



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาการเตรียมวัสดุผสมยางธรรมชาติเสริมแรงด้วยเส้นใยชีวภาพ

ต่อโครงสร้างจุลภาคและสมบัติเชิงกล

Preparation of Natural Rubber Reinforced with Biocomposites Fibers
on Microstructure and Mechanical Properties



นางสาวศิริวรรณ พรรณราย
นางสาวพัชราภรณ์ ปานดี

RCH
๘ 486 ก
2556

เลขหมู่..... 137324
เลขทะเบียน 22 ส.อ. 2558
รับ เดือน ปี.....

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2556

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

12626491

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีไปใช้

ชื่อโครงการ การศึกษาการเตรียมวัสดุผสมยางธรรมชาติเสริมแรงด้วยเส้นใยชีวภาพต่อโครงสร้างจุลภาค และสมบัติเชิงกล

แหล่งเงิน ทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้

ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2556

จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 200,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี 6 เดือน ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2555 ถึง 31 มีนาคม 2557 /

หัวหน้าโครงการ นางสาวศิริวรรณ พรรณราย หน่วยงานต้นสังกัด สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

ผู้ร่วมโครงการวิจัย ดร. พชรภรณ์ ปานดี หน่วยงานต้นสังกัด สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ถูกศึกษาถึงสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติ STR 5L ที่เสริมแรงด้วยเส้นใยธรรมชาติ โดยชนิดของเส้นใยที่ถูกนำมาเสริมแรงคือ เส้นใยปาล์ม และเส้นใยมะพร้าว ซึ่งเป็นเส้นใยธรรมชาติที่เรียกว่า เส้นใยชีวภาพ ซึ่งเส้นใยดังกล่าวจะผ่านการปรับปรุงผิวเส้นใยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 3 % นอกจากนี้มีการเติมเส้นใยแก้วชนิด E glass ร่วมด้วย ขั้นตอนการเตรียมเส้นใย เส้นใยจะถูกตัดที่ความยาวต่างกันคือ 5 (L_1) และ 10 (L_2) mm โดยมีสัดส่วนน้ำหนักของเส้นใยที่ 5 (W_1) และ 10 (W_2) phr หลังจากนั้นนำมาทำการบดผสมด้วยเครื่องบดแบบสองลูกกลิ้ง แล้วอัดขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดแบบร้อนที่อุณหภูมิ 150 °C ได้เป็นแผ่นยางพาราเสริมเส้นใยธรรมชาติร่วมกับเส้นใยแก้ว E glass หนา 2 mm จากการวิจัยพบว่าในทุกๆชนิดของเส้นใยที่เติมร่วมกับเส้นใยแก้ว E glass เมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้นทำให้สมบัติการคงรูปดีขึ้น ค่าความแข็งเพิ่มขึ้น แต่ค่าความแข็งแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของชิ้นงานลดลง ซึ่งผลของการลดลงของค่าความแข็งแรงดึงเป็นผลจากเส้นใยแก้วชนิด E-glass ที่ส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของยางและการเชื่อมขวางของยาง อีกทั้งการกระจายตัวไม่สม่ำเสมอของเส้นใย ทั้งนี้พบว่าเส้นใยหมากที่ ความยาว L_1 และสัดส่วนน้ำหนักของเส้นใยที่ W_2 ให้ค่าความแข็งสูงสุดที่ 72.4 ± 0.3 shore A ค่าความแข็งแรงดึงที่ 2.4 ± 0.1 MPa แต่การยืดตัวของวัสดุลดลง

คำสำคัญ : ยางธรรมชาติ STR 5L, ค่าความแข็ง, ค่าความแข็งแรงดึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research Title: Preparation of Natural Rubber Reinforced with Biocomposites Fibers on Microstructure and Mechanical Properties

Researcher: Siriwan Pannaray, Patcharaporn Pandee

Faculty: Prince of Chumphon Campus

Department: Mechanical Engineering

ABSTRACT

The mechanical properties of Natural Rubber STR5L reinforced with chopped fibers were studied. Types of natural fibers (biofibers) were used palm oil fiber and coconut shell fiber and treated with 3%NaOH solution for improving skin fiber. In addition, adding E-glass to combine with natural fibers was investigated. In preparation, fibers were chopped to 5 (L_1) and 10 (L_2) mm at fiber loading 5 (W_1) and 10 (W_2) phr. The fibers and STR 5L were mixed using a mixer, and compounded using two-roll milling, then compressed at 150 °C to obtain the plates of thickness 2 mm. In every condition was investigated of increasing hardness whereas decreasing tensile strength and % Elongation. Decreasing strength in case of adding E-glass resulted from longer fibers undergoing fibers entanglement and dispersion irregular fibers. In this research was found adding Betel Nut fiber at (L_1) and fiber loading (W_2) that gave maximum hardness as 72.4 ± 0.3 shore A, tensile strength 2.4 ± 0.1 MPa and decreased of % Elongation.

Keywords: Natural Rubber STR5L, Hardness shore A, Tensile strength

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ องค์การสวนยาง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ยางธรรมชาติ (STR 5L) เป็นจำนวน 20 กิโลกรัม และขอขอบพระคุณ บริษัท ชุมพรอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม จำกัด (มหาชน) ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ไฮปาล์มน้ำมันเป็นจำนวน 30 กิโลกรัม

ขอขอบคุณนักศึกษา คณาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและสาขาวิศวกรรมเกษตร ตลอดจนคณะกรรมการวิจัย เจ้าหน้าที่ฝ่ายวิจัย ฝ่ายพัสดุและฝ่ายการเงิน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ ที่ประสานงานและดำเนินการให้งานวิจัยเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2556 ที่ได้รับการจัดสรรทุนอุดหนุนการวิจัย

ศิริวรรณ พรรณราย
พัชรารักษ์ ปานดี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ	VI
สารบัญตาราง	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1.1 ยางธรรมชาติ (Natural rubber, NR)	3
2.1.2 กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ยางและขึ้นรูปยาง	8
2.1.3 เส้นใย (Fiber)	16
2.1.4 คอมโพสิต (Composite)	22
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	27
บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการดำเนินวิจัย	33
3.1 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย	33
3.1.1 วัสดุ	33
3.1.2 สารเคมี	35
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	35
3.3 วิธีการทดลอง	38
3.3.1 การปรับปรุงผิวเส้นธรรมชาติด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์	38
3.3.2 สารเคมี ที่ใช้ในการทดลอง	40
3.3.3 การผสมยางกับสารเคมีด้วยเครื่องบดสองลูกกลิ้ง	41
3.3.4 วิธีการขึ้นรูปยางด้วยเครื่องอัด	41
3.3.5 การทดสอบสมบัติความแข็งของยางคงรูป	42
3.3.6 การทดสอบต่อสมบัติการทนต่อแรงดึง	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัย	45
4.1 ผลของเวลาการคงรูปยาง	45
4.2 สมบัติทางกล	49
4.1.1 ค่าความแข็ง	49
4.1.2 ค่าความแข็งแรงดึง	49
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	52
5.1 สรุปผลการทดลอง	52
5.2 ข้อเสนอแนะ	52
บทที่ 6 สรุปผลผลิตงานวิจัย	53
6.1 การเผยแพร่	53
บรรณานุกรม	54
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก เอกสารหลักฐานอ้างอิงของผลผลิตบทที่ 6	56
ภาคผนวก ข ผลการทดสอบ	62
ภาคผนวก ค สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินโครงการวิจัย	65
ประวัตินักวิจัย	67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 แสดงสูตรโครงสร้างแบบ cis-1,4-polyisoprene ของยางธรรมชาติ	3
2.2 การแบ่งตามส่วนประกอบและชนิดของยางธรรมชาติ	5
2.3 โครงสร้างการเชื่อมโยงแบบต่างๆ	12
2.4 กราฟแสดงการวัลคาไนซ์แบบต่างๆ	13
2.5 ขั้นตอนการวัลคาไนซ์ยางคอมพาวด์	13
2.6 หัวกดแบบต่างๆ สำหรับการวัลคาไนซ์ความแข็ง	14
2.7 ตัวอย่างทดสอบรูป Dumb-bell ตามมาตรฐาน ASTM D412	15
2.8 แสดงโครงสร้างทางเคมีของโมเลกุลของเซลลูโลส	18
2.9 แสดงสูตรโครงสร้างทางเคมีของโมเลกุลเฮมิเซลลูโลส	18
2.10 แสดงรูปร่างหน้าตัดขวางของเส้นใยต่างๆ	21
2.11 ลักษณะต่างๆของเฟสที่กระจายตัวอยู่ที่ส่งผลต่อสมบัติสุดท้ายของคอมโพสิต ได้แก่ ความเข้มข้น (ปริมาณ) ขนาด รูปร่าง การกระจาย และการจัดเรียงตัว	23
2.12 แผนผังการแบ่งประเภทของคอมโพสิต	24
3.1 ยางแท่ง STR 5L	33
3.2 เส้นใยกามมะพร้าว	34
3.3 เส้นใยปาล์ม	34
3.4 เส้นใยหมาก	34
3.5 เส้นใยแก้ว ชนิด E glass	34
3.6 เครื่องบดยางสองลูกกลิ้ง (Two roll mill)	36
3.7 เครื่องทดสอบหาเวลาการวัลคาไนซ์ของยาง Moving Die Rheometer (MDR)	36
3.8 เครื่องอัดแม่พิมพ์ยางไฮดรอลิก (Compression molding)	37
3.9 เครื่องทดสอบแรงดึง (Universal Testing Machine)	37
3.10 เครื่องมือทดสอบสมบัติความแข็ง (Hardness tester)	37
3.11 ตู้อบ (OVEN) รุ่น ED/FD	38
3.12 เครื่องซังดีจิตอล ทศนิยม 3 ตำแหน่ง	38
3.13 แสดงตัวอย่าง dies ที่ใช้ตัดชิ้นทดสอบรูปดัมเบลล์	38
3.14 แสดงการเตรียมสารละลายไซโตเดียมไฮดรอกไซด์	39
3.15 แสดงการนำเส้นใย แซ่ด้วยสารละลายไซโตเดียมไฮดรอกไซด์	39
3.16 แสดงการอบเส้นใย	40
3.17 ชิ้นงานที่ทำการศึกษาเวลาคงรูปยาง	41
3.18 แม่พิมพ์สำหรับขึ้นรูปยาง (ก) และ (ข) ชิ้นงาน (ค)	42
3.19 ชิ้นทดสอบรูปดัมเบลล์ (Die C) สำหรับการทดสอบความทนต่อแรงดึง	43
3.20 แสดงการทดสอบ Tensile Strength (ASTM D412)	43
3.21 แสดงลักษณะชิ้นงานสำหรับการทดสอบแรงดึง Tensile Strength (ASTM D412)	44
4.1 ผลของปริมาณเส้นใยต่อค่าทอร์กสูงสุดของคอมโพสิตที่มีการปรับปรุงเส้นใยธรรมชาติ ด้วยสารละลายไซโตเดียมไฮดรอกไซด์ที่ผ่านการวัลคาไนซ์กับปริมาณความยาวเส้นใยที่ต่างกัน	47

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.2 ผลของปริมาณเส้นใยต่อค่าทอร์กต่ำสุดของคอมโพสิตที่มีการปรับปรุงเส้นใยธรรมชาติด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ผ่านการวัลคาไนซ์กับปริมาณความยาวเส้นใยที่ต่างกัน	47
4.3 ผลของปริมาณเส้นใยต่อค่าเวลาการสกรูของคอมโพสิตที่มีการปรับปรุงเส้นใยธรรมชาติด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ผ่านการวัลคาไนซ์กับปริมาณความยาวเส้นใยที่ต่างกัน	48
4.4 ผลของปริมาณเส้นใยต่อค่าเวลาการคงรูปของคอมโพสิตที่มีการปรับปรุงเส้นใยธรรมชาติด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ผ่านการวัลคาไนซ์กับปริมาณความยาวเส้นใยที่ต่างกัน	48
4.5 ผลของปริมาณเส้นใยต่อค่าความแข็งของคอมโพสิตที่มีการปรับปรุงเส้นใยธรรมชาติด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ผ่านการวัลคาไนซ์กับปริมาณความยาวเส้นใยที่ต่างกัน	49
4.6 ผลของปริมาณเส้นใยต่อค่าความต้านทานแรงดึงของคอมโพสิตที่มีการปรับปรุงเส้นใยธรรมชาติด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ผ่านการวัลคาไนซ์กับปริมาณความยาวเส้นใยที่ต่างกัน	50
4.7 ผลของปริมาณเส้นใยต่อค่าการยืดตัวก่อนขาดของคอมโพสิตที่มีการปรับปรุงเส้นใยธรรมชาติด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ผ่านการวัลคาไนซ์กับปริมาณความยาวเส้นใยที่ต่างกัน	51



สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 การเปรียบเทียบการใช้งานชนิดของยางดิบ	5
2.2 ส่วนประกอบของน้ำยางสด	6
2.3 มาตรฐานยางแท่งของไทย (Standard Thai Rubber)	8
2.4 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตยางแท่งที่ผลิตในประเทศไทย	8
2.5 แสดงความหนาแน่นและสมบัติเชิงกลของเส้นใยธรรมชาติชนิดต่างๆ	17
2.6 ส่วนประกอบของเส้นใยธรรมชาติชนิดต่างๆ	19
2.7 ขนาดของเส้นใยธรรมชาติชนิดต่างๆ	21
3.1 แสดงสารเคมีในการวิจัย	35
3.2 สูตรผสมของยางในการทดสอบ	40
4.1 สมบัติการคงรูปของยางธรรมชาติที่เสริมแรงด้วยเส้นใยที่ได้มีการปรับปรุงเส้นใยธรรมชาติด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ผ่านการทำวัลคาไนซ์ที่ปริมาณเส้นใยต่างๆ	46
ข.1 แสดงผลการทดสอบเชิงกล	63



