. Sorapong PAVASUPREE RMUTT, Thailand  
Dr. Natee SRISAWAT RMUTT, Thailand

#### Registration and Finance Chair

Dr. Sumonman NIAMLANG RMUTT, Thailand  
Dr. Supaporn THOMSORN RMUTT, Thailand  
Weeraporn PIVSA-ART RMUTT, Thailand

#### Publicity Chair

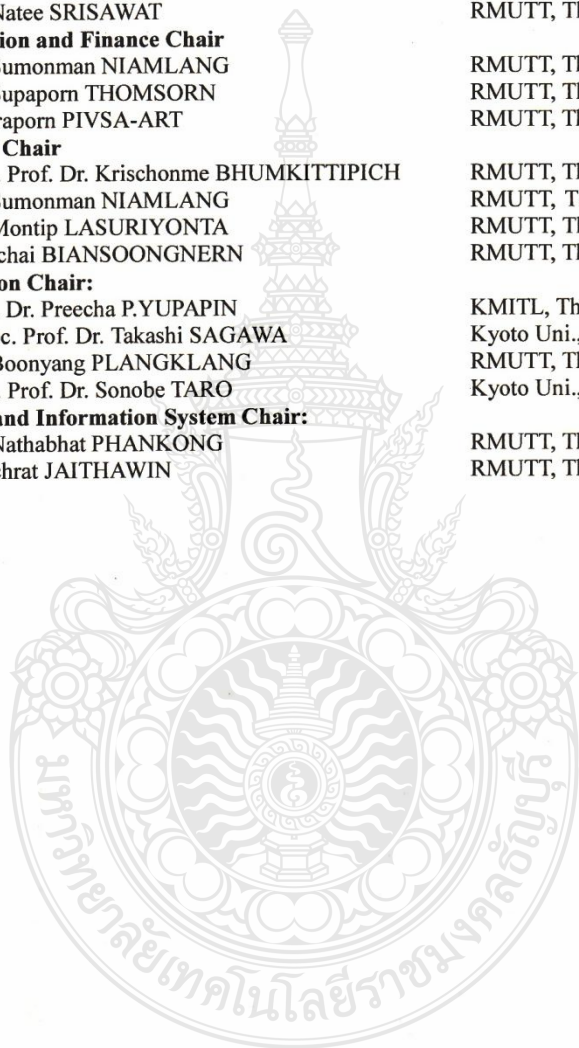
Asst. Prof. Dr. Krischonme BHUMKITTIPICH RMUTT, Thailand  
Dr. Sumonman NIAMLANG RMUTT, Thailand  
Dr. Montip LASURIYONTA RMUTT, Thailand  
Somchai BIANSONGNERN RMUTT, Thailand

#### Publication Chair:

Prof. Dr. Preecha P.YUPAPIN KMITL, Thailand  
Assoc. Prof. Dr. Takashi SAGAWA Kyoto Uni., Japan  
Dr. Boonyang PLANGKLANG RMUTT, Thailand  
Asst. Prof. Dr. Sonobe TARO Kyoto Uni., Japan

#### Website and Information System Chair:

Dr. Nathabhat PHANKONG RMUTT, Thailand  
Deachrat JAITHAWIN RMUTT, Thailand



CONTENT

<b>NM85</b>	Influence of milling time, NH <sub>3</sub> additive and annealing temperature on physical properties of modified commercial TiO <sub>2</sub> powders via ball milling process <i>Wicharn Techitdheera, Jiravat Rattanarak, Wanichaya Mekprasart and Wisanu Pecharapa</i>	109
<b>NM86</b>	Characterization of ZnO:Sn nanopowders synthesized by co-precipitation method <i>W. Mekprasart, R. Noonuruk, P. Junlabhut, K. Chongsri and W. Pecharapa</i>	110
<b>NM87</b>	Effect of tin loading on physical properties and phase transformation of as-synthesized Zn-Sn-O compound powder synthesized by co-precipitation method <i>Chokchai Kahattha</i>	111
<b>NM88</b>	Raman and XPS studies of N-TiO <sub>2</sub> electrospun nanofibers <i>S. Suphankij, W. Mekprasart and W. Pecharapa</i>	112
<b>NM89</b>	Preparation of IR Reflective Green Pigment <i>T. Thongkanluang, P. Limsuwan and P. Rakkwamsuk</i>	113
<b>NM90</b>	Effect of Modified Jute Fiber on Mechanical Properties of Green Rubber Composite <i>Pruttipong Pantamanatsopa, Warunee Ariyawiriyanan, Tawatchi Meekeaw, Rattiyakorn Suhamyong, Ketsara Arrub, and Hiroyuki Hamada</i>	114
<b>NM91</b>	Thermal behavior of vulcanized deproteinized natural rubber nano-composites <i>Noppawan Pipattananukul, Kewwarin Sae-hang, Warunee Ariyawiriyanan and Seiichi Kawahara</i>	115
<b>NM92</b>	Study Reactivity ratios of graft Copolymer onto Natural Rubber latex in Emulsion Polymerization by <sup>1</sup> H NMR <i>Phutthinan Tochip, Warunee ariyawiriyanan and Seiichi Kawahara</i>	116
<b>NM93</b>	Effects of Poly(ethylene glycol) on Polymer blends of Poly(lactic acid) and Poly(butylenes succinate) <i>Weraporn Pivsa-Art, Arnat Sudwisai, Rungmapha Rukthom, Woramun Mueangmonprasert, Hideki Yamane and Hitomi Ohara</i>	117



*The 11<sup>th</sup> Eco-Energy and Materials Science  
and Engineering Symposium*



*December 18 – 21, 2013  
Phuket, Thailand*

*Present this honor certificate to*

*Pruttipong Pantamanatsopa, Warunee Ariyawiriyanan,  
Tawatchi Meekeaw, Rattiyakorn Suthamyong, Ketsara Arrub  
and Hiroyuki Hamada*

*for your kind participation on titled of*

*“Effect of Modified Jute Fiber on Mechanical Properties of Green Rubber  
Composite”*

*P. pinpathomrat.*

*Prasert PINPATHOMRAT, Ph.D.  
Chairman of 11<sup>th</sup> EMSES 2013  
President, RMUTT*

*Hideaki OHGAKI*

*Hideaki OHGAKI, Ph.D.  
Organizing Co-Chair of 11<sup>th</sup> EMSES 2013  
Kyoto University*



Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

ScienceDirect

Energy Procedia 56 (2014) 641 – 647

Energy

Procedia

11th Eco-Energy and Materials Science and Engineering (11th EMSES)

## Effect of Modified Jute Fiber on Mechanical Properties of Green Rubber Composite

Pruttipong Pantamanatsopa<sup>a</sup>, Warunee Ariyawiriyanan<sup>a\*</sup>, Tawatchai Meekeaw<sup>a</sup>,  
Rattiyakorn Suthamyong<sup>a</sup>, Ketsara Arrub<sup>a</sup> and Hiroyuki Hamada<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Department of Materials and Metallurgical Engineering, Faculty of Engineering,  
Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Klong 6, Thanyaburi, Patumthani 12110

<sup>b</sup> Department of Textile Science, Kyoto Institute of Technology, Matsugasaki, Sakyo-Ku, Kyoto 606, Japan

### Abstract

Green rubber composites can be tailored made to suit applications with desired properties by incorporating particulate natural fibers into a rubber matrix. The effect of fibers content filled in natural rubber (NR) green composite on mechanical properties has been studied. The jute fiber loading in natural rubber were 0, 10, 20 and 40 wt%. The rubber green composite compounding was prepared by using two roll mills and then molded by hot compression molding technique. The resulted suggested that increasing filler content tended to increased modulus and hardness but decreased Tensile strength of the composite. Compared between NR/Jute-untreated and NR/jute treated. The results showed that NR/jute untreated can improve mechanical properties of composite more than NR/jute treated HANR. This may be due to distribution of fiber may effect to improve mechanical properties of composite in this study.

© 2014 Elsevier Ltd. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license  
(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/>).

Peer-review under responsibility of COE of Sustainable Energy System, Rajamangala University of Technology Thanyaburi (RMUTT)

**Keywords:** green rubber composite, modified jute fiber, natural fiber, mechanical properties

\* Corresponding author. Tel.: +662-549-3484-5; fax: +662-577-5026.  
E-mail address: [warunee.a@en.rmutt.ac.th](mailto:warunee.a@en.rmutt.ac.th)

1876-6102 © 2014 Elsevier Ltd. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license  
(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/>).

Peer-review under responsibility of COE of Sustainable Energy System, Rajamangala University of Technology Thanyaburi (RMUTT)  
doi:10.1016/j.egypro.2014.07.203

## 1. Introduction

For economic and environmental reason, rubber composite reinforced with natural fiber are of interesting in industrial field because of easy processing, low cost and light weight. It is known that natural plant fibers are regarded as an agricultural waste that suggested cheap and environmental friendly filler derived from a plenty renewable resource in Thailand. These composite exhibit combined behavior of the soft, elastic rubber matrix, and the stiff strong fibrous reinforcement. Therefore, rubber composite reinforced with natural fiber is still under development to provide a variety of products with the target to reduce cost and maintaining their desired properties. The disadvantage of incorporation of natural fiber into rubber matrix is a poor in interfacial adhesion due to the hydrophilic nature of natural fiber that is to be used as reinforcement with hydrophobic nature of rubber matrix. Furthermore, these composite are also associated with agglomeration as a result of insufficient dispersion. One of the most important aspects of composite manufacturer is to achieve adequate adhesion between fiber and rubber matrix [1-4].

Many strategies of surface modifications aiming to improve the compatibility between cellulose fibres and matrices were reviewed [5]. The chemical modification using coupling agents or establishment of covalent bonding between fibres and matrix have also been investigated. This may leading to materials with high mechanical properties.

In this study, green composite of natural rubber and natural fiber were prepared with various filler contents. Effect of fiber loading and surface treatment on the interfacial adhesion between fiber and rubber and mechanical properties is observed.