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันนี้ยางธรรมชาติหรือยางพารา ยางธรรมชาติหรือยางพาราจัดเป็นสินค้าเกษตรที่ส่งออกต่างประเทศที่สำคัญอย่างหนึ่งของประเทศไทย และประเทศไทยยังเป็นผู้ผลิตยางธรรมชาติลำดับต้นๆของโลกอีกด้วย ซึ่งโดยมากส่งออกในรูปของยางดิบ เช่น น้ำยางข้น (Concentrate Latex) ยางแผ่นรมควัน (Ribbed Smoke Sheet : RSS) ยางอบแห้ง (Air Dried Sheet : ADS) และยางแท่ง (Standard Thai Rubber : STR) ซึ่งยางธรรมชาติสามารถนำไปใช้ในกระบวนการผลิต ผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากมาย อย่างเช่น ผลิตภัณฑ์ยางรถยนต์ ยางรองคอกสะพาน ยางกันชน ท่อทนความดัน เป็นถุงมือ ยาง, ถุงยางอนามัย, สายพานยาง, ยางรัดของ, สายยางทั่วไป, สายน้ำเกลือ เป็นต้น ซึ่งในปัจจุบันมีการนำเส้นใยธรรมชาติมาใช้ในการเสริมแรงในวัสดุคอมโพสิต เนื่องจากมีน้ำหนักเบา ราคาถูก ความหนาแน่นต่ำ มีความแข็งแรงเฉพาะ (specific strength) ที่สูง สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ ลดการสึกกร่อนของเครื่องจักรในกระบวนการขึ้นรูปและไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ เมื่อเทียบกับวัสดุที่เติมสารอนินทรีย์อื่นๆ และปัจจุบันวัสดุคอมโพสิตจากยางธรรมชาติที่เสริมแรงด้วยเส้นใยชนิดต่างๆ ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากทั้งในด้านการประยุกต์ใช้งานและการวิจัยพัฒนา เนื่องจากวัสดุคอมโพสิตลักษณะนี้จะแสดงให้เห็นพฤติกรรมทางด้านความอ่อนตัวความยืดหยุ่นของยางความเหนียวและความแข็งแรงของเส้นใยเสริมแรง มีค่าการกระจายพลังงาน (damping) ที่ดี รวมทั้งค่าใช้จ่ายในกระบวนการขึ้นรูปไม่สูง ขึ้นรูปได้ง่าย วัสดุคอมโพสิตที่ทำมาจากยางธรรมชาติเสริมแรงด้วยเส้นใยธรรมชาติจะทำให้วัสดุนั้นมีการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกลต่างๆ ได้แก่ มีมอดูลัสที่ระยะความต้านทานการฉีกขาดและความแข็งแรงมากขึ้น และสามารถลดต้นทุนในการผลิตเนื่องจากราคาของเส้นใยธรรมชาติต่ำกว่าของเส้นใยสังเคราะห์ ดังนั้นจึงเลือกใช้เส้นใยธรรมชาติที่ได้มาจากลูกตาลโตนด, เส้นใยจากกาบมะพร้าวและเส้นใยจากปาล์มน้ำมันใช้เป็นตัวเสริมแรงในยางธรรมชาติ เพราะเป็นเส้นใยที่เหลือใช้จากการเกษตรและยังมีเหลือใช้ปริมาณมากอีกด้วยโดยที่เส้นใยดังกล่าวที่ได้จากการเหลือใช้เหล่านี้ล้วนเป็นวัสดุที่มีความน่าสนใจที่จะนำมาเป็นวัสดุคอมโพสิตและศึกษาคุณสมบัติต่างๆ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาการเตรียมวัสดุคอมโพสิตจากยางธรรมชาติเสริมเส้นใยมะพร้าว เส้นใยหมาก และเส้นใยปาล์มน้ำมัน

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของความยาวของเส้นใยและปริมาณของเส้นใยต่อสมบัติการคงรูป ของวัสดุคอมโพสิตจากยางธรรมชาติเสริมเส้นใยมะพร้าว เส้นใยหมาก และเส้นใยปาล์มน้ำมัน

1.2.3 เพื่อศึกษาผลของความยาวของเส้นใยและปริมาณของเส้นใยต่อสมบัติเชิงกล ซึ่งได้แก่ การทดสอบการทดสอบความแข็งและความต้านทานแรงดึงของวัสดุคอมโพสิตจากยางธรรมชาติเสริมเส้นใยมะพร้าว เส้นใยหมาก และเส้นใยปาล์มน้ำมัน

1.3 ขอบเขตการวิจัย

- 1.3.1 ใช้เส้นใยมะพร้าว เส้นใยหมาก และเส้นใยปาล์มน้ำมัน นำมาเป็นตัวเสริมแรงในยางธรรมชาติ
- 1.3.2 ใช้ยางธรรมชาติ ชนิดยางแท่ง STR 5L (Standard Thai Rubber 5L)
- 1.3.3 ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ในการปรับปรุงผิวของเส้นใยธรรมชาติ
- 1.3.4 ใช้ความยาวของเส้นใยอยู่ที่ 5 และ 10 มิลลิเมตร
- 1.3.5 ใช้ปริมาณเส้นใยอยู่ที่ 5 และ 10 ส่วนในหนึ่งร้อยส่วนของยางธรรมชาติ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ทราบถึงการเตรียมวัสดุคอมโพสิตจากยางธรรมชาติเสริมเส้นใยมะพร้าว เส้นใยหมาก และเส้นใยปาล์มน้ำมัน
- 1.4.2 ทราบถึงผลของความยาวของเส้นใยและปริมาณของเส้นใยต่อสมบัติการคงรูป ของวัสดุคอมโพสิตจากยางธรรมชาติเสริมเส้นใยมะพร้าว เส้นใยหมาก และเส้นใยปาล์มน้ำมัน
- 1.4.3 ทราบถึงผลของความยาวของเส้นใยและปริมาณของเส้นใยต่อสมบัติเชิงกล ซึ่งได้แก่ การทดสอบความต้านทานแรงดึงกับการทดสอบความแข็ง ของวัสดุคอมโพสิตจากยางธรรมชาติเสริมเส้นใยมะพร้าว เส้นใยหมาก และเส้นใยปาล์มน้ำมัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ยางธรรมชาติ (Natural rubber, NR)

2.1.1.1 ยางพารา (Hevea Brasiliensis)

วัตถุดิบที่เริ่มแรกรู้จักกันในชื่อ “Caouchouc” ซึ่งเป็นคำที่เรียกตามที Charles de la Condamine ใช้ (มาจากภาษาอินเดียนหมายถึงต้นไม้ร้องไห้) เป็นสารไอโซพรีน (Isoprene) ที่ได้จากน้ำเลี้ยงของต้นยาง Hevea Brasiliensis ปัจจุบันรู้จักวัตถุดิบนี้ในนาม Natural rubber(NR) และเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปว่าต้นยางพารานับเป็นแหล่งวัตถุดิบยางธรรมชาติที่สำคัญที่สุดในปัจจุบันอาจนับเป็นพืชชนิดเดียวที่ให้ยางธรรมชาติซึ่งนำมาใช้เป็นประโยชน์อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมผลิตวัตถุดิบสำเร็จรูปยาง

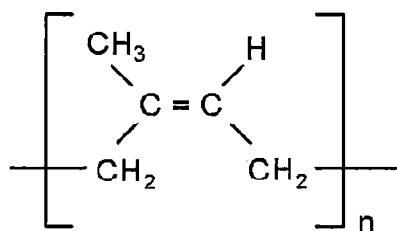
ยางแท่ง STR 5L เป็นยางแท่งที่ผลิตจากน้ำยางสด สำหรับวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตยางแท่ง STR 5L ได้มีการคัดเลือกน้ำยางสด สำหรับนำมาใช้ในการกระบวนการผลิตเป็นอย่างดี

ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ยางแท่ง STR 5L ในการผลิต

- ผลิตภัณฑ์ล้อเครื่องบิน
- ผลิตภัณฑ์ล้อรถยนต์/ล้อรถบรรทุก
- ผลิตภัณฑ์ยางรองคอสระพาน/ทางยกระดับ
- ผลิตภัณฑ์ล้อยางเรเดียลทุกชนิด
- ผลิตภัณฑ์รองเท้า/พื้นรองเท้า
- ยางรัดของ
- อุปกรณ์กีฬา

2.1.1.2 โครงสร้างเคมียาง

ยางธรรมชาติเป็นสารประกอบในกลุ่มพอลิเมอร์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ประกอบด้วยหน่วยย่อยชนิดเดียว มีสมบัติที่สำคัญคือความยืดหยุ่น โครงสร้างทางเคมีของหน่วยย่อยของยางธรรมชาติประกอบด้วยคาร์บอน 5 อะตอม และไฮโดรเจน 8 อะตอม (C_5H_8) มีชื่อทางเคมีว่าไอโซพรีน (Isoprene) หน่วยย่อยดังกล่าวเมื่อเกิดการเชื่อมโยงเป็นโมเลกุลจะเรียงตัวกันในแบบ cis- 1, 4 Configuration ภาพรูปที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 แสดงสูตรโครงสร้างแบบ cis-1,4-polyisoprene ของยางธรรมชาติ

2.1.1.3 สมบัติของยางธรรมชาติ

1. สมบัติของยางดิบ

1. ยางมีสมบัติเป็นทั้งพลาสติกและอีลาสติก นั่นคือ ยางสามารถแบนและไหลได้เมื่อได้รับแรงกดซึ่งเป็นสมบัติของพลาสติก เมื่อเอาแรงออกยางสามารถกลับคืนสู่รูปเดิมได้ ซึ่งสมบัติของอีลาสติก ดังนั้น เมื่อยางมีสมบัติทั้งพลาสติกและอีลาสติก ทำให้ยางแบนหรือยืดเมื่อได้รับแรงกดหรือแรงดึง แต่เมื่อคลายแรงยางจะกลับคืนรูป แต่ไม่เท่าเดิม

2. ยางเป็นเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) เมื่อยางอยู่ในสภาวะที่อุณหภูมิต่ำ ยางจะแข็งกระด้าง ถ้ายางอยู่ในสภาวะที่อุณหภูมิสูง ยางจะนิ่ม ลักษณะเช่นนี้ทำให้ยางใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิที่จำกัด

3. ยางมีความแข็งแรงต่ำ ความต้านทานต่อแรงดึงต่ำ (Tensile strength) และความต้านทานต่อการสึกหรอต่ำ (Abrasion resistance)

4. ยางไม่ทนต่อตัวทำละลายหลายชนิด สามารถละลายได้ง่ายในตัวทำละลาย

2. สมบัติของยางคงรูป

1. มีความยืดหยุ่นสูง

2. มีความทนต่อแรงดึงสูง (Tensile strength) สามารถทนแรงดึงได้มากกว่า 20 MPa

3. มีการยืดตัวก่อนขาดได้มาก (Elongation) สามารถยืดได้ 500% – 1,000%

4. มีความทนทานต่อการฉีกขาด (Tear) และการสึกหรอ (Abrasion) ได้ดี

5. การคืนตัว (Compression set resistance) และ การกระดอน (Resilience) ดี

6. ใช้งานที่อุณหภูมิต่ำได้ดี

7. มีแรงยึด หรือติดกันระหว่างยางกับเส้นใย และโลหะได้ดี

8. มีความทนทานต่อการบ่มเร่งด้วยความร้อน (Heat ageing) ไม่ดี

9. ความทนทานต่อการเสื่อมสภาพเนื่องจากออกซิเจน และโอโซน ได้น้อย

10. ไม่ทนต่อตัวทำละลายประเภทไฮโดรคาร์บอน และน้ำมันปิโตรเลียม

11. อุณหภูมิการใช้งาน อยู่ระหว่าง – 40 ถึง 70 องศาเซลเซียส

แม้ว่ายางธรรมชาติจะมีสมบัติที่ตีเหมาะสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ยางต่างๆมากมาย แต่ยางธรรมชาติก็มีข้อเสียหลักคือ การเสื่อมสภาพเร็วภายใต้แสงแดด ออกซิเจน โอโซนและความร้อน เนื่องจากโมเลกุลของยางธรรมชาติมีพันธะคู่ (Double bond) อยู่มาก ทำให้ยางว่องไวต่อการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและโอโซนโดยมีแสงแดดและความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นในระหว่างการผลิต ผลิตภัณฑ์จึงต้องมีการเติมสารเคมีบางชนิด (สารในกลุ่มของ Antidegradants) เพื่อยืดอายุการใช้งาน นอกจากนี้ยางธรรมชาติยังมีประสิทธิภาพการทนต่อสารละลายไม่มีขี้ผึ้งน้ำมันและสารเคมีต่ำ จึงไม่สามารถใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องสัมผัสกับน้ำมันและสารเคมีต่างๆ

ยางธรรมชาติยังสามารถผลิตให้อยู่ในรูปแบบอื่นๆ ได้อีก เช่น 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) เพื่อให้เห็นถึงการนำยางแต่ละชนิดไปใช้งานและทำเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ จึงแสดงให้ทราบดังตารางที่ 2.1

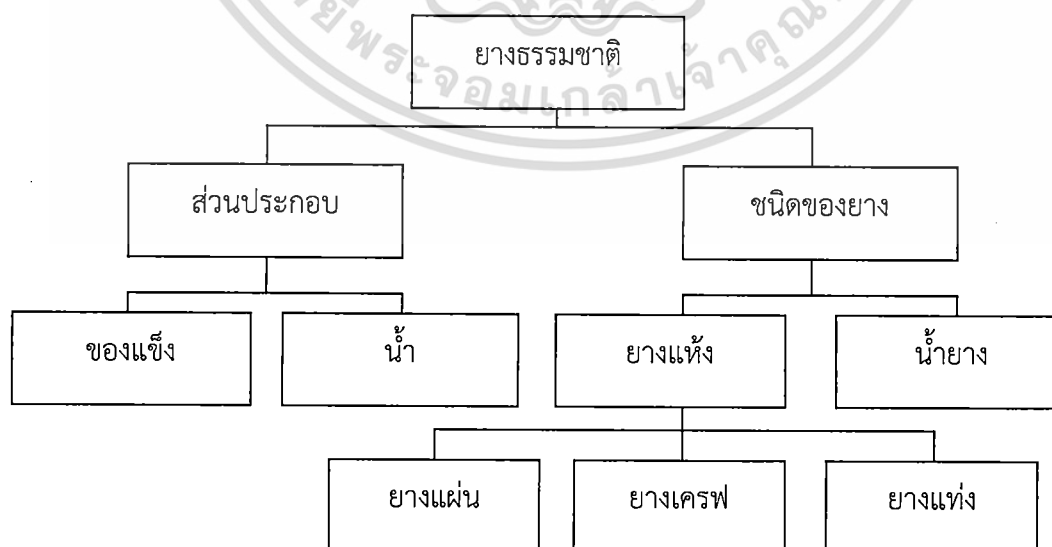
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบการใช้งานชนิดของยางดิบ

ชนิด	การใช้งาน	หมายเหตุ
STR XL, STR 5L, ADS,RSS1	ผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ เภสัชกรรมการสัมผัสอาหาร ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการแต่งเติมสี สันเส้นด้าย ยางยืดแบบเหลี่ยม กาวยาง เทปติดพื้นรองเท้า และ ส่วนประกอบ	เป็นยางที่มีความสะอาดมีสีจาง โดยเฉพาะยาง STR XL, STR, 5L และ RSS ค่อนข้างแข็งมาก ค่าความหนืดสูง
STR 20, RSS 2,3,4,5	ผลิตภัณฑ์ยางรถยนต์ ยางล้อรถรวมทั้งผลิตภัณฑ์ยางอะไหล่ ยางใช้ในงานวิศวกรรม และใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป	เป็นยางสีคล้ำส่วนใหญ่ใช้สารตัวเติมเข้ามาดำ เพื่อเสริมความแข็งแรง
ยางสгим	ใช้ผสมกับยางชนิดอื่นๆ สำหรับผลิตผลิตภัณฑ์ยางที่ไม่ระบุ ข้อจำกัด เช่น ยางปูพื้น ยางล้อรถเข็น และ ยางกันกระแทก	ใช้ผสมกับยางอื่นเพื่อลดต้นทุน มีสีอ่อนและมี Non rubber มากกว่ายางปกติ จึงสามารถใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ยางสีจาง หรือ ต้องการแต่งเติมสี นอกจากนี้ยังมีข้อได้เปรียบในการเกิดคงรูปได้เร็ว แต่มีสมบัติทางกายภาพต่ำ
น้ำยางข้น	ผลิตภัณฑ์จุ่มแบบ เช่น ถุงมือ ลูกโป่ง ถุงยางอนามัย หัวนมสำ หรับทารกผลิตภัณฑ์ตีฟอง เช่น ที่นอน หมอน ตุ๊กตาฟองน้ำ ผลิตภัณฑ์หล่อแบบ เช่น ตุ๊กตา ยาง หุ่นการศึกษาผลิตภัณฑ์เส้นด้ายยืดแบบกลม เช่น ท่อยาง กาวน้ำยาง	สามารถออกสูตรสารเคมีมีผสมน้ำยางให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความเหนียวและแข็งแรงมาก โดยไม่เติมสารเสริมความแข็งแรง

ที่มา : วราภรณ์ ขจรไชยกูล, 2549 [1]