## 2. Experimental

### 2.1. Materials

Natural rubber (NR) grade STR20 was supplied by Thai Hua Rubber Co. Ltd. High Ammonia Natural rubber (HANR) latex, Deproteinized natural rubber (DPNR) latex, stearic acid, zinc oxide (ZnO), oil, benzothiazyl disulfide (MBTS), diphenyl guanidine (DPG), antioxidant, sulfur, and sulfuric acid ( $H_2SO_4$ ). Jute roving having an average diameter of 0.8 mm were supported by KIT, Japan. The fiber lengths of 1 cm and fiber loading of 10, 20, and 40 wt% respectively, were used in this study.

### 2.2. Surface modification of jute fiber

The jute fiber were washed with water and dried at 50°C for 24 hours in oven and pretreated by 0.1%  $H_2SO_4$  solution for 1 hour and washed with water 2-3 times. Then the cleaned fiber were surface modified by soaking in HANR or DPNR latex for 1 hour and dried at 50°C for 24 hours in oven Then the modified fiber were cut in length of 1 cm.

### 2.3. Preparation of deproteinized natural rubber (DPNR)

HANR latex was incubated with 0.1 wt% urea in the presence of 1.0 wt% SDS solution for 1 hr. at the ambient temperature. The centrifugation was used to separate the cream fraction, which was redispersed in 1.0 wt% SDS solution. Then, the cream fraction was washed twice with 0.5 and 0.1 wt% SDS solution respectively.

### 2.4. Preparation of green rubber composites compounding

The rubber composite was prepared by compounding of rubber with fiber according to formulations shown in table 1.

Table 1. Formulation of green rubber composite.

Component	Content (phr)
Natural Rubber (STR20)	100
Stearic acid	1
ZnO	5
Oil	4
MBTS	0.5
DPG	0.5
Antioxidant	1
Sulfur	3
Jute fiber (Un-treatment and treatment)	0,10,20 and 40

Moisture content of fiber was measured by Moisture Analyzer, Mettler Toledo, model HB43-S. The jute fiber was dried for 11 hrs at 100°C prior to being compounded with NR in a two roll mill. NR and modified fiber was mixed in two roll mills for 20 min. (Yong-Fong machinery, Ltd., Model YFTR 8" (YFH-8"x18"L)). It was kept at 25°C for 24 hrs prior to cure assessment on a Moving Die Rheometer, GOTECH, model GT-M2000. Then, they were compressed in compression molding (Yong-Fong machinery, Ltd., Model YFY HM-100T) at 150°C, 10 min for vulcanization.

### 2.5. Mechanical properties

Tensile testing was done with dumbbell shaped specimens in accordance to ASTM D412-C and five replicate specimens were subjected to Instron Universal Testing Machine at crosshead speed of 500 mm/min. The hardness was measured by the shore type A Durometer according to ASTM D2240 and random ten point in one specimen.

### 2.6. Morphology measurement

The surface properties of jute fiber before and after modification was scanning electron microscope (SEM) (JEOL Model JSM-5410LV).

### 2.7. Dynamic mechanical thermal Properties

Dynamic mechanical analysis was performed using a Perkin Elmer DMA 8000 in the temperature/time scan mode. The shape of test sample was rectangular, 25 mm. long, 10 mm. and 3 mm. thick. The dual cantilever mode of deformation was used under the test temperature range from -110 to +100°C with a heating rate of 5°C min<sup>-1</sup> and a frequency of 1 Hz. A sinusoidal strain with a frequency of 1 Hz and amplitude of 50 mm was applied to each specimen. The storage and loss moduli, tan  $\delta$ , and glass transition temperature ( $T_g$ ) of the rubber vulcanizates were subsequently measured based on the test results.

## 3. Results and discussion

### 3.1. Mechanical properties of un-treated and treated fiber

The most important factor in get good fibre reinforcement in the composite is the strength of adhesion between the matrix polymer and the fibre. The extent of adhesion depends upon the structure and polarity of these materials. Due to the presence of hydroxy and other polar groups in jute, the moisture regain is high which leads to poor adhesion between fiber and matrix. Therefore, in order to develop composites with improved mechanical properties, it is necessary to impart hydrophobicity by suitable treatments. Such surface modification of jute would not only decrease the moisture absorption, but would concomitantly increase the wettability of the fibres by the matrix



polymer and the interfacial bond strength, both critical factors for obtaining better mechanical properties of the composites. Based on the above mentioned facts we have investigated the effect of different surface modifications of jute on the performance of the composites such as chemical treatment with acid and physical treatment with rubber latex. Table 2 show the mechanical properties of un-treated fiber and treated fiber with rubber latex.

Table 2. Elongation, Extention at break, and Tenacity of jute fiber before and after modification.

Sample	Elongation (%)	Extention at break (mm.)	Tenacity (gf/den)
Jute untreated	3.63	9.07	41.99
Jute treated	3.50	8.76	71.01

From table 2, it was found that the tenacity of fibre after treatment is much higher than un-treated almost twice. It is indicated that the strength of fibre itself is higher. Therefore, we used these fibre incorporating into the rubber matrix. Fig.2 shows the morphology of untreated and treated fibre. It is clearly seen the adhesion of fiber after treatment with latex.

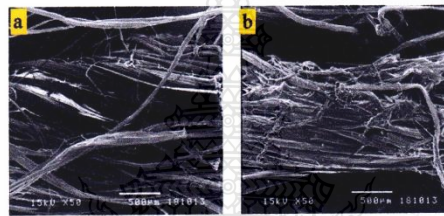


Fig. 1. Surface of fiber (a) un-treated jute and (b) treated jute

### 3.2. Effect of HANR surface modification and fibre loading on mechanical properties of rubber composite

Firstly, we tried to modify jute fiber with high ammonia natural rubber latex (60% DRC). The effect of fiber loading on tensile strength, modulus and hardness in rubber composite were shown in Fig. 2-4. It can be seen that the tensile strength was decreased as fiber content increased. The modulus and hardness increases significantly with increasing filler content. This indicates an improvement in stiffness of rubber composite. However, when treated fiber is subjected to load, the tensile strength, modulus and hardness were lower. This may be due to the good adhesion between fiber, leading to poor dispersion in the matrix.

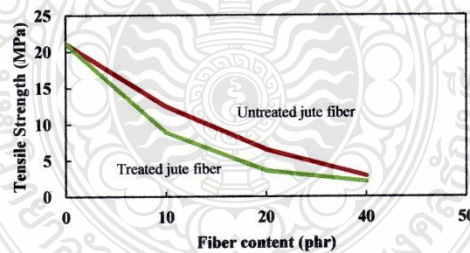


Fig. 2. Tensile strength of treated and un-treated jute fiber/NR composite with various fiber content.

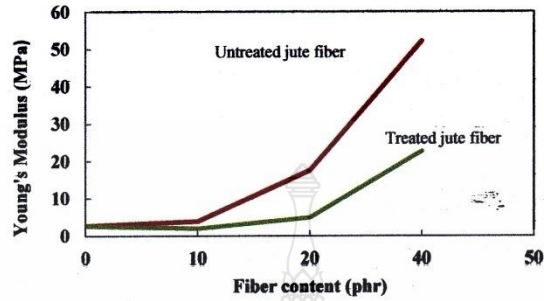


Fig. 3. Young's modulus of treated and un-treated jute fiber/NR composite with various fiber content.

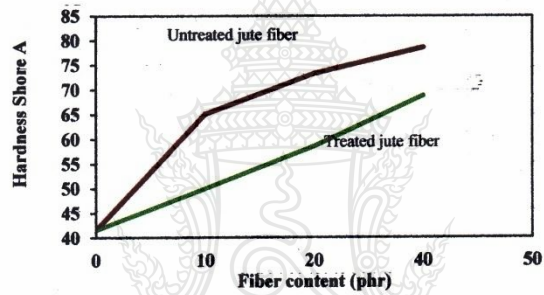


Fig. 4. Hardness of treated and un-treated jute fiber/NR composite with various fiber content.

### 3.3. Effect of DPNR surface modification

Then, we tried to modify jute fiber with low protein latex (DPNR) containing 30% DRC. Fig. 5 shows a stress-strain curve of rubber composite incorporated with treated fiber. It is clearly seen that DPNR treated fiber/NR composite (10 wt% fiber) showed the highest elongation at break as shown in Table 1. The tensile strength and modulus were also higher compared to HANR treatment. The reason of this finding is still under investigation.

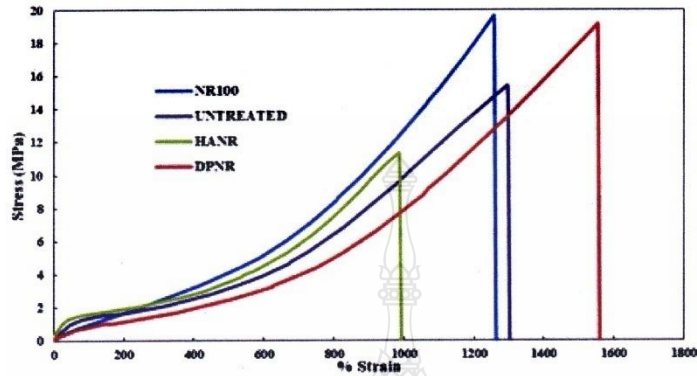


Fig. 5. Typical stress-strain curve of NR, untreated fiber/NR, HANR treated fiber/NR composite and DPNR treated fiber/NR composite.

Table 3. Young's modulus, Tensile strength, and Elongation at break of NR/ HANR treated jute and DPNR treated jute at 10 phr.