ยางธรรมชาติ (Natural rubber) จะมีลักษณะการแบ่งตามส่วนประกอบและชนิดของยางธรรมชาติ ดังภาพที่ 2.2 โดยมีรายละเอียดดังนี้



ภาพที่ 2.2 การแบ่งตามส่วนประกอบ และชนิดยางธรรมชาติ [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.4 การแบ่งชนิดของยาง

1. น้ำยาง

เนื่องจากน้ำยางสดที่กรี๊ดได้จากต้นยางมีปริมาณน้ำมากเกินไปไม่เหมาะที่จะนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์และยังทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการขนส่งดังนั้นจึงจำเป็นต้องนำน้ำยางที่ได้นี้ไปผ่านกระบวนการปั่นเหวี่ยง (Centrifugation) เพื่อลดปริมาณน้ำในน้ำยางสดจนกระทั่งได้น้ำยางที่มีปริมาณยางแห้งเพิ่มขึ้นจาก 30% เป็น 60% โดยน้ำหนัก เรียกน้ำยางที่ได้ว่า น้ำยางข้น (Concentrated latex) แต่เนื่องจากในน้ำยางมีสารอินทรีย์ต่างๆ เช่น โพรตีนและฟอสโฟไลปิด (Phospholipid) ผสมอยู่ในปริมาณเล็กน้อยซึ่งสารอินทรีย์เหล่านี้สามารถถูกย่อยสลายด้วยเชื้อจุลินทรีย์หรือเชื้อแบคทีเรียได้เป็นก๊าซชนิดต่างๆ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน หรือสารประกอบที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ดังนั้นน้ำยางจึงสามารถบูดเน่าส่งกลิ่นเหม็นได้จึงต้องมีการเติมสารแอมโมเนียเพิ่มให้สามารถเก็บไว้ได้นานน้ำยางที่ใช้แอมโมเนียเพียงอย่างเดียวจะต้องใช้แอมโมเนียที่มีความเข้มข้นสูงถึง 0.7% น้ำยางชนิดนี้จึงมีชื่อเรียกว่า High-Ammonia-Latex หรือ HA-latex ส่วนน้ำยางที่ใช้แอมโมเนียที่มีความเข้มข้นต่ำเพียง 0.2% ก็จำเป็นต้องใช้สารเคมีอื่นๆร่วมด้วย เช่น ZnO/TMTD 0.02% หรือใช้กรดบอริก 0.2% หรือใช้ Santobrite 0.2% เป็นต้น ซึ่งน้ำยางชนิดหลังนี้เรียกว่า Low Ammonia latex หรือ LA latex

ตารางที่ 2.2 ส่วนประกอบของน้ำยางสด

ส่วนประกอบ	ร้อยละ (โดยน้ำหนัก)
สารที่เป็นของแข็งทั้งหมด	36
- เนื้อยางแห้ง	33
- สารกลุ่มโปรตีนและไขมัน	1-1.2
- สารกลุ่มคาร์โบไฮเดรต	1
- เถ้า	≤ 1
น้ำ	64

2. ยางแห้ง

ได้จากการนำน้ำยางสดที่กรี๊ดได้มาเติมกรด นิยมใช้กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก หรือ กรดซัลฟูริก เพื่อให้อนุภาคน้ำยางจับตัวกันเป็นของแข็งแยกตัวจากน้ำจากนั้นก็ทำการไล่ความชื้นออกจากเนื้อยางเพื่อป้องกันการเกิดเชื้อรา ยางแห้งมีหลายรูปแบบ ได้แก่

2.1 ยางแผ่น (Rubber sheet) ยางแผ่นได้จากการนำน้ำยางสดมาใส่ในตะกอนจากนั้นจึงเติมน้ำเพื่อเจือจางน้ำยางให้มีปริมาณเนื้อยางแห้งเหลือเพียงประมาณ 12.16% ก่อนทำการเติมกรดเพื่อให้ยางจับตัวกันและแยกออกจากน้ำ หากทำการเจือจางมากก็จำเป็นต้องใช้กรดมากขึ้นกัน โดยทั่วไปอนุภาคของน้ำยางจะเริ่มจับตัวเป็นก้อนหลังจากที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำยางอยู่ในช่วง 5.1-4.8 เรียกจุดนี้ว่า “จุดไอโซอิเล็กทริก (isoelectric point)” หลังจากนั้นจึงนำยางที่ได้ไปรีดให้เป็นแผ่นด้วยเครื่องรีดแบบ 2 ลูกกลิ้ง นำไปล้างน้ำแล้วจึงทำให้ยางแห้ง ซึ่งการทำยางแห้งนี้อาจทำได้ 2 วิธี คือ

- นำไปตากแดดหรือผึ่งในอากาศร้อนเพื่อไล่ความชื้นยางที่ได้เรียกว่า ยางแผ่นไม่เออร์มควัน (Air Dried Sheet, ADS) กับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- นำไปอบรมควันที่อุณหภูมิประมาณ 60-70 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 2-3 วัน หรืออาจนานกว่านี้ ซึ่งยางที่ได้เรียกว่ายางแผ่นรมควัน (Ribbed Smoked Sheet, RSS) ยางแผ่นรมควันแบ่งออกเป็นชั้นต่างๆ ด้วยสายตา (ตามปริมาณสิ่งสกปรกหรือสิ่งปนเปื้อนในยาง) ตั้งแต่ชั้นที่ 1 ซึ่งจัดว่าเป็นเกรดที่ดีที่สุดถึงชั้นที่ 5 ซึ่งเป็นเกรดที่ต่ำที่สุดส่วนยางแผ่นไม่รมควันมีชั้นเดียวหากตกชั้นก็ต้องนำไปรมควันต่อไปภายหลังจากที่ยางแผ่นแห้งสนิทยางแผ่นเหล่านี้ก็จะถูกนำมาอัดให้เป็นก้อนๆ ละประมาณ 113 กิโลกรัม และก่อนส่งออกจำหน่ายก็จะมีการทาทัลลัม (Talc) ที่บริเวณพื้นผิวของก้อนยางเพื่อป้องกันการเกาะติดกันในระหว่างการขนส่งปัจจุบันประเทศไทยส่งออกยางพาราในรูปร่างแผ่นรมควันมากที่สุดในโลก โดยมีประเทศคู่ค้าหลักได้แก่ สหรัฐอเมริกา จีน ญี่ปุ่น ฯลฯ

2.2 ยางเครฟ (Crepe rubber) ยางเครฟส่วนใหญ่เป็นยางที่ได้จากการนำเศษยาง เช่น ยางกันล้วยเศษยางที่ติดบนเปลือกไม้หรือติดบนดิน หรือเศษจากยางแผ่นรมควัน เป็นต้น ปรืดในเครื่องเครฟ (Creping machine) พร้อมทั้งใช้น้ำทำความสะอาดเอาสิ่งสกปรกต่างๆ ออกไปจากยางในระหว่างการรีดจากนั้นจึงนำยางแผ่นที่ได้ไปผึ่งลมให้แห้งโดยทั่วไปยางเครฟที่ผลิตได้มีหลายรูปแบบ เช่น Brown crepe, Flat bark crepe และ Blanket crepe เป็นต้น ซึ่งยางเครฟทั้งหลายนี้มีสีค่อนข้างเข้มและมีความบริสุทธิ์แตกต่างกันมากขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตส่วนยางเครฟขาวซึ่งจัดเป็นยางเครฟเกรดพิเศษที่ทำมาจากน้ำยาง โดยทั่วไปแล้วในน้ำยางจะมีสารเบต้าแคโรทีน (β Carotene) ทำให้งามีสีเหลืองอ่อนดังนั้นหากต้องการผลิตยางเครฟที่มีสีขาวจึงจำเป็นต้องกำจัดสารให้สีดังกล่าวออกไปโดยการฟอกสารสียางด้วยสารเคมี เช่น Xylyl mercaptane (0.05 wt%) หรือ Toly mercaptan (0.05 wt%) และ Sodium bisulfate (0.5-0.75wt%) ก่อนที่จะทำการเติมกรดเพื่อให้งยางจับตัวกันเป็นก้อน

2.3 ยางแท่ง (Technically classified rubber) เนื่องจากยางแท่งและยางเครฟมีการจัดชั้นด้วยสายตาซึ่งให้ผลที่ไม่แน่นอน ด้วยเหตุนี้ อุตสาหกรรมยางส่วนใหญ่ในปัจจุบันจึงเริ่มเปลี่ยนมาใช้ยางแท่งหรือยางก้อนเป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์ยางแทน ทั้งนี้ยางแท่งเป็นยางที่มีคุณภาพสม่ำเสมอกว่ายางแผ่นและยางเครฟผ่านการทดสอบและจัดชั้นเพื่อรับรองคุณภาพตามหลักวิชาการการจัดชั้นของยางแท่งจะพิจารณาจากปริมาณของสิ่งสกปรกที่มีอยู่ในยางเป็นสำคัญ นอกจากนี้ก็อาจพิจารณาตัวแปรอื่นๆ ร่วมด้วยเช่น ปริมาณเถ้า ดัชนีความอ่อนตัว ฯลฯ ปัจจุบันประเทศไทยมีมาตรฐานยางแท่งเรียกว่า Standard Thai Rubber (STR) ซึ่งแต่เดิมเรียกว่า Thai Tested Rubber (TTR) ยางแท่งเป็นยางที่ผลิตขึ้นมาโดยอาศัยหลักการดังนี้คือเริ่มต้นนำยางมาทำให้เป็นก้อนเล็กๆ (เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2-3 มิลลิเมตร) เพื่อให้ง่ายต่อการชำระล้างสิ่งสกปรกออกไปด้วยน้ำและง่ายต่อการทำให้แห้งในขั้นตอนถัดไปหลังจากอบยางให้แห้งที่อากาศร้อนแล้วก็จะนำยางแท่งที่เป็นก้อนเล็กๆ เหล่านี้ไปอัดให้เป็นแท่งขนาดมาตรฐาน 330x670x170 มิลลิเมตร ที่มีน้ำหนักประมาณ 33.33 กิโลกรัม วัตถุดิบของการผลิตยางแท่ง ได้แก่ น้ำยางหรือแผ่นยางทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเกรดของยางแท่งที่ต้องการผลิต เช่น ต้องการผลิตยางแท่งเกรด STR XL หรือ STR 5L ซึ่งมีสีจางมาก (L ย่อมาจาก Light และ XL ย่อมาจาก Extra light) จำเป็นต้องใช้น้ำยางเป็นวัตถุดิบและใช้กรดฟอร์มิกในการทำให้อนุภาคน้ำยางจับตัวกันภายใต้สภาวะที่มีการควบคุมอย่างดี หรือถ้าต้องการผลิตยางแท่งเกรด STR 10 หรือ STR 20 ซึ่งเป็นเกรดที่มีสิ่งเจือปนสูงและมีสีเข้มกว่าก็อาจใช้ยางแผ่นหรือเศษยางขี้ยางเป็นวัตถุดิบ เป็นต้น ส่วนกระบวนการผลิตยางแท่งค่อนข้างจะยุ่งยากต้องอาศัยเครื่องจักรที่มีราคาแพงและต้องมีการควบคุมคุณภาพอย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นยางแท่งจึงมีราคาสูงกว่ายางแผ่นรมควัน ยางแท่งที่ใช้มากคือยางแท่งเอสทีอาร์ 20 (STR 20) เป็นยางแท่งประเภทที่มีการผลิตมากที่สุดโดยมีการผลิตจากการผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างซี่ยาง และยางแผ่น แล้วผ่านกระบวนการอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จากนั้นจึงนำยางที่แห้งแล้วไปชั่งน้ำหนักให้ได้ 33.33 กิโลกรัม อัดเป็นแท่งในเครื่องอัด แล้วบรรจุถุงพอลิเอทิลีน ยางแท่ง STR 20 เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตยางล้อรถยนต์ หรือเป็นส่วนประกอบในโมลด์ (Mold) เพื่อผลิตส่วนประกอบของรถยนต์ และสินค้าอื่นๆทั่วไป เช่น ยางขอบประตู ยางขอบหน้าต่าง ยางรองคอสสะพาน นอกจากนี้ยางแท่งยังมีข้อได้เปรียบคือ มีสมบัติสม่ำเสมอและมีการกำหนดเกรดตามสมบัติทางเทคนิคในการซื้อขายพร้อมใบรับรองคุณภาพ ไม่เหมือนกับยางแผ่นรมควัน ซึ่งกำหนดเกรดในการซื้อขายด้วยสิ่งที่มองเห็นด้วยสายตาเช่น ปริมาณสิ่งสกปรกและฟองอากาศ ฯลฯ ซึ่งสิ่งเหล่านี้ไม่ได้สะท้อนถึงสมบัติทางเทคนิคของเนื้อยางจึงเป็นข้อเสียเปรียบที่สำคัญของยางแผ่นรมควัน และยางสกินบล็อก

2.4 ยางสกินบล็อก (Skim block) หมายถึง ยางก้อนจากยางน้ำยางซึ่งทางน้ำยาง (Skim latex) เป็นส่วนแยกออกจากส่วนที่เป็นครีม (Concentrated latex) ในกระบวนการปั่นแยก (Centrifugation) รวบรวมส่วนที่เป็นสกินมาจับตัว รีด อบ อัดเป็นแท่ง จะได้สกินบล็อก หรือสกินเครพ ยางสกินมีข้อจำกัดในการใช้ด้านอุตสาหกรรม เพราะสมบัติด้านการกระดอน (Rebound) ต่ำ

ตารางที่ 2.3 มาตรฐานยางแท่งของไทย (Standard Thai Rubber)

Parameter	STR XL	STR 5L	STR 5	STR 10	STR 20
Dirt retained on 44 μ aperture(max,wt%)	0.02	0.04	0.04	0.08	0.16
Ash (max, wt%)	0.40	0.40	0.60	0.60	0.80
Nitrogen (max, wt%)	0.50	0.60	0.60	0.60	0.60
Volatile matter (max, wt%)	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
Initial plasticity (min)	35	35	30	30	30
Plasticity retention index (min)	60	60	60	50	40
Color lovibond scale (value, max)	4.0	6.0	-	-	-

ตารางที่ 2.4 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตยางแท่งที่ผลิตในประเทศไทย

ชั้นยางแท่ง	วัตถุดิบที่ใช้
STR XL, STR 5L	น้ำยางสด
STR 5	น้ำยางสด หรือยางแผ่น
STR 10, STR 20	ก้อนยางจับตัว

2.1.2 กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ยางและชิ้นรูปยาง

ยางดิบมีสมบัติที่ไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ได้โดยตรง จำเป็นต้องมีการผสมยางดิบกับสารเคมีต่างๆ เพื่อปรับสมบัติของยางให้ได้ตามความเหมาะสมกับสภาพการใช้งานของผลิตภัณฑ์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั้น และนำยางคอมปาวด์ที่ผสมได้ไปผ่านกระบวนการคงรูป (Vulcanization) ทำให้ยางมีโครงสร้างโมเลกุลแบบตาข่าย 3 มิติ (3-D network) หรือที่เรียกว่า การเกิด Crosslink ระหว่างโมเลกุลของยาง โดยทั่วไป ขั้นตอนการผลิตผลิตภัณฑ์ยางและขึ้นรูปยางเริ่มจาก การออกสูตรยางคอมปาวด์ จากนั้นบดผสมยางตามสูตรด้วยเครื่องบดสองลูกกลิ้งแล้วนำยางที่เตรียมเก็บไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง เพื่อให้ยางคลายตัวจากการบดผสมยางต่อจากนั้นหาเวลาที่ใช้ขึ้นรูปยาง และทำการอัดขึ้นรูปยางตามเวลาขึ้นรูปยางแล้วนำชิ้นงานออก ลำดับสุดท้ายจะเป็นการตัดตกแต่งชิ้นงานเพื่อนำไปใช้งานในลำดับ

2.1.2.1 การออกสูตรยาง

การออกสูตรยางเป็นสิ่งที่สำคัญมากต่อคุณภาพและต้นทุนของผลิตภัณฑ์ที่ได้ การออกสูตรยางจำเป็นต้องมีความรู้เกี่ยวกับสมบัติของยาง หน้าที่และความจำเป็นของการใช้สารเคมีผสมยาง รวมทั้งต้องพิจารณาถึงราคาของสารเคมีที่จะใช้ว่าเหมาะสมหรือคุ้มกับการผลิตผลิตภัณฑ์นั้นๆ เพราะต้นทุนการผลิตก็เป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงเป็นสิ่งแรกสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไปในการผลิตผลิตภัณฑ์ยาง พื้นฐานของส่วนผสมของสูตรประกอบด้วยสารกลุ่มต่างๆดังนี้

1. ยาง

การออกสูตรยางจะต้องทราบสมบัติของยางแต่ละชนิดเป็นอย่างดีคือ ต้องทราบข้อดีและข้อเสียของยางที่จะนำมาใช้ เช่น ยางธรรมชาติมีข้อดีคือ มีความแข็งแรงของเนื้อยางล้วน (Pure gum) ดีมาก นั่นคือไม่ต้องเติมสารเสริมแรงก็สามารถให้ความแข็งแรงได้ดีในขณะเดียวกันยาง EPDM มีความแข็งแรงของน้ำยางล้วนๆ สู้ยางธรรมชาติไม่ได้ แต่มีความทนทานต่อการเสื่อมสภาพเนื่องจากโอโซนและสภาพอากาศที่ดีกว่า เป็นต้น ปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีการผสมยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์มาใช้ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติที่ดีของยางแต่ละชนิดและยังมีผลต่อการลดต้นทุนการผลิตอีกด้วย

2. สารทำให้ยางคงรูป

สารทำให้ยางคงรูป (Vulcanizing agent or curing agent) สารกลุ่มนี้จะทำให้โมเลกุลของยางเกิดการเปลี่ยนแปลง ทำให้ยางอยู่ในสถานะที่ยึดหยุ่นได้สูง หรืออาจใช้คำว่า “คงรูป” แต่ตามโรงงานมักเรียกกันว่า “ยางสุก” สารทำให้ยางคงรูปแบ่งเป็น 2 ระบบใหญ่ๆ ได้แก่ ระบบที่ใช้กำมะถัน (Sulphur) นิยมใช้ในยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ส่วนใหญ่ที่มีพันธะคู่ในโมเลกุล และระบบที่ใช้เปอร์ออกไซด์ (Peroxide) ซึ่งนิยมใช้ในยางที่มีปริมาณพันธะคู่ในโมเลกุลต่ำนอกจาก 2 ระบบดังกล่าว ยังมีการใช้สารคงรูปพวกโลหะออกไซด์ เช่น แมกนีเซียมออกไซด์ และซิงค์ออกไซด์ (MgO/ZnO) ในยางสังเคราะห์บางชนิด เช่น ยางนีโอพรีน

(1) ระบบยางคงรูปโดยกำมะถัน (Sulphur vulcanization system) เป็นระบบที่เหมาะสมสำหรับการทำให้ยางที่มีปริมาณพันธะคู่ในโมเลกุลสูงคงรูป เช่น ยางธรรมชาติหรือยาง SBR เพราะพันธะคู่คือบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาวัลคาไนเซชันด้วยกำมะถัน การทำให้ยางคงรูปด้วยกำมะถันจะทำให้ยางที่ได้มีสมบัติเชิงกลที่ดี แต่มีความทนทานต่อความร้อนต่ำ ระบบนี้ประกอบด้วย

- กำมะถัน ซึ่งเป็นสารคงรูป
- สารเร่งให้ยางคงรูป (Accelerator) เช่น TMTD (Tetramethyl thiuram disulphide) MBT (2-Mercaptobenzothiazole) และ CBS (n-cyclohexylbenzothiazole-2-sulphenamide) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สารกระตุ้นสารเร่ง (Activator) ได้แก่ สารอินทรีย์พวกซิงค์ออกไซด์ (ZnO) สารอินทรีย์พวกกรด สเตอริก (Steric acid) และสารที่เป็นต่าง (นิยมใช้ในสูตรที่มีสารที่เป็นกรดหรือซิลิกา รวมอยู่)

(2) ระบบเปอร์ออกไซด์ (Peroxide system) ระบบนี้สามารถใช้ในการทำให้ยางเกือบทุกชนิดคงรูปโดยเฉพาะยางสังเคราะห์ที่ไม่มีหรือมีปริมาณพันธะคู่ในโมเลกุลต่ำ ยางที่คงรูปด้วยระบบนี้จะมีสมบัติเชิงกลที่ไม่ดีนัก ต้นทุนสูงกว่าระบบการคงรูปด้วยกำมะถัน และยางคงรูปที่ได้มักมีกลิ่น Acetophenone ซึ่งเป็นผลพลอยได้ (By-product) จากการทำปฏิกิริยาวัลคาไนซ์เซชันแต่ว่ายางจะมีความทนทานต่อความร้อนสูง

3. สารตัวเติม

สารตัวเติม (Filler) เป็นสารที่ใช้ผสมกับยางเพื่อช่วยเสริมแรง (Reinforcement) ให้ผลิตภัณฑ์ยางหรือเพื่อช่วยลดต้นทุนการผลิต สารตัวเติมที่ช่วยเสริมแรงจะเรียกว่า สารเสริมแรง (Reinforcing filler) ซึ่งจะเป็นสารที่มีขนาดอนุภาคที่เล็กมาก (มีพื้นที่ผิวสูง) ได้แก่ ผงเขม่าดำ (Carbon black) เกรตต่างๆ และผงเขม่าขาวหรือ ซิลิกา เป็นต้น ส่วนสารตัวเติมที่ไม่ช่วยเสริมแรง (Inert filler or non-reinforcing filler) แต่นิยมใช้เพื่อลดต้นทุนการผลิต ได้แก่ ดินขาว (Clay) แป้ง แคลเซียมคาร์บอเนต

2.1.2.2 การผสมยาง

การผสมยาง (Rubber Mixing) เป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดในการแปรรูปยาง ทำให้ยางดิบเกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งสมบัติทางฟิสิกส์ และองค์ประกอบทางเคมี เริ่มต้นด้วยการบดยางให้นิ่มลง แล้วจึงทำการเติมสารเคมีต่างๆ ลงไปโดยที่สารเคมีเหล่านี้จะช่วยให้ง่ายแปรรูปได้ง่ายขึ้นหรือเพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ในขั้นปลายมีสมบัติตามที่ต้องการ สารเคมีดังกล่าวอาจเป็นตัวเติม (Filler) หรืออาจเป็นตัวทำให้เกิดการวัลคาไนซ์ (Vulcanizing agent)

เครื่องมือหลักที่ใช้ในการผสมคือ เครื่องบดยางสองลูกกลิ้ง (Two roll mill) กับเครื่องผสมยางแบบปิด (Internal mixer) ยางที่ผสมสารเคมีเข้าไปแล้วเรียกว่า ยางผสมสารเคมี (Rubber compound หรือ Compound หรือ Mix) แต่ยางที่ผสมสารเคมีเพียงตัวเดียวหรือสองตัวมีชื่อพิเศษว่า "Masterbatch" ตัวอย่างเช่น 50% กำมะถัน Masterbatch หมายถึงยางดิบที่มีกำมะถันผสมอยู่ 50 ส่วนใน Compound 100 ส่วนเป็นต้น Masterbatch จะใช้ในกรณีที่สารเคมีดังกล่าวอาจจะกระจายยางได้ไม่ดีหรือใช้ในกรณีที่มีการใช้สารเคมีนั้นน้อยมาก อาจจะก่อให้เกิดการผิดพลาดได้ง่าย ถ้าสารเคมีฟุ้งกระจายหายไป เป็นต้น ส่วนยางและสารเคมีที่ใช้ในการผสมจะมีสัดส่วนที่แน่นอนตามสูตร (Compound recipe) โดยทั่วไปปริมาณที่ใช้จะบอกเป็นน้ำหนักเมื่อเทียบกับยางหนัก 100 ส่วน เรียกว่า phr หรือ pphr (Parts per hundred rubber) น้ำหนักขององค์ประกอบ phr นี้จะเป็นหน่วยน้ำหนักใดก็ได้ เช่น กิโลกรัม หรือ ปอนด์ เป็นต้น เช่น การใช้กรดสเตอริก 1 phr จะหมายถึง ถ้ามียาง 100 กิโลกรัม ก็จะใช้กรดสเตอริก 1 กิโลกรัม

2.1.2.3 ระบบการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติสามารถวัลคาไนซ์ได้หลายระบบด้วยกันคือ

1. ระบบกำมะถันแบบดั้งเดิม (Conventional vulcanization) หรือเรียกชื่อย่อ

ว่า ระบบ CV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลไกการเกิดปฏิกิริยารวกลไกไนซ์ด้วยกำมะถันเป็นระบบที่ใช้กันมากที่สุดในปัจจุบัน เพราะเป็นระบบที่มีต้นทุนต่ำ การวัลคาไนซ์เกิดขึ้นได้รวดเร็ว (เมื่อใช้กำมะถันร่วมกับสารตัวเร่งปฏิกิริยา ในปริมาณที่เหมาะสม) การเชื่อมโยงที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะเป็นแบบพอลิซัลฟิดิก (Polysulphidic cross-link) ภาพที่ 2.3 ยางที่ได้จะมีความยืดหยุ่นสูง มีสมบัติเชิงกล (เช่น ความทนทานต่อแรงดึง ความทนทานต่อการฉีกขาด และการยืดตัว ณ จุดขาด) สมบัติเชิงพลวัตรวมถึงความต้านทานต่อการล้าตัว (Fatigue resistance) ที่ดี และมีสมบัติในการต้านการตกผลึกที่อุณหภูมิต่ำดีมาก ด้วยเหตุนี้ ระบบการวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถันจึงนิยมใช้ในการวัลคาไนซ์ยางแทบทุกชนิดที่มีพันธะคู่อยู่ในโมเลกุล โดยเฉพาะยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ส่วนใหญ่ แต่ระบบการวัลคาไนซ์นี้ไม่ต้านสมบัติการ Reversion เช่น สมบัติจะต่ำเมื่ออบสุกเกินไป หรือเสื่อมเนื่องจากการถูกออกซิไดซ์ สมบัติในการทนทานต่อความร้อน การต้านความเสื่อม และสมบัติการยุบตัวอย่างถาวรเนื่องมาจากแรงอัด (Compression set) จะด้อยกว่าระบบอื่นๆ

ถ้ามีพันธะคู่มาผสมกับกำมะถันและให้ความร้อน ปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ก็จะเริ่มเกิดขึ้นผ่านอนุมูลอิสระ โดยเริ่มแรกกำมะถัน (S_8) ที่มีโครงสร้างทางเคมีเป็นแบบวงแหวนจะแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระ

อิเล็กตรอนของอนุมูลอิสระซึ่งอยู่ที่ปลายด้านหนึ่งก็จะเข้าทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของยาง (สายโซ่ที่ 1) ในขณะที่อิเล็กตรอนซึ่งอยู่ที่ปลายอีกด้านหนึ่งของอนุมูลอิสระก็จะเข้าทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของยางอีกสายโซ่หนึ่ง (สายโซ่ที่ 2) เกิดเป็นการเชื่อมโยงทางเคมีขึ้น อย่างไรก็ตามปฏิกิริยาดังกล่าวเกิดขึ้นได้ช้ามาก จำเป็นต้องใช้อัตราส่วนของปริมาณกำมะถันต่อสารตัวเร่งปฏิกิริยาสูง และต้องใช้อุณหภูมิสูงมากๆ จึงจะทำให้ปฏิกิริยาดังกล่าวเกิดขึ้นได้ดี

ตัวอย่าง การใช้กำมะถันและสารตัวเร่งในระบบ CV ในหน่วย phr เป็นดังนี้

กำมะถัน 2-3.5 + Sulphenamide 0.5-1

กำมะถัน 2-3.5 + Thiazole 0.5-1 + DPG หรือ TMTD 0.1-0.5

กำมะถัน 2-3+ Thiuram หรือ Dithiocarbamate 0.3

2. ระบบการวัลคาไนซ์แบบประสิทธิภาพ (Efficient vulcanization) หรือเรียกชื่อย่อว่า ระบบ EV

ในระบบการวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถันนี้ การเชื่อมโยงส่วนใหญ่จะเป็นแบบมอนอซัลฟิดิก (Monosulfidic) หรือไดซัลฟิดิก (Disulfidic) ภาพที่ 2.3 โดยอัตราส่วนของกำมะถันต่อสารตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ มีปริมาณกำมะถันอยู่น้อยมากๆ หรือมีอัตราส่วนของกำมะถันต่อสารตัวเร่งปฏิกิริยาต่ำ หรือในบางครั้งอาจไม่จำเป็นต้องเติมกำมะถันลงในระบบเลย แต่ใช้สารตัวเร่งปฏิกิริยาที่สามารถให้กำมะถันออกมาในระหว่างกระบวนการวัลคาไนซ์ (Sulfur donor accelerator) แทนได้แม้ว่ายางที่คงรูปด้วยระบบ EV จะมีสมบัติทั้งเชิงกลเชิงพลวัตที่ไม่ดีเท่ากับยางที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบ CV แต่ว่ายางที่ได้ก็จะมี ความทนทานต่อความร้อนที่ดีกว่า มีค่าการยุบตัวอย่างถาวรอันเนื่องมาจากแรงอัดที่ต่ำกว่า (โดยเฉพาะที่อุณหภูมิสูงๆ) มีความต้านทานต่อการเสื่อมสภาพเมื่ออบคงรูปนานเกินไป (Over curing) ได้ดีกว่า และมีสมบัติต้านการเสื่อมเมื่อถูกออกซิไดซ์ที่ดีกว่า

ยางที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบ EV จะมีความทนทานต่อความร้อนสูงกว่ายางที่คงรูปด้วยระบบ CV เนื่องจากพลังงานพันธะของ C-S (~279 kJ/mol) มีค่าสูงกว่าพลังงานพันธะของ S-S (~206 kJ/mol) พันธะแบบมอนอซัลฟิดิกจึงทนต่อการเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนได้ดีกว่าพันธะแบบพอลิซัลฟิดิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง การใช้กำมะถันและสารตัวเร่งในระบบ EV ในหน่วย phr เป็นดังนี้

กำมะถัน 0.5 + CBS 6

กำมะถัน 0.3+ CBS 3 + TMTD 2 ให้ยางที่มีโมดูลัสสูง

กำมะถัน 0.25+ CBS 1.8 + TMTD 1.2 ให้ยางที่มีโมดูลัสต่ำ

กำมะถัน 0.7+ MBS 1.7 + TBTD 0.7 ระบบ Soluble EV

3. ระบบการวัลคาไนซ์แบบกึ่งประสิทธิภาพ (Semi efficient vulcanization) หรือเรียกชื่อย่อว่า ระบบ Semi-EV