Sample	Young's modulus (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)
NR/Jute-treated HANR	1.9	8.9	927.9
NR/Jute-treated DPNR	2.1	19.0	1534.5

#### 3.4. Dynamic mechanical Properties of NR composite

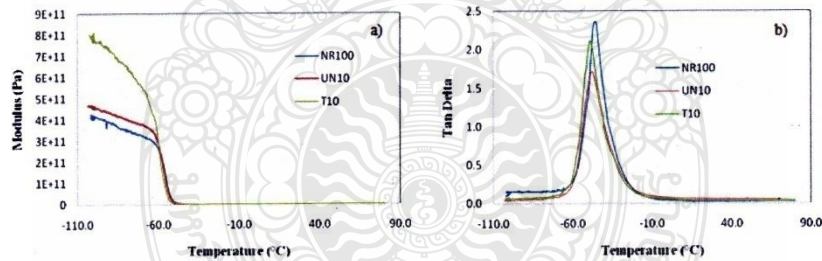


Fig. 6 Evolution of the (a) logarithm of the storage tensile modulus,  $E_0$ , and (b) loss angle tangent,  $\tan \delta$  vs temperature at 1 Hz for NR-based composites reinforced with 10 phr jute fiber with treatments (T) and un-treatment (UN).

The plot of the logarithm of the storage tensile modulus ( $\log E_0$ ) and  $\tan \delta$  at 1 Hz vs temperature for unfilled NR matrix, and both unmodified and modified jute reinforced rubber composites are shown in Fig. 6a and 6b, respectively. At low temperatures, the NR matrix is in the glassy state and  $E_0$  is around  $4E+11$  Pa. Then at ca.  $-60^\circ\text{C}$  a sharp drop in  $E_0$ , associated with the glass-rubber transition of the elastomer. This relaxation phenomenon involves cooperative motions of long chain sequences which induce dissipation energy revealed by a maximum in  $\tan \delta$  (Fig. 6b). After filled NR matrix with DPNR treated fiber,  $E_0$  increased to  $8E+11$  Pa higher than untreated fiber.

The incorporation of DPNR treated fiber increase the composite modulus at below  $T_g$ . This may be due to the its different in glassy states. It is also effect to the change in glass transition temperature of rubber composite.

#### 4. Conclusion

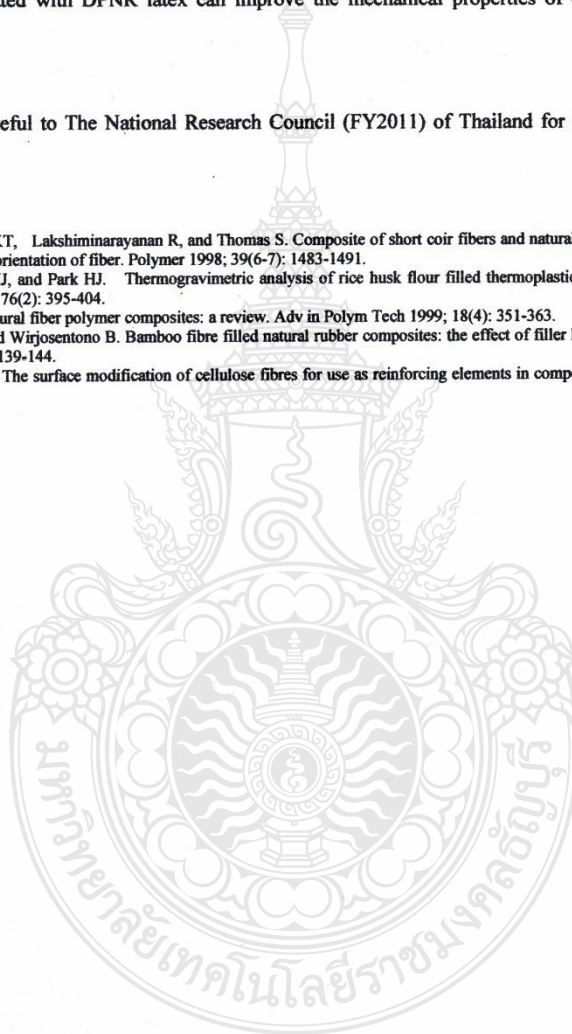
This work clearly shows that cellulose fibres can be effectively used as reinforcing NR matrices. The results showed that NR/jute treated with DPNR latex can improve the mechanical properties of composite more than NR/jute treated HANR.

#### Acknowledgement

The authors are grateful to The National Research Council (FY2011) of Thailand for financial support this research project.

#### References

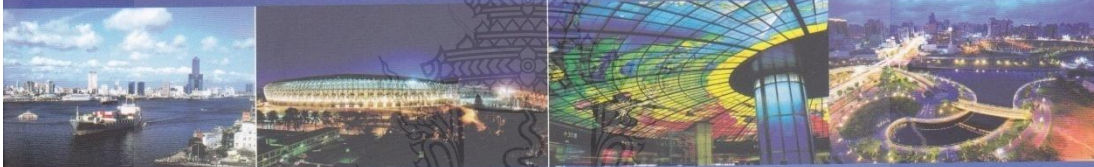
- [1] Geethamma VG, Mathew KT, Lakshminarayanan R, and Thomas S. Composite of short coir fibers and natural rubber: effect of chemical modification, loading and orientation of fiber. *Polymer* 1998; 39(6-7): 1483-1491.
- [2] Kim HS, Yang HS, Kim HJ, and Park HJ. Thermogravimetric analysis of rice husk flour filled thermoplastic polymer composites. *J of Therm Anal and Cal* 2004; 76(2): 395-404.
- [3] Saheb DN, and Jog JP, Natural fiber polymer composites: a review. *Adv in Polym Tech* 1999; 18(4): 351-363.
- [4] Ismail H, Edyhan MR, and Wirjosentono B. Bamboo fibre filled natural rubber composites: the effect of filler loading and bonding agent. *Polymer Testing* 2002; 21:139-144.
- [5] Belgacem MN, Gandini A. The surface modification of cellulose fibres for use as reinforcing elements in composite materials. *Comp Inter* 2005;24(1-2):41-75.