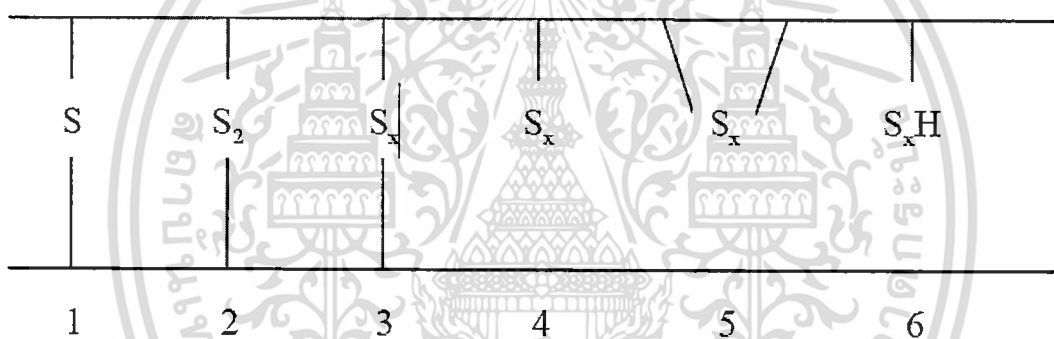
ในระบบการวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถันนี้ ใช้กำมะถันและสารตัวเร่ง กึ่งกลางระหว่างการ ใช้กำมะถันและสารตัวเร่งในระบบ CV กับระบบ EV ทำให้สมบัติทั้งเชิงกลและความต้านทานต่อการเสื่อมสภาพอยู่ระหว่างทั้งสองระบบนี้

ตัวอย่าง การใช้กำมะถันและสารตัวเร่งในระบบ EV ในหน่วย phr เป็นดังนี้

กำมะถัน 2.0 + Sulphenamide 1.0

กำมะถัน 1.5 + Sulphenamide 1.5

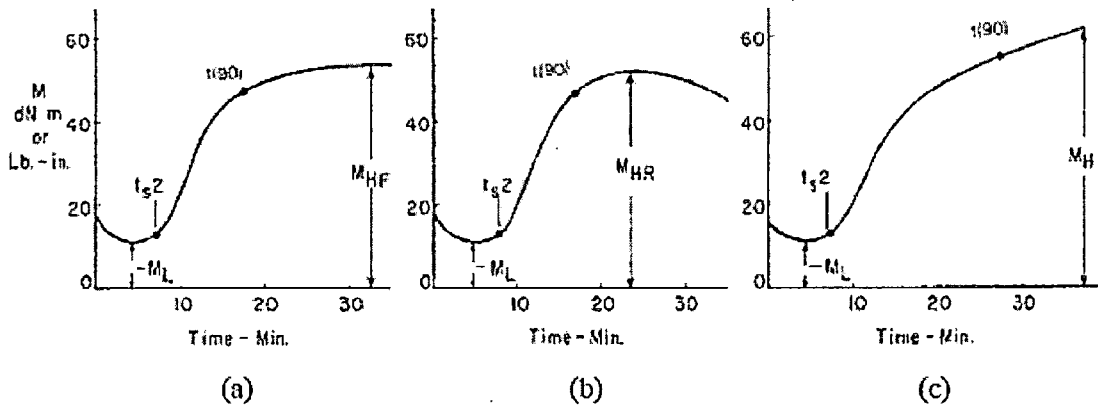
กำมะถัน 1.0 + Sulphenamide 2.0



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างการเชื่อมโยงแบบต่างๆ: (1) มอนอซัลไฟดิก (2) ไดซัลไฟดิก (3) พอลิซัลไฟดิก เมื่อ $x \geq 3$ (4) สายโซ่กำมะถัน (5) โครงสร้างแบบวง และ (6) หมู่ไทออล (Thiol) (พงษ์ธร, 2548)

2.1.2.4 ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยาง

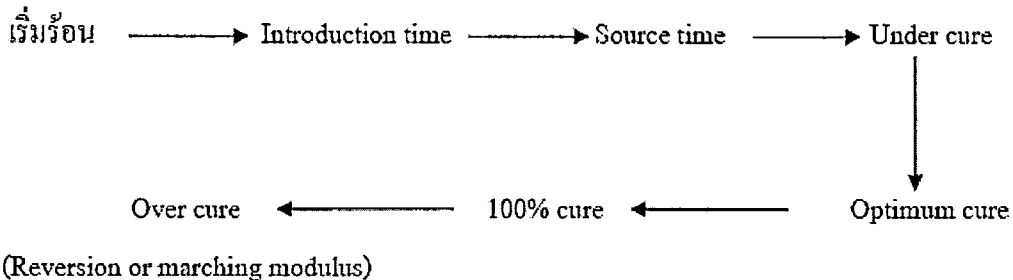
ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติ ยางธรรมชาติอีพ็อกไซด์ ยางสไตรีนบิวทาไดอื่น มีลักษณะการวัลคาไนซ์ได้ 3 แบบ คือ แบบพลาโต (plateau หรือ flat) แบบรีเวอร์ชัน (reversion หรือ peaky cure) และแบบมาร์ชชิง ซึ่งกราฟการวัลคาไนซ์แสดงได้ดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 กราฟแสดงการวัลคาไนซ์แบบต่างๆ (a) แบบพลาโต (b) แบบรีเวอร์ชัน (c) แบบมาร์ชชิ่ง (ASTM D2084)

2.1.2.5 ลักษณะการที่ยางสุกหรือวัลคาไนซ์

เมื่อนำยางคอมปาวด์มาทำให้ร้อน สารเคมีที่อยู่ในยางจะเริ่มต้นเกิดปฏิกิริยา ในตอนเริ่มต้นนี้ สารเคมีจะเริ่มเกิดการแตกตัว หรือทำปฏิกิริยากันเอง ช่วงนี้จะใช้เวลาช้าหรือเร็วขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และ ชนิดของสารเคมีที่ใช้ โดยทั่วไปถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นระยะเวลาดังกล่าวจะสั้นลง ช่วงเริ่มต้นก่อนที่สารเคมี จะเข้าทำปฏิกิริยากับยางนี้ เรียกว่า Induction time เวลาต่อมาสารเคมีก็จะเข้าทำปฏิกิริยากับยาง ก่อให้เกิดการ Crosslink ทำให้โมดูลัสของยางสูงขึ้นและยางแข็งขึ้นระยะเวลาที่ยางเกิดการแข็งตัวอย่าง เห็นได้ชัดเรียกว่า Scorch time เมื่อยางเกิดการ Scorch แล้วยางจะแปรรูปได้ยาก เมื่อยางทำปฏิกิริยา ต่อยางก็จะแข็งขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งสารเคมีกระทำกับยางหมดยางก็จะแข็งสูงสุด ระยะเวลาดังกล่าว เรียกว่า 100% Vulcanozation time หรือ 100% Cure time แต่หากปล่อยให้เกิดการวัลคาไนซ์จนถึง 100% อาจใช้เวลานานเกินไป ทำให้สมบัติอื่นๆ อาจต่ำลงดังนั้นโดยทั่วไปจะทำการทดสอบเพียง 90% หรือ 95% Cure time ซึ่งถือว่าเป็น Optimum cure ก็ได้ยางที่ได้รับความร้อนไม่ถึง Optimum cure เรียกว่าเกิด Under cure (ยางไม่สุก) จะทำให้ยางมีสมบัติที่ไม่ดี แต่ถ้าหากปล่อยให้ได้รับความร้อน มากกว่า 100% เรียกว่าเกิด Over cure คือ ถ้ายางนิ่มลงทำให้โมดูลัสลดลงเรียกว่าเกิด Reversion แต่ ถ้ายางแข็งขึ้นเรียกว่าเกิด Marching modulus ยางคอมปาวด์บางชนิดเกิด Reversion ได้ง่าย เรียกว่า ยางนั้นมีลักษณะเป็น Peaky cure แต่ยางที่สามารถรักษาโมดูลัสไม่ให้ตกลงไปได้นานถึงแม้ว่าจะเกิน 100% cure แล้ว ยางคอมปาวด์นั้นเรียกว่าเป็นยางที่มี Flat cure หรือ Plateau cure ดังนั้นเมื่อให้ ความร้อนแก่ยางผสมสารเคมี ก็จะเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องผ่านลำดับขั้นตอนต่างๆ ดังรูปที่ 2.5 (คู่มือ ปฏิบัติการเรียนการสอนเรื่องยาง, 2548)



ภาพที่ 2.5 ขั้นตอนการวัลคาไนซ์ยางคอมปาวด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.6 การทดสอบสมบัติเชิงกลของยางวัลคาไนซ์

1. ค่าความแข็ง (hardness)

ความแข็งของยางหมายถึงความต้านทานของพื้นผิวต่อการทะลุทะลวงของตัวกดที่มีขนาดเฉพาะและภายใต้แรงกดที่กำหนด เครื่องวัดความแข็งของยางมีหลายชนิดแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวกดและแรงที่ใช้กดลงบนพื้นผิว สเกลที่ใช้วัดจะเริ่มตั้งแต่ศูนย์ (สำหรับยางที่อ่อนมากๆ) จนถึง 100 (สำหรับยางที่แข็งมาก) แรงที่ใช้กดอาจมาจากน้ำหนักที่คงที่หรืออาจใช้สปริงแทนก็ได้ หน่วยที่ใช้สำหรับวัดความแข็งของยางมีอยู่ 2 หน่วยคือ IRHD (International rubber hardness degrees) และชอร์ (Shore unit) ซึ่งการวัดความแข็งในหน่วย IRHD นั้นจะใช้ลูกกลมแข็งแทนตัวกดและแรงกดจะมาจากน้ำหนักที่คงที่ ส่วนเครื่องวัดความแข็งที่ให้หน่วยชอร์นั้นเรียกว่าเครื่องดูโรมิเตอร์ ซึ่งมี 2 แบบคือแบบชอร์เอ (Shore A) และแบบชอร์ดี (Shore D) ได้แก่

1) เครื่องดูโรมิเตอร์แบบชอร์เอใช้สำหรับวัดความแข็งของยางที่อ่อนมากๆ จนถึงยางที่มีความแข็งค่อนข้างมาก (90 ชอร์เอ) ตัวกดของเครื่องดูโรมิเตอร์แบบชอร์เอจะเป็นแท่งรูปโคนที่ทื่อ ดังแสดงในภาพที่ 2.6

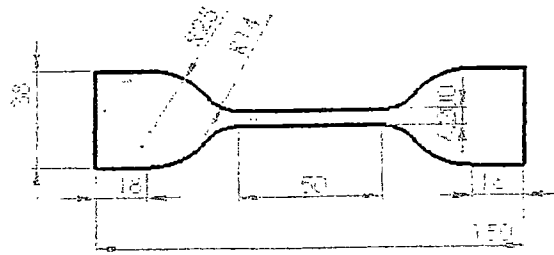
2) เครื่องดูโรมิเตอร์แบบชอร์ดีใช้สำหรับวัดความแข็งของยางที่แข็งมากๆ (มากกว่า 90 ชอร์เอ) ตัวกดของเครื่องดูโรมิเตอร์แบบชอร์ดีจะเป็นแท่งรูปโคนที่แหลม ดังแสดงในรูป 2.6



ภาพที่ 2.6 หัวกดแบบต่างๆ สำหรับการวัดค่าความแข็ง

2. ค่าความทนทานต่อแรงดึง (Tensile strength)

สมบัติเชิงกลของยางที่สำคัญ ได้แก่ การทนทานต่อแรงดึง การยืดตัว ณ จุดขาด และมอดูลัส ซึ่งสมบัติต่างๆ เหล่านี้สามารถวัดได้โดยการดึงขึ้นตัวอย่างมาตรฐานรูปดัมเบลที่อัตราการดึงคงที่ด้วยเครื่องทดสอบที่เรียกว่า “Universal testing machine” ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ค่าที่วัดได้จากการทดสอบจะเป็นค่าแรงดึงที่แปรผันตามระยะการดึง ซึ่งสามารถนำค่าเหล่านี้ไปคำนวณหาค่าความเค้น (Stress, σ) และความเครียด (Strain, ϵ) ได้จากสมการ 2.1 และ 2.2 ตามลำดับ เนื่องจากการทดสอบ พื้นที่หน้าตัดของยางจะมีค่าไม่คงที่ กล่าวคือพื้นที่หน้าตัดของยางจะลดลงตามระยะทางที่ยางยืดตัว ด้วยเหตุนี้ ในการทดสอบส่วนใหญ่จึงนิยามกำหนดให้พื้นที่หน้าตัดของยางมีค่าคงที่ตลอดการทดสอบคือมีค่าเท่ากับค่าพื้นที่หน้าตัดตั้งต้น (ซึ่งมีค่าเท่ากับควมกว้างตั้งต้นคูณกับความหนาตั้งต้นของชิ้นทดสอบ)



ภาพที่ 2.7 ตัวอย่างทดสอบรูป Dumb-bell ตามมาตรฐาน ASTM D412

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.1)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (2.2)$$

โดย

σ = ค่าความเค้น (Pa)

ε = ค่าความเครียด

F = ค่าแรงดึง (N)

A = ค่าพื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบ (m^2)

ΔL = ระยะที่ย่างเกิดการยืดตัว (m^2)

L_0 = ความยาวตั้งต้นของชิ้นทดสอบ (m^2)

ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด ทำการทดสอบเหมือนการทดสอบความทนต่อแรงดึง ค่าที่ได้จะวัดโดยการอ่านระยะชิ้นที่ทดสอบสามารถยืดตัวได้จนขาด รายงานผลเป็นเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการยืดตัว ตามสูตรในการคำนวณ ดังนี้

$$(\text{Elongation, \%}) = \left[\left(\frac{L - L_0}{L_0} \right) \right] \times 100 \quad (2.3)$$

โดย

L = ระยะชิ้นงานที่ระยะสุดท้ายก่อนขาด (mm)

L_0 = ระยะชิ้นงานก่อนการทดสอบ (mm)

$$\text{การคำนวณค่าความยืดหยุ่น (Tensile modulus) } E = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \varepsilon} \quad (2.4)$$

1) การทนทานต่อแรงดึง

คือค่าแรงดึงสูงสุดต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่หรือค่าความเค้นสูงสุดที่ใช้ในการดึงชิ้นทดสอบมาตรฐานจนขาดที่อัตราการดึงคงที่ ซึ่งมีหน่วยเป็น MPa หรือ N/mm^2 ยางแต่ละชนิดจะมีค่าการทนทานต่อแรงดึงแตกต่างกัน ยางที่สามารถแตกผลึกได้ในขณะที่ถูกดึงหรือได้รับความเครียด เช่น ยางธรรมชาติและยางนีโอพรีน จะมีค่าการทนทานต่อแรงดึงสูงกว่ายางที่ไม่สามารถแตกผลึกได้ อย่างไรก็ตาม การเติมสารตัวเติมชนิดต่างๆ รวมถึงระบบการคงรูปก็ส่งผลโดยตรงต่อสมบัติแรงดึงของยาง โดยทั่วไปค่าการทนทานต่อแรงดึงของยางจะอยู่ในช่วง 7 MPa ถึงมากกว่า 45 MPa ขึ้นอยู่กับชนิดของยางและ

สูตรการผสมเคมี
 วิทยาลัยเทคโนโลยีอาชีวศึกษาสุรนารี
 ไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การยืดตัว

คือการยืดตัวของชิ้นทดสอบที่เกิดขึ้นจากแรงดึง ซึ่งจะแสดงในรูปร้อยละการยืดตัวเมื่อเปรียบเทียบกับความยาวเริ่มต้น เช่น การยืดตัวที่ 300 % หมายถึงชิ้นตัวอย่างถูกยืดออกไปจนมีความยาวเป็น 4 เท่าของความยาวเริ่มต้น ค่าการยืดตัว ณ จุดขาด คือระดับการยืดตัว ณ จุดขาดของชิ้นทดสอบ ซึ่งค่าความเค้น ณ จุดนี้ก็คือค่าการทนทานต่อแรงดึงนั่นเอง โดยทั่วไป การยืดตัว ณ จุดขาดของยางมีค่าอยู่ในช่วง 100% ถึงมากกว่า 1000% ขึ้นอยู่กับชนิดของยางและสูตรการผสมเคมีส่วนค่าความเครียดก็สัมพันธ์กันโดยตรงกับค่าการยืดตัวของยางเพราะค่าความเครียดคืออัตราส่วนของระยะที่ยางยืดตัวต่อความยาวตั้งต้นของยาง ด้วยเหตุนี้ เมื่อยางยืดตัวมากขึ้น ค่าความเครียดของยางก็จะสูงขึ้นตามไปด้วยเช่นกัน

3) โมดูลัส

สำหรับยางแล้ว ค่าโมดูลัสจะหมายถึงความเค้น (ในหน่วย MPa หรือ N/mm²) ที่ต้องใช้ในการยืดยางให้ได้ค่าการยืดตัวตามที่กำหนดไว้ (โดยทั่วไปจะกำหนดการยืดตัวไว้ที่ 100% และ 300%) เช่น หากยางมีค่า 100% โมดูลัสเท่ากับ 5 MPa หมายถึงการที่จะดึงยางให้ได้ 100% ของการยืดตัวจะต้องใช้ความเค้นเท่ากับ 5 MPa เนื่องจากค่าโมดูลัสจะสะท้อนให้เห็นถึงความสามารถในการต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของยาง ดังนั้นจึงนิยมใช้ค่าโมดูลัสของยางในการบ่งชี้สมบัติความแข็งแรง และระดับของการเชื่อมโยงของยาง โดยทั่วไป ค่า 100% โมดูลัสของยางอยู่ในช่วง 1 MPa ถึงมากกว่า 13 MPa ขึ้นอยู่กับสูตรการผสมเคมี

2.1.3 เส้นใย (Fiber)

เส้นใยหมายถึงวัสดุหรือสารใดๆ ทั้งที่เกิดจากธรรมชาติและมนุษย์สร้างขึ้นที่มีอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง (Aspect ratio) เท่ากับหรือมากกว่า 100

2.1.3.1 ประเภทของเส้นใย

ประเภทของเส้นใยสามารถแยกประเภทได้หลายแบบขึ้นอยู่กับลักษณะการแบ่งโนที่นี้จะแบ่งตามแหล่งกำเนิดของเส้นใยซึ่งจะแบ่งได้เป็นสองประเภทใหญ่ๆคือเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยประดิษฐ์ในกลุ่มของเส้นใยธรรมชาติก็ยังสามารถแบ่งย่อยได้อีกเป็นเส้นใยที่มาจากพืชจากสัตว์และจากแร่ส่วนเส้นใยประดิษฐ์สามารถแยกเป็นเส้นใยประดิษฐ์จากธรรมชาติเส้นใยสังเคราะห์และเส้นใยที่ประดิษฐ์จากวัสดุอื่นๆ

1. เส้นใยธรรมชาติ (Natural fiber) หมายถึงเส้นใยที่เกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติ

1.1 เส้นใยจากพืช เช่น ฝ้าย ปอ ป่านและขนุน

1.2 เส้นใยจากสัตว์ เช่น ขนสัตว์ ไหม และผม

1.3 แร่ เช่น แร่ใยหิน

2. เส้นใยประดิษฐ์ (man-made fiber) หมายถึงเส้นใยที่ผลิตออกมาโดยเป็นเส้นใยที่ไม่มีอยู่ในธรรมชาติ

2.1 ประดิษฐ์จากธรรมชาติเช่นเรยอนอะซิเตตและไตนอะซิเตต

2.2 เส้นใยสังเคราะห์เช่นโอเลอินพอลิเอสเตอร์พอลิอรามิดและไนลอน

2.3 แร่และเหล็กเช่นโลหะแก้วเซรามิกและกราไฟต์

เส้นใยธรรมชาติ

เส้นใยธรรมชาติเป็นอินทรีย์วัสดุที่สำคัญหาได้ง่ายจากธรรมชาติมีปริมาณมากสามารถเกิดขึ้นได้ใหม่เรื่อยๆและมีราคาถูกกว่าเส้นใยสังเคราะห์ด้วยเหตุนี้เส้นใยธรรมชาติจึงนิยมใช้เป็นสารตัวเติมและสารเสริมแรงเพื่อเป็นการลดต้นทุนเพิ่มปริมาณการผลิตและเสริมแรงให้แก่ผลิตภัณฑ์ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของเส้นใยที่นำมาใช้โครงสร้างโดยทั่วไปของเส้นใยธรรมชาติประกอบด้วยเซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemi cellulose) และสารประกอบอื่นๆดังนี้

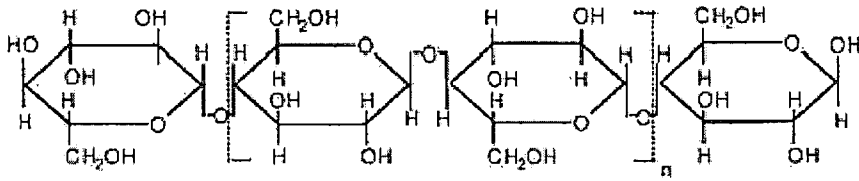
ตารางที่ 2.5 แสดงความหนาแน่นและสมบัติเชิงกลของเส้นใยธรรมชาติแต่ละชนิด

Material (Fiber)	Density (g/cm ²)	Tensile strength (MPa)	Young' modulus (GPa)	Elongation at Break (%)
Flax	1.45	500-900	50-70	1.5-4.0
Hemp	1.48	350-800	30-60	1.6-4.0
Kenaf	1.43	400-700	25-50	1.7-2.1
Jute	1.3	300-700	20-50	1.2-3.0
Bamboo	1.4	500-750	30-50	2.0
Sisal	1.5	300-500	10-30	2-5
Coconut/Coir	1.2	150-180	4-6	20-40
Banana	1.35	500	12	5.9
Palmyra	0.7-1.2	196	2.5-5.4	2.0-4.5
Oil plam	0.7-1.55	150-500	0.57-9	4-18

เซลลูโลส

เส้นใยธรรมชาติจากพืชทุกชนิดจัดเป็นเส้นใยประเภทเซลลูโลสที่มีองค์ประกอบด้วยธาตุหลักคือ คาร์บอน 44.4% ไฮโดรเจน 6.2% และออกซิเจน 49.4% มีโครงสร้างประกอบด้วยหน่วยขั้นพื้นฐานซึ่งเรียกว่า anhydro-d-glucose (C₆H₁₀O₅) ต่อกันเป็นลูกโซ่โมเลกุลยาวดังแสดงในรูปที่ 2.8 แต่ละหน่วยของกลูโคสประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลทั้งหมด 3 หมู่ด้วยกัน (เป็น primary group 1 หมู่ secondary group 2 หมู่) ซึ่งเหมือนกับโครงสร้างของน้ำตาลทั่วไปแต่เนื่องจากโมเลกุลต่อกันยาวเป็นโซ่ทำให้ไม่ละลายน้ำเหมือนกับที่เกิดกับน้ำตาลโครงสร้างทางเคมีนั้นนับว่ามีบทบาทอย่างยิ่งต่อการกำหนดสมบัติของเส้นใยกล่าวคือหมู่ไฮดรอกซิล 6(-OH) จะเป็นตัวดึงดูดน้ำทำให้มีความสามารถในการดูดซึมความชื้นได้ดีอีกทั้งเป็นจุดที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยากับกรดแอซิดิกได้เป็นเซลลูโลสแอซิดหรือเส้นใยประติษฐานิดแอซิดที่ตนเองลักษณะการเรียงตัวเป็นลูกโซ่โมเลกุลยาวทำให้มีความแข็งแรงสูงตามไปด้วยนอกจากนั้นแล้วในโครงสร้างบริเวณที่เป็นการต่อกับของธาตุ C-O-C จะเป็นบริเวณที่ถูกทำลายได้ด้วยผลจากการเกิดออกซิเดชันหรือจากการถูกทำลายด้วยสภาพภูมิอากาศทำให้โมเลกุลยาวขาดลงกลายเป็นส่วนเล็กๆ คลายน้ำตาลและกลายเป็นอาหารของพืชและสัตว์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.8 แสดงโครงสร้างทางเคมีของโมเลกุลของเซลลูโลส

สมบัติทางกายภาพของเซลลูโลส

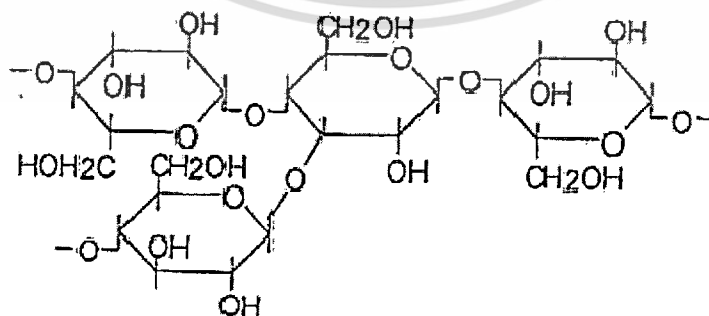
1. การละลายเซลลูโลสไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้ในกรดเข้มข้นเช่นกรดไฮโดรคลอริก (hydro acid) กรดซัลฟิวริก (sulfuric acid) เป็นต้นโดยเซลลูโลสจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสอย่างรวดเร็วในสารละลายกรดที่อุณหภูมิห้องและหยุดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่ำซึ่งเซลลูโลสจะสามารถขยายตัวได้ในสารละลายของเกลือเข้มข้นบางชนิดเช่นสารละลายของเกลือเข้มข้นบางชนิดเช่นสารละลายแอลคาไฮดรอกไซด์ (Alkali hydroxide)

2. ความหนืดเป็นสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งของเซลลูโลสโดยถ้าความเข้มข้นของเซลลูโลสเพิ่มขึ้นจะทำให้เซลลูโลสเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วมีผลทำให้มีสมบัติทางกายภาพที่ดี

3. การดูดซับความชื้นเซลลูโลสส่วนใหญ่จะมีการดูดซับความชื้นโดยปริมาณความชื้นที่เซลลูโลสดูดซับมีผลต่อสมบัติทางกายภาพบางประการของเส้นใยเช่นเมื่อความชื้นสูงขึ้นเส้นใยจะมีความทนต่อแรงดึงเพิ่มขึ้น

เฮมิเซลลูโลส (Hemi-Cellose)

เฮมิเซลลูโลสเป็นสารประกอบพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดหนึ่งซึ่งคล้ายกับเซลลูโลสเฮมิเซลลูโลสพบในเยื่อของพืชโดยรวมอยู่กับสารประกอบอื่นๆเช่นลิกนินและเซลลูโลสโดยเฮมิเซลลูโลสเป็นโครงสร้างของผนังเซลล์ประกอบด้วยไซแลนด (xylans) ซึ่งมีน้ำตาลไซโลส (xylose) แมนแนน (mannans) ซึ่งมีน้ำตาลแมนโนส (mannose) และกาแลคแตน (galactans) ซึ่งประกอบด้วยน้ำตาลกาแลคโตส (galactose) นอกจากนี้ยังมีกลูโคสแมนแนนซึ่งประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลแมนโนสไซโลกลูแคนประกอบด้วยน้ำตาลไซโลสและน้ำตาลกลูโคสและแคลโลสซึ่งประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสที่เกาะกันแบบ B-1,3-glycosidic bond โดยเฮมิเซลลูโลสจะมีโครงสร้างเป็นแบบอสัณฐานซึ่งมีความแข็งแรงน้อยและถูกไฮโดรไลซิสได้ง่ายในกรดเจือจางโครงสร้างทางเคมีแสดงในภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 แสดงสูตรโครงสร้างทางเคมีของโมเลกุลเฮมิเซลลูโลส

ลิกนิน

ลิกนินเป็นส่วนประกอบที่สำคัญอย่างหนึ่งของพืช โดยเป็นพืชที่เป็นไม้เนื้อแข็งจะมีสัดส่วนของลิกนินประมาณร้อยละ 17-25 และในไม้เนื้ออ่อนมีสัดส่วนประมาณร้อยละ 24-32 และในเส้นใยที่ได้จากเปลือกของลำต้น (bast fibres) เช่นป่านลินินป่านนิลิตาและปอจะมีอยู่เล็กน้อยและแทบจะไม่มีเลย เส้นใยฝ้ายลิกนินเป็นสารประกอบเชิงซ้อนมีน้ำหนักโมเลกุลสูงมักพบอยู่ร่วมกับเซลลูโลสจะเกาะกันอยู่ในชั้นระหว่างใย (middle lamella) ซึ่งทำหน้าที่ยึดเกาะเส้นใยเข้าด้วยกันและมีบางส่วนอยู่ในเส้นใยด้วยลิกนินเป็นสารที่ประกอบด้วยคาร์บอนไฮโดรเจนและออกซิเจนรวมกันเป็นหน่วยย่อยหลายชนิดซึ่งเป็นสารอะโรมาติกลิกนินไม่ละลายน้ำไม่มีสมบัติทางการยืดหยุ่นดังนั้นจึงทำให้พืชที่มีลิกนินมากมีความแข็งแรงทนทานและมีความต้านทานต่อสารเคมีได้

ลิกนินและอนุพันธ์ของลิกนินสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวางดังนี้

1. ใช้เป็นสารยึดติด (adhesives) เช่นสารกั้นซึม (sizes) สารเชื่อมติด (binders) และสารเคลือบ (Coatings) ในอุตสาหกรรมกระดาษ
2. ใช้ในด้านเคมีภัณฑ์เกษตร (agricultural chemicals) ได้แก่ เคมีภัณฑ์ปรับปรุงดิน เคมีภัณฑ์ควบคุมฝูง ปุ๋ย ยาฆ่าแมลง ยากำจัดวัชพืช ใช้ในการหมัก และเป็นสารตัวเติมแต่งในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ เป็นต้น
3. ใช้ผสมในซีเมนต์ เพื่อเพิ่มสมบัติให้กับซีเมนต์ เช่น ช่วยให้การแข็งตัวของซีเมนต์ดีเพิ่มความแข็งแรง มีความคงทน
4. ใช้ในอุตสาหกรรมขุดเจาะน้ำมัน เช่น drilling fluids และ oil well sealants ไม้แต่ละชนิดจะมีอัตราส่วนระหว่างเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับชนิดและอายุของไม้ โดยไม้ที่มีลิกนินมาก จะมีความแข็งแรงสูง และในไม้ชนิดเดียวกัน ไม้ที่มีอายุมาก จะมีปริมาณลิกนินมากเช่นเดียวกัน จากตารางที่ 2.6 แสดงส่วนประกอบของเส้นใยธรรมชาติชนิดต่างๆ

ตารางที่ 2.6 ส่วนประกอบของเส้นใยธรรมชาติชนิดต่างๆ

ชนิดของเส้นใย	เซลลูโลส (%)	เฮมิเซลลูโลส (%)	ลิกนิน (%)
กล้วย	60-65	25-30	5-8
สับปะรด	80	16-19	12.0
มะพร้าว	43	<1	45.0
ลินิน	70-72	14	4-5
ปอกระเจา	61-63	13	5-13
ฝ้าย	90	6	-
ป่านรามิ	80-85	3-4	0.5
ป่านศรนารายณ์	60-67	10-15	8-12
ฟางข้าว	40	28	18.0
ไม้	45-50	23	27.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นใยแก้ว (Fiber glass)