# PPC•13

The 13th Pacific Polymer Conference  
2013 **Kaohsiung** Taiwan  
Nov. 17-22, 2013

## PROGRAM BOOK



**Venue:** Grand Hi-Lai Arena, Kaohsiung

**Hosting Organization:** The Polymer Society, Taipei



## Conference Committees

PPF Council Members	Andrew Whittaker	Martina Stenzel
	Graeme Moad	Françoise Winnik
	Xi Zhang	Raymond W.Y. Wong
	Atsushi Takahara	Drs. Sudirman
	Chee Cheong Ho	Mitsuo Sawamoto
	Jadranka Travas-Sejdic	Doo Sung Lee
	Chain-Shu Hsu	Ramiro Guerrero-Santos
	Krisda Suchiva	Hardy Chan
	Timothy P. Lodge	Suwabun Chirachanchai
	Van Bac Nguyen	Krzysztof Matyjaszewski
		William H. Daly

<b>Honorable Chairs</b>	Show-An Chen	Ging-Ho Hsiue		
<b>President</b>	Chain-Shu Hsu			
<b>Vice President</b>	Chen-Chi Ma			
<b>Local Advisory Board</b>	Jonq-Min Liu	Tsung-Tsan Su	Kuo-Huang Hsieh	Der-Jang Liaw
<b>Program Committee</b>	Wen-Chang Chen	Hsin-Lung Chen		
<b>Financial Committee</b>	Jen-Lien Lin	Chuh-Yung Chen		
<b>Secretary General</b>	Rong-Ming Ho	Ying-Ling Liu	Ming Chen	
<b>Organizing Committee</b>	Chi-Chung Bai	Rong-Ming Ho	Yu-Der Lee	Jiunn-Yih Lee
	Jen-Lien Lin	Wen-Yen Chiu	Chen-Chi Ma	Chain-Shu Hsu
	Ping-Lin Kuo	Ming Chen	Wen-Chang Chen	Chuh-Yung Chen
	Hsin-Lung Chen	Jiun-Tai Chen	Kan-Nan Chen	Ying-Ling Liu
	Guey-Sheng Liou			
<b>Program Committee</b>	Eamor Woo	Hsing-Wen Sung	Wei-Fang Su	Kung-Hwa Wei
	Yi-Ming Sun	Chen-Chi Ma	Yun Chen	Shia-Chung Chen
	Shih-Jung Liu	Ying-Ling Liu	Guey-Sheng Liou	Jui-Hsiang Liu
	Chien-Chao Tsiang	Juin-Yih Lai	An-Chung Su	
<b>Secretary Committee</b>	Tzong-Liu Wang	Chien-Lung Wang	Chi Wang	Rong-Ming Ho
	Jrjeng Ruan	Ching-Hsuan Lin	Fang-Chyou Chiu	Ya-Sen Sun
	Shiao-Wei Kuo	Jyh-Chien Chen	Kan-Nan Chen	Shih-Huang Tung
	Shih-Jung Liu	Ying-Ling Liu	Yeo-Wan Chiang	Jing-Cherng Tsai
	Ru-Jong Jeng	Liao-Ping Cheng		
<b>Finance Committee</b>	Jiun-Tai Chen			