ไฟเบอร์กลาสหรือใยแก้วเป็นวัสดุสังเคราะห์ที่เกิดจากการหลอมละลายและแข็งตัวของ Silica ซึ่งเป็นวัตถุดิบจากแก้วที่การเผาในอุณหภูมิสูงๆ ประมาณ 1,000 องศาเซลเซียสขึ้นไปตั้งแต่ 50-800 นาที ซึ่งทั่วไปแล้วใยแก้วจะประกอบด้วย SiO_2 52.72%, Al_2O_3 0.6-1.6%, CaO 10.25%, MgO 0-2.5%, B_2O_3 1-13%, $\text{Na}_2\text{O-K}_2\text{O}$ 0-14.2% และ SO_3 0.7 % โดยทั่วไปจะแบ่งประเภทของใยแก้วออกเป็นชนิดต่างๆดังนี้

A glass (Alkali) ใช้สำหรับงานที่ต้องการทนสารเคมีเป็นต่าง

C glass (Chemical) ใช้สำหรับงานที่ต้องการทนสารเคมีที่เป็นกรดและกัดกร่อน

E glass (Electrical) ใช้สำหรับงานที่ต้องการรับแรงและเป็นฉนวนป้องกันไฟฟ้าได้ดี

S glass (High Strength) ใช้สำหรับงานที่ต้องการรับแรงสูงกว่าชนิด E

สำหรับ E glass เป็นเส้นใยแก้วที่ใช้กันมากที่สุดและใช้กับกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง ได้จากสารประกอบของ Lime-aluminum-borosilicate โดยประกอบด้วย SiO_2 52-56%, Al_2O_3 12-16%, CaO 16-25% และ B_2O_3 8-13% ซึ่ง E glass บริสุทธิ์มีค่าความแข็งแรงถึง 3.44 GPa และ Modulus of Elasticity 72.3 GPa

2.1.3.2 สมบัติของเส้นใย

ความแตกต่างของเส้นใยขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางกายภาพองค์ประกอบทางเคมีและการจัดเรียงตัวของโมเลกุลซึ่งส่วนผสมและความแตกต่างในปัจจุบันทั้งสามนี้ทำให้เส้นใยมีสมบัติที่หลากหลายและแตกต่างกัน

1. โครงสร้างทางกายภาพ

โครงสร้างทางกายภาพของเส้นใยสามารถสังเกตได้จากกล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยาย 250-1000 เท่าโครงสร้างทางกายภาพนั้นครอบคลุมถึงความยาวขนาดหรือเส้นผ่าศูนย์กลางรูปร่างภาคตัดขวาง (cross-sectional shape) รูปร่างของผิวเส้นใยและความหยาบของเส้นใยของเส้นใย

2. ความยาวเส้นใย (Fiber length)

ในเส้นใยธรรมชาติโดยทั่วไปเส้นใยจะมีความยาวที่ค่อนข้างแตกต่างกันมากด้วยเหตุผลจากอิทธิพลของธรรมชาติไม่ว่าจะเป็นสภาพดินฟ้าอากาศน้ำหรืออาหารในดินดังนั้นแม้ว่าจะเป็นเส้นใยฝ้ายที่มาปลูกพร้อมๆกันการกระจายของความยาวเส้นใยก็ยังอยู่ในระดับค่อนข้างสูง

เส้นใยธรรมชาติมีทั้งชนิดสั้นและยาว ซึ่งความยาวของเส้นใยจะมีผลต่อสมบัติและการนำไปใช้งานชนิดของเส้นใย

1. เส้นใยสั้น (staple fiber) เป็นเส้นใยที่มีความยาวอยู่ในช่วง 2 ถึง 46 เซนติเมตร เส้นใยธรรมชาติทั้งหมดยกเว้นไหมเป็นเส้นใยสั้นยกตัวอย่างเช่นเส้นใยฝ้ายขนสัตว์เส้นใยสั้นมาจากเส้นใยประดิษฐ์มักทำเป็นเส้นยาวก่อนแล้วตัด (Chop) ให้เป็นเส้นใยสั้นตามความยาวที่กำหนด

2. เส้นใยยาว (filament fiber) เป็นเส้นใยที่มีความยาวต่อเนื่องไม่สิ้นสุด มีหน่วยวัดเป็นเมตรหรือ หลา เส้นใยยาวส่วนใหญ่เป็นเส้นใยประดิษฐ์ ยกเว้นไหมซึ่งเป็นเส้นใยยาวที่มาจากธรรมชาติ เส้นใยยาวอาจเป็นชนิดเส้นใยยาวเดี่ยว (monofilament) ที่มีเส้นใยเส้นเดียวหรือเส้นใยยาวกลุ่ม (multifilament) ซึ่งจะมีเส้นใยมากกว่า 1 เส้นรวมอยู่ด้วยกันตลอดความยาว

3. ขนาดเส้นใย

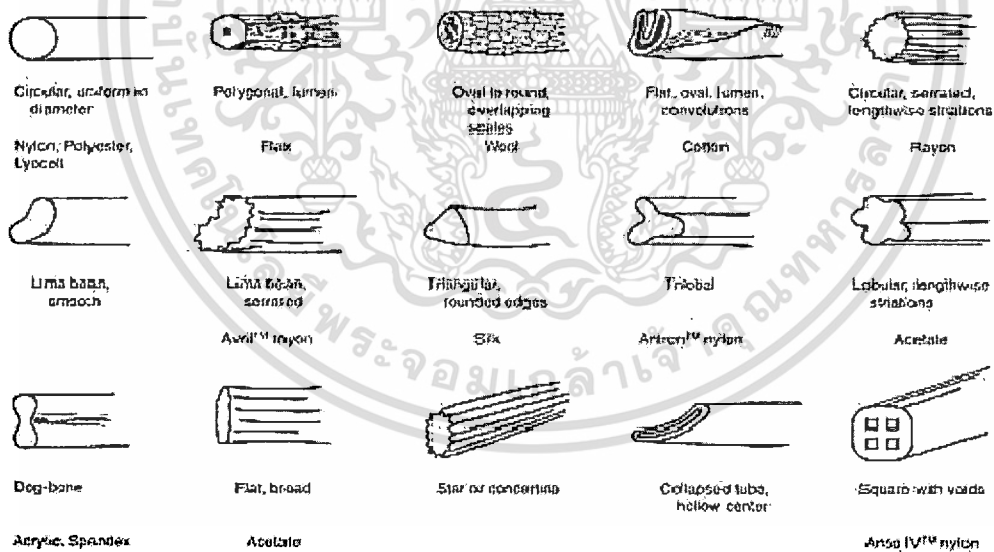
เส้นใยธรรมชาตินั้นมักมีขนาดที่ไม่สม่ำเสมอ คุณภาพของเส้นใยธรรมชาตินั้นมักจะวัดจากความละเอียดของเส้นใย เส้นใยที่มีความละเอียดมาก (ขนาดเล็ก) จะมีคุณภาพที่ดีกว่า การวัดความละเอียดมักวัดจากเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย (ภายใต้กล้องจุลทรรศน์) ในหน่วยของไมโครเมตร (1 ไมโครเมตรเท่ากับ 1/1000 มิลลิเมตร) ตัวอย่างขนาดของเส้นใยธรรมชาติดังแสดงในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ขนาดของเส้นใยธรรมชาติชนิดต่างๆ

ชนิดเส้นใย	ช่วงความยาวของเส้นผ่าศูนย์กลาง (microns)
ฝ้าย	16-20
ลินิน	12-16
ขนสัตว์	10-50
ไหม	11-12

4. รูปร่างหน้าตัดขวางของเส้นใย

ความแตกต่างของรูปร่างหน้าตัดขวางของเส้นใยธรรมชาตินั้นเกิดจากลักษณะการสร้างเซลล์ลูโลสในขณะที่พืชเติบโตเช่นในเส้นใยฝ้ายหรือการกระบวนการสร้างโปรตีนในสัตว์ เช่น ขนสัตว์ หรือรูปร่างของช่อง (Orifice) ในตัวไหมที่ทำหน้าที่ฉีดเส้นใยไหมออกมาดังแสดงในภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.10 แสดงรูปร่างหน้าตัดขวางของเส้นใยต่างๆ

5. ความหยัก (Crimp)

ความหยักในเส้นใยช่วยเพิ่มความสามารถในการยึดเกาะ (Cohesiveness) ระหว่างเส้นใย ทำให้สามารถคืนตัวจากแรงอัด (Resilience) ได้ดี มีความต้านทานต่อแรงเสียดสี (Resistance to abrasion) และมีความยืดหยุ่น

ความหยักบนเส้นใยสามารถหาได้โดยตรงจากอัตราส่วนของความหยัก (Crimp ratio) ระหว่างผลต่างของเส้นใยที่ถูกยืดคลายออกจนเป็นเส้นตรงกับความยาวดั้งเดิมของเส้นใยที่มีความหยักอยู่เปรียบเทียบกับความยาวเดิม

6. องค์ประกอบทางเคมีและการจัดเรียงตัวของโมเลกุล

เส้นใยประกอบด้วยโมเลกุลจำนวนมากโมเลกุลเหล่านี้มีลักษณะเป็นสายโซ่ยาวเรียกว่าพอลิเมอร์ที่เกิดจากการจัดเรียงตัวของหน่วยโมเลกุลเล็กๆคือมอนอเมอร์ (Monomer) และเชื่อมต่อกันด้วยพันธะเคมีด้วยกระบวนการสังเคราะห์ที่เรียกว่าพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) ขนาดของพอลิเมอร์ขึ้นอยู่กับความยาวของโมเลกุลซึ่งบอกได้จากจำนวนของมอนอเมอร์ที่อยู่ในพอลิเมอร์ (Degree of polymerization) พอลิเมอร์ที่มีสายโซ่โมเลกุลจะมีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่าพอลิเมอร์ที่มีสายโซ่โมเลกุลสั้นเนื่องจากจำนวนมอนอเมอร์ที่มากกว่านั่นเองซึ่งจะมีผลต่อความแข็งแรงของเส้นใยที่พอลิเมอร์นั้นเป็นองค์ประกอบอยู่

โมเลกุลหรือพอลิเมอร์ที่อยู่ในเส้นใยมีการจัดเรียงตัวแตกต่างกันเมื่อแต่ละโมเลกุลมีการจัดเรียงตัวอย่างไรทิศทางก็จะทำให้เส้นใยบริเวณนั้นมีความเป็นอสัณฐานส่วนในบริเวณที่โมเลกุลมีการจัดเรียงซ้อนขนานกันอย่างเป็นระเบียบก็จะมีความเป็นผลึกเกิดขึ้นโดยเส้นใยที่มีความเป็นผลึกมากก็จะมี ความแข็งแรงมากกว่าเส้นใยที่มีความเป็นผลึกน้อย

อย่างไรก็ตามปริมาณความเป็นผลึกไม่ใช่ปัจจัยที่กำหนดความแข็งแรงของเส้นใยหากรวมไปถึงทิศทางการจัดเรียงตัวของโมเลกุลที่เป็นระเบียบเหล่านี้ด้วยถ้าโมเลกุลมีการจัดเรียงตัวอยู่ในทิศทางที่ขนานกับแกนตามยาวของเส้นใยก็จะช่วยให้เส้นใยมีความแข็งแรงมากเนื่องจากการเรียงตัวในทิศทางเดียวกับแรงที่กระทำต่อเส้นใย (ตามความยาว) ทำให้สามารถมีส่วนช่วยในการรับแรงเต็มที่เรียกว่าเส้นใยนั้นมีการจัดเรียงตัวของโมเลกุลที่ดี (Oriented fiber) ในอีกกรณีหนึ่งแม้เส้นใยจะมีบริเวณที่เป็นผลึกมาก แต่จะมีทิศทาง การจัดเรียงตัวที่ไม่ขนานกับแกนตามยาวของเส้นใย โมเลกุลก็ไม่สามารถรับแรงในทิศทาง การดึงเส้นใยได้เต็มที่ ทำให้มีความแข็งแรงน้อยกว่าในกรณีแรก

2.1.4 คอมโพสิท (Composite)

คอมโพสิทคือวัสดุที่ประกอบด้วยองค์ประกอบสองส่วน (หรือมากกว่า) ที่แตกต่างอย่างเห็นได้ชัด (Distinct components) อยู่ด้วยกันองค์ประกอบสองส่วนหลักของคอมโพสิทคือ

1. วัสดุเสริมแรง (Reinforcing agent) คือส่วนที่เป็นโครงสร้างที่ให้ความแข็งแรงแก่วัสดุคอมโพสิทวัสดุที่เป็นวัสดุเสริมแรงจะมีความแข็งแรงและมอดุลัสสูงตัวอย่างของวัสดุเสริมแรงที่สำคัญได้แก่เส้นใยชนิดต่างๆเช่น เส้นใยแก้ว (glass fiber) เส้นใยคาร์บอน (carbon fiber) เส้นใยอะรามิดหรือเคฟลาร์ (aramid fiber หรือ kevlar) และเส้นใยธรรมชาติเป็นต้นอาจเป็นเส้นใยเดี่ยวยาว (continuous fiber) หรือเส้นใยสั้น (discontinuous หรือ chopped short fiber) นอกจากนี้อาจเป็นเส้นใยพันกันหรือทอ (wave) ให้มีโครงสร้างแบบต่างๆและมีการจัดเรียงของวัสดุเสริมแรงแบบต่างๆ วัสดุเสริมแรงเป็นส่วนรับแรงหลักของวัสดุคอมโพสิท

2. เมตริกซ์ (Matrix) เป็นวัสดุที่ทำหน้าที่ยึดวัสดุเสริมแรงเข้าด้วยกันเพื่อให้อยู่ในตำแหน่งและการเรียงตัวที่กำหนดเมตริกซ์มีความแข็งแรงและมอดุลัสต่ำกว่าวัสดุเสริมแรงเมตริกซ์เป็นองค์ประกอบที่มีความต่อเนื่อง (Continuous phase) ทำหน้าที่เป็นตัวกลางถ่ายเทแรงที่ได้รับไปสู่วัสดุเสริมแรงวัสดุที่ใช้เป็นเมตริกซ์ได้แก่พอลิเมอร์โลหะและเซรามิกส์เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

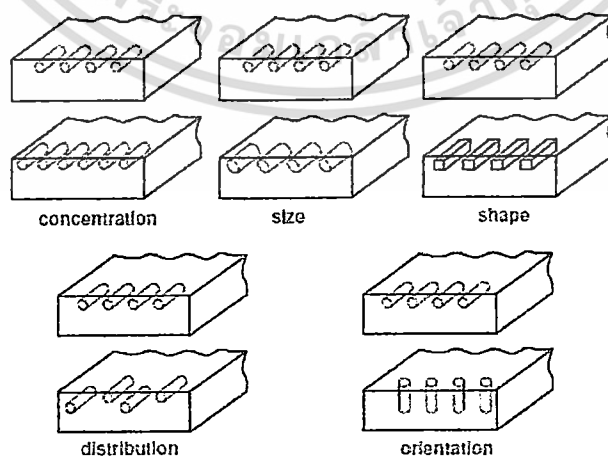
คอมโพสิต (Composite) คือวัสดุที่มีองค์ประกอบทางเคมีหรือโครงสร้างแตกต่างกันตั้ง แต่สอง ชนิดขึ้นไปมาผสมกัน ซึ่งวัสดุที่ได้จะมีสมบัติของวัสดุเริ่มต้นรวมกัน โดยทั่วไปแล้วคอมโพสิตจะ ประกอบด้วยวัสดุตัวหนึ่งทำหน้าที่เป็นเนื้อหลักหรือเมทริกซ์ (Matrix) และวัสดุที่ทำหน้าที่เป็นเฟสที่ กระจายตัวอยู่ (Dispersed phase) ในเมทริกซ์นั้น หรืออาจเรียกว่าเป็นเฟสเสริมแรง (Reinforced phase) ยกตัวอย่างคอมโพสิตที่พบในธรรมชาติ เช่น ไม้ ซึ่งเป็นวัสดุเชิงประกอบระหว่างลิกนิน (Lignin) กับเส้นใยเซลลูโลส (Cellulose fibre) หรือกระดูก ซึ่งเป็นคอมโพสิตระหว่างแร่อะพาไทต์ (Apatite) กับโปรตีนคอลลาเจน (Collagen) เป็นต้น คุณสมบัติของวัสดุที่สามารถนำมาเป็นเมทริกซ์ มีดังนี้