- Poster-S5-053 **The Influence of Stretching Temperature on the Cavitation in Polybutene-1**  
*Yaotao Wang, Zhiyong Jiang, Yongfeng Men*
- Poster-S5-054 **Fabrication of Photonic Crystals with Hard or Soft Nanospheres**  
*Shi-Sheng Wang, Ya-Han Chang, Yu-Cheng Kuo, Hong-Wen Chen, Kuei-Chien Chang, Hui Chen*
- Poster-S5-055 **Self-Assembling of Rod-Rod Block Copolymers with Different Rod Diameters**  
*Feng Zhou, Xinghe Fan, Zhihao Shen*
- Poster-S5-056 **Pd-Catalyzed C-C Cross-Coupling Reactions within A Thermoresponsive and Chlating Polymeric-Hydrogel**  
*Fan-Yong Yan, Li Chen, Meng Wang*
- Poster-S5-057 **Development and Collapse of Lamellar Structure of Poly(Butylene Succinate-co-12 Mol%1,4-Cyclohexanedimethylene Succinate)**  
*Hung-Wei Chiou, Ming Chen, Chi-He Chen, Jian-Ren Wang*
- Poster-S5-058 **Improvement in Mechanical Properties of Green Rubber Composite**  
*Pruttipong Pantamanatsopa, Tawatchai Meekaew, Warunee Klinklai, Hiroyuki Hamada*
- Poster-S5-059 **Thermal Stabilities of Deproteinized Natural Rubber Nano-Composites**  
*Noppawan Pipatananukul, Tawatchi Meekeaw, Kewwarin Sae-Hang, Warunee Klinklai, Seiichi Kawahara*
- Poster-S5-060 **Fringed-Micelle Crystals of Poly(Butylene Succinate-co-50 Mol% 2-Methyl-1,3-Propylene Succinate)**  
*Shun-Kai Chang, Ming Chen, You-Cheng Shih, Chi-He Chen, Kai-Sheng Huang, Che-Min Chou*
- Poster-S5-061 **Crystallization in Double-Crystalline Syndiotactic Poly(P-Methylstyrene)-Block-Poly(L-Lactide) Block Copolymer**  
*Shih-Hung Huang, You-Wei Huang, Yeo-Wan Chiang, Ting-Jui Hsiao, Yung-Cheng Mao, Jing-Cherng Tasi*
- Poster-S5-062 **Interplay between Mesophase and the Conceived Crystallization in Isotactic Polypropylene**  
*Yen-Chih Huang, Chun-Yu Chen, Chun-Jen Su, Jhih-Min Lin, Wen-Bin Su, Wei-Tsung Chuang, User Jeng, An-Chung Su*
- Poster-S5-063 **Gelation and Conductivity Behaviors of P3HT in Cosolvent Systems**  
*Bei-Kai Yang, Yu-Kai Han, Mei-Ying Chang, Pei-Chen Huang*
- Poster-S5-064 **Study on Mechanism of Graft Copolymers onto Natural Rubber**  
*Phutthinan Tochip, Warunee Klinklai, Seiichi Kawahara*
- Poster-S5-065 **Synthesis and Photophysical Properties of New Kind of Hyperbranched Polymers Based on 1,3,5-Triazine Unit**  
*Pengcheng Zhou, Li Zou, Xingqiao Chen, Jingui Qin, Inês F. A. Mariz, Ermelinda M.S. Maçôas, José M. G. Martinho*
- Poster-S5-066 **Morphology and Field-Effect Transistor Characteristics of Electrospun Nano-Fibers Prepared from Crystalline/Crystalline Blends of Poly(3-hexylthiophene) and Poly(ethylene oxide)**  
*Po-Yu Chen, Shih-Huang Tung*
- Poster-S5-067 **Temperature Induced Structures of P3HT and P3MBT in Dilute 1,2-Dichlorobenzene Solution and Its Influence on Thin Film Morphology**  
*Chung-Hao Liu, Chih-Yang Cheng, Shih-Huang Tung*
- Poster-S5-068 **Thermal Conductive Behavior of Polymer Composites via Uniform Distribution of Conductive Fillers**

## Improvement in Mechanical Properties of Green Rubber Composite Reinforced with Modified Jute Fiber

**Pruttipong Pantamanatsopa, Tawatchi Meekeaw, Warunee Klinklai<sup>1\*</sup> and Hiroyuki Hamada<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Department of Materials and Metallurgical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Klong 6, Thanyaburi, Patumthani 12110

<sup>2</sup>Department of Textile Science, Kyoto Institute of Technology, Matsugasaki, Sakyo-Ku, Kyoto 606, Japan

\*E-mail: [warunee.a@en.rmutt.ac.th](mailto:warunee.a@en.rmutt.ac.th)

Green rubber composites can be tailored made to suit applications with desired properties by incorporating particulate natural filler into a rubber matrix. The effect of filler content and fiber length filled in natural rubber (NR) green composite on mechanical properties has been studied. The jute fiber loading in natural rubber were 10, 20, 40, 50, 60 and 70 wt%, respectively with various length of roving jute fiber. The rubber green composite compounding was prepared by using two roll mills and then molded by hot compression molding technique. The result suggested that increasing filler content tended to increase tensile strength, modulus, hardness and water absorption but decreased elongation at break of the composite. The optimum loading of filler at 20 wt%, showed the highest tensile strength at 11.9 MPa. This may be due to the filler is optimum for distribution and the filler actively participate in stress transfer. The change in fiber length was significantly affected only on modulus. The strength of filler-rubber interaction were analyzed from swelling measurement. Then, we modified jute fiber with rubber latex adhesion at 90/10 wt% of NR/modified jute. It was found that the tensile strength, modulus and elongation at break was improved compared to untreated fiber. This may be due to rubber surface may act as a good adhesion between fiber and rubber matrix in this study.

### Reference:

1. A.C. de Albuquerque, Kuruvilla Joseph, Laura Hecker de Carvalho, Jose Roberto Morais d'Almeid. *Composites Science and Technology* 60 (2000) 833-844.



# Improvement in Mechanical Properties of Green Rubber Composite Reinforced with Modified Jute Fiber

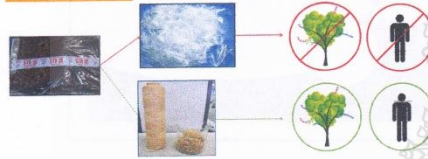
Pruttipong Pantamanatsopa<sup>1</sup>, Tawatchi Meekeaw<sup>1</sup>, Warunee Klinklai<sup>1</sup> and Hiroyuki Hamada<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Materials and Metallurgical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Klong 6, Thanyaburi, Patumthani 12  
<sup>2</sup>Department of Textile Science, Kyoto Institute of Technology, Matsugasaki, Sakyo-Ku, Kyoto 606, Japan  
 \*E-mail: warunee.a@en.rmutt.ac.th



**ABSTRACT** : Green rubber composites can be tailored made to suit applications with desired properties by incorporating particulate natural filler into a rubber matrix. The effect of filler content and fiber length filled in natural rubber (NR) green composite on mechanical properties has been studied. The jute fiber loading in natural rubber were 10, 20, and 40 wt%, respectively with 1 cm of jute fiber. The rubber green composite compounding was prepared using two roll and then molded by hot compression molding technique at 150°C. It was found that the modulus and hardness increased as fiber content increased while tensile strength was decreased. The highest modulus at 52.2 MPa (compared to neat NR 2.6 MPa) and the highest hardness at 78.6 Shore A (compared to neat NR 41.6 Shore A) were obtained when 40wt% of fiber loading was added. This may be due to the filler is optimum for distribution and the filler actively participate in stress transfer. Then, we firstly try to modified jute fiber with rubber latex. At low fiber content, it was found that tensile strength and elongation at break were improved compared to untreated fiber. This may be due to rubber surface may act as a good adhesion between fiber and rubber matrix in this study.

## INTRODUCTION



## AIM OF THIS WORK

To improve the mechanical properties of natural rubber reinforcing with natural fiber.

## EXPERIMENT

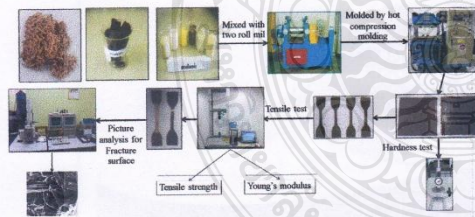
### 1. Surface modification of jute fiber



### 2. Green rubber composites compounding

Table 1. Formulation of green rubber composite

Component	Content (phr)
Natural Rubber (STR20)	100
Stearic acid	1
ZnO	5
Oil	4
MBTS	0.5
DPCG	0.5
Antioxidant	1
Sulfur	3
Jute fiber (Untreatment and treatment)	0, 10, 20 and 40



## RESULTS AND DISCUSSION

### 1. Physical properties of treated and untreated fiber

Table 2. Elongation, Extension at break, and Tenacity of jute fiber before and after modification

Sample	Elongation (%)	Extension at break (mm.)	Tenacity (gf/den)
Jute untreated	3.63	9.07	41.99
Jute treated	3.50	8.76	71.01

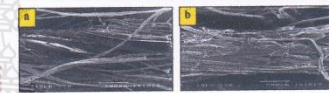


Fig. 1. The surface of jute fiber (a) with out modified and (b) modified with 60% DRC HANR

### 2. Effect of fiber content filled in NR

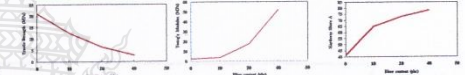


Fig 2. Tensile strength of NR/jute fiber composite

Fig 3. Young's modulus of NR/jute fiber composite

Fig 4. Hardness shore A of NR/jute fiber composite



Fig. 5. Fracture surface of green rubber composite of (a) NR/10 wt% jute untreated, (b) NR/10 wt% jute treated, and (c) NR pure

Table 3. Young's modulus, Tensile strength, and Hardness of natural rubber reinforcing with surface modified of jute fiber

%DRC HANR	Fiber (phr)	Young's modulus (Mpa)	Tensile strength (Mpa)	Elongation at break(%)
Untreated	5	1.84	13.8	1434.73
	10	1.73	15.51	1587.22
Untreated	10	3.87	12.51	1015.31
	60	1.97	8.91	927.91

## CONCLUSION

The effect of fiber surface modification for jute fiber on characteristic of jute fiber and mechanical properties of green rubber composite were evaluated in this study. The main advantage of surface treatment is compatibility between hydrophobic fiber surface and matrix and leading to a stronger fiber-matrix interface.

## Acknowledgement :

The support of the Natural Research Council of Thailand (NRCT) is gratefully acknowledged. The authors would also like to thank Kyoto Institute of Technology for providing a jute fiber.

## References:

A.C. de Albuquerque, Karuvilla Joseph, Laura Hecker de Carvalho, Jose Roberto Morais d'Almeid. *Composites Science and Technology* 60 (2000) 833-844.

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล นายพุดติพงษ์ พันธมนัสโสภา  
วัน เดือน ปีเกิด 6 กันยายน 2533  
ที่อยู่ 133 หมู่ 9 ถนนเพชรเกษม ตำบลหินตก อำเภอร่อนพิบูลย์  
จ.นครศรีธรรมราช 80350  
การศึกษา ปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมพลาสติก  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
เบอร์โทรศัพท์ 089-2209615  
อีเมล den\_rmutt@hotmail.com