- เป็นเนื้อวัสดุที่มีปริมาณมากที่สุด
- มีหน้าที่ห่อหุ้มหรือจับยึดวัสดุเสริมแรงให้ฝังตัวอยู่ได้
- มีคุณสมบัติต่ำกว่าวัสดุเสริมแรง
- ต้องไม่ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับวัสดุเสริมแรง
- ต้องไม่เปลี่ยนแปลงสมบัติกายภาพหรือระเหยได้ในภายหลัง
- ต้องยอมให้วัสดุเสริมแรงเข้าไปยึดเกาะได้และมีพันธะที่แข็งแรง
- ต้องมีความเหนียวและทนทานสูง

และคุณสมบัติของวัสดุที่สามารถนำมาใช้เป็นตัวเสริมแรง มีดังนี้

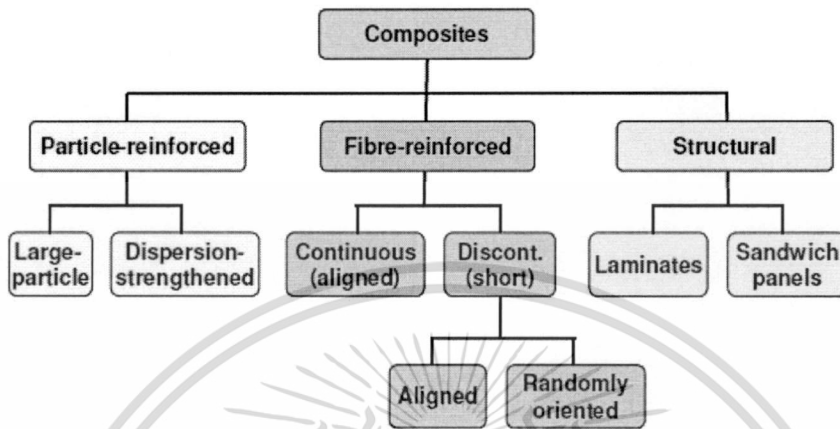
- เป็นวัสดุที่มีปริมาณน้อย
- มีสมบัติที่ดีกว่าวัสดุเนื้อหลัก
- กระจายตัวหรือฝังตัวอยู่ในวัสดุเนื้อหลักหรืออัดซ้อนทับกับวัสดุเนื้อหลัก

ในส่วนของคอมโพสิตสังเคราะห์นั้นจะถูกเตรียมขึ้นมาเพื่อให้มีสมบัติที่ดีเหมาะกับการใช้งาน เฉพาะทาง โดยสมบัติของคอมโพสิตที่ได้จะขึ้น อยู่กับสมบัติของวัสดุเริ่มต้น อัตราส่วนของวัสดุเริ่มต้น แต่ละชนิด และลักษณะของเฟสที่กระจายตัวอยู่ ภาพที่ 2.11 แสดงถึงลักษณะต่างๆของเฟสที่กระจาย ตัวอยู่ ซึ่งส่งผลต่อสมบัติของคอมโพสิต จะเห็นได้ว่าถึงแม้จะเป็นคอมโพสิตที่เกิดจากเมทริกซ์และเฟสที่ กระจายตัวอยู่ชนิดเดียวกัน แต่ถ้ามีความเข้มข้น (ปริมาณ) ขนาด รูปร่าง ลักษณะการกระจาย หรือการ จัดเรียงตัวของเฟสที่กระจายตัวอยู่แตกต่างกันแล้ว สุดท้ายคอมโพสิตที่ได้ก็จะมีสมบัติที่ไม่เหมือนกัน



ภาพที่ 2.11 ลักษณะต่างๆของเฟสที่กระจายตัวอยู่ส่งผลต่อสมบัติสุดท้ายของคอมโพสิต ได้แก่ ความเข้มข้น (ปริมาณ) ขนาด รูปร่าง การกระจาย และการจัดเรียงตัว [3] ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอมโพสิตสามารถแบ่งออกได้เป็นสามประเภทใหญ่ๆ คือ คอมโพสิตเสริมแรงด้วยอนุภาค (Particle-reinforced composite) คอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใย (Fibre-reinforced composite) และคอมโพสิตโครงสร้าง (Structural composite) นอกจากนี้แล้ว คอมโพสิตแต่ละประเภทยังสามารถเป็นประเภทย่อยๆได้อีก ดังแสดงในแผนผังการแบ่งประเภทของคอมโพสิตในภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.12 แผนผังการแบ่งประเภทของคอมโพสิต [3]

2.1.4.1 การแบ่งชนิดของคอมโพสิต

มีการแบ่งชนิดวัสดุคอมโพสิตได้หลายแบบเช่นอาจแบ่งชนิดคอมโพสิตตามลักษณะของวัสดุเสริมแรงแบ่งชนิดคอมโพสิตตามวัสดุที่ใช้เป็นเมตริกซ์และสามารถแบ่งตามลักษณะการเกิดของคอมโพสิต

การแบ่งชนิดคอมโพสิตตามลักษณะของวัสดุเสริมแรง

1. คอมโพสิตแบบเส้นใย (Fibrous composite) คือคอมโพสิตที่มีวัสดุเสริมแรงเป็นเส้นใยอาจเป็นเส้นใยสั้นหรือเส้นใยยาวต่อเนื่องมักเป็นเส้นใยขนาดเล็กมีความแข็งแรงและมอดุลัสสูงทำให้คอมโพสิตมีความแข็งแรงตามแนวการเรียงตัวของเส้นใยสูงกว่าแนวอื่นๆ
2. คอมโพสิตแบบแผ่นหรือลามิเนต (Laminar composite) คือคอมโพสิตที่ประกอบด้วยชั้นหรือแผ่นของวัสดุที่ยึดติดกันด้วยตัวเชื่อมเมตริกซ์มีลักษณะเป็นชั้นๆคล้ายแซนวิช (sandwich) หรือเป็นโครงสร้างคล้ายรังผึ้ง (Honey comb)

การแบ่งชนิดคอมโพสิตตามวัสดุที่ใช้เป็นเมตริกซ์

1. พอลิเมอร์คอมโพสิตหรือพอลิเมอร์เชิงประกอบ (Polymer composite) คือคอมโพสิตที่มีเมตริกซ์เป็นพอลิเมอร์ทั้งประเภทเทอร์โมพลาสติกและเทอร์โมเซต
2. โลหะคอมโพสิตหรือโลหะเชิงประกอบ (Metal composite) คือคอมโพสิตที่มีเมตริกซ์เป็นโลหะ
3. เซรามิกส์คอมโพสิตหรือเซรามิกส์เชิงประกอบ (Ceramic composite) คือคอมโพสิตที่มีเมตริกซ์เป็นเซรามิกส์

การแบ่งชนิดคอมโพสิตตามลักษณะการเกิดของคอมโพสิต

1. คอมโพสิตจากธรรมชาติ (Natural composite) คือวัสดุคอมโพสิตที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น ไม้พื้และกระดูกไม้ เป็นคอมโพสิตของเส้นใยเซลลูโลสที่เป็นวัสดุเสริมแรงโดยมีสารเอนกสารเป็นเอนกสารที่สวมน้ำสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำพวกลิกนินเป็นเมตริกซ์ยึดเซลล์ลูโลสไว้ด้วยกันส่วนกระดูกและฟันเป็นคอมโพสิตของผลึกของแข็งอนินทรีย์เช่นไฮดรอกซีอะพาไทต์ (Hydroxyl apatite) อยู่ในเมตริกซ์ของสารอินทรีย์เหนียวคอลลาเจน (collagen) เป็นต้น

2.4.1.2 ข้อดีและข้อเสียของวัสดุคอมโพสิต

ข้อดีของวัสดุคอมโพสิต

1. มีสมบัติต่อน้ำหนักหรือความหนาแน่น (properties to weight/density ratio) สูง เช่นความแข็งแรงจากเพาะและมอดุลัสจำเพาะเป็นต้นเนื่องจากวัสดุคอมโพสิตมีความหนาแน่นต่ำน้ำ

2. มีสมบัติหลากหลายสามารถสร้างวัสดุคอมโพสิตให้เหมาะสมกับการใช้

3. มีอายุการใช้งานยาวนานมักมีสมบัติความต้านทานต่อการสึกกร่อนดี

4. มีสมบัติการรับแรงและความหน่วง (damping) ดี

5. มีความทนทานต่อการล้า (fatigue resistance) ดี

6. มีเสถียรภาพของรูปร่าง (dimensional stability) สูงเนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อน (coefficients of thermal expansion, CTE) ต่ำเมื่อเทียบกับวัสดุอื่นเช่นโลหะหนักเบาจึงช่วยลดน้ำหนักของวัสดุได้

ข้อเสียของวัสดุคอมโพสิต

1. ต้นทุนการผลิตสูงเนื่องจากราคาของวัตถุดิบและเครื่องมือการขึ้นรูปคอมโพสิตมีราคาแพง

2. มักมีสมบัติแต่ละทิศทางไม่เท่ากันหรือมีสมบัติแอนไอโซโทรปี (anisotropy) เนื่องจากการจัดเรียงตัวของวัสดุเสริมแรงเป็นสาเหตุให้คอมโพสิตไม่แข็งแรงในแนวตั้งฉากกับแนวการเรียงตัว (transverse direction)

3. ยากต่อการต่อหรือเชื่อมติดกับวัสดุอื่น

4. ยากต่อการทำลายและนำกลับมาใช้ใหม่หรือรีไซเคิล (recycle)

2.4.1.3 การประยุกต์ใช้งานคอมโพสิต

ในปัจจุบันการใช้งานวัสดุคอมโพสิตสามารถประยุกต์ใช้ได้กับการใช้งานในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่นอุตสาหกรรมยานยนต์ (Automotive) เครื่องบิน (Aircraft) ยานอวกาศ (Aerospace) อุปกรณ์กีฬา (Sporting goods) เป็นต้น การที่มีการใช้งานคอมโพสิตทดแทนวัสดุอื่นๆ เช่น โลหะ เนื่องจากมีน้ำหนักเบาผลิตภัณฑ์คอมโพสิตมีชิ้นส่วนน้อยชิ้น ไม่ต้องการการประกอบมากสามารถขึ้นรูปชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อนได้

2.4.1.4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใย

1. การกระจายของเส้นใย (fiber dispersion)

ความต้องการเบื้องต้นของการเตรียมให้ได้วัสดุคอมโพสิตที่มีสมบัติเชิงกลที่ดีนั้นคือการกระจายของเส้นใยในเมตริกซ์ที่ดีมีความสม่ำเสมอโดยปัจจัยที่สำคัญที่มีอิทธิพลต่อการกระจายของเส้นใยในเมตริกซ์คือการเกิดอันตรกิริยาระหว่างเส้นใยกับเส้นใยด้วยกันเองและความยาวของเส้นใยที่ใช้จากปัจจัยดังกล่าวนี้จะส่งผลต่อปริมาณของการเกาะกันเป็นกลุ่มก้อน (agglomerate) ในระหว่างการผสมของเส้นใยกล่าวคือโดยธรรมชาติแล้วเส้นใยธรรมชาติจะเกิดการเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนในระหว่างการผสมได้ง่ายเนื่องจากการเกิดพันธะไฮโดรเจนของเซลล์ลูโลสจากเส้นใยดังนั้นวิธีที่จะทำการลดการเกิดการเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนของเส้นใยได้โดยทำการปรับปรุงผิวเส้นใยซึ่งการปรับปรุงผิวเส้นใยถือว่ามีค่าเอกสารเป็นเอกสารที่สว่นไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำเป็นเนื่องจากจะเป็นการช่วยลดการเกิดอันตรกิริยาระหว่างเส้นใยด้วยกันเองและยังช่วยเพิ่มอันตรกิริยาระหว่างเส้นใยกับเมตริกซ์ให้เพิ่มขึ้นด้วย

2. การยึดเกาะระหว่างเส้นใยกับเมตริกซ์ (fiber matrix adhesion)

การยึดเกาะระหว่างเส้นใยและเมตริกซ์ถือว่ามีความสำคัญอย่างมากสำหรับการเสริมแรงของเส้นใยในพอลิเมอร์เมตริกซ์ซึ่งการยึดเกาะระหว่างผิวหน้าของเส้นใยกับเมตริกซ์มีความสำคัญต่อสมบัติเชิงกลสมบัติทางกลศาสตร์เชิงพลศาสตร์และลักษณะทางรีโอโลยีของคอมโพสิตที่เตรียมได้ เนื่องจากการเกิดการส่งผ่านความเค้นจะเกิดขึ้นที่บริเวณผิวหน้าของเมตริกซ์และเส้นใย

3. ค่าอัตราส่วนของความยาวต่อเส้นผ่าศูนย์กลาง (aspect ratio) ของเส้นใย

ค่า Aspect ratio หมายถึงอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยโดยค่า aspect ratio ของเส้นใยในการเสริมแรงเพื่อเตรียมเป็นคอมโพสิตนั้นมีความสำคัญในการประเมินค่าของสมบัติเชิงกลของคอมโพสิตโดยความยาววิกฤติของเส้นใย (critical fiber length) จะแสดงถึงการเกิดการส่งผ่านความเค้นของคอมโพสิตที่มีประสิทธิภาพซึ่งทำให้สามารถทำนายค่าความแข็งแรงของคอมโพสิตได้โดยกลไกของการเกิดการส่งผ่านความเค้นจากเมตริกซ์ไปยังเส้นใยจะมีความสอดคล้องกับรัศมีและความยาวของเส้นใย

4. การจัดเรียงตัวของเส้นใย (fiber orientation)

การจัดเรียงตัวของเส้นใยในเมตริกซ์ถือว่ามีความสำคัญเกี่ยวกับแอนไอโซทรอปีในเมตริกซ์และการนำไปใช้งานของคอมโพสิตสำหรับในอุตสาหกรรมต่างๆ โดยจากการศึกษาของ Moghe พบว่า 60-70% ของเส้นใยจะมีการจัดเรียงตัวตามทิศทางของความเค้นในระหว่างกรขึ้นรูปเส้นใยที่นำมาเสริมแรงจะมีทิศทางของการจัดเรียงตัวขึ้นอยู่กับธรรมชาติของการไหลเช่นการไหลแบบคอนเวจเนต (convergent flow) แบบไดเวจเนต (divergent flow) แบบเฉือนและแบบทิศทางตามการดึงยืด (elongation flow) กล่าวคือเส้นใยจะมีการจัดเรียงตัวเป็นเส้นตรงในทิศทางตามแนวยาวและการไหลแบบไดเวจเนตเส้นใยจะมีการจัดเรียงตัวในทิศทางตามแนวขวางตั้งนั้นจากการไหลทั้ง 2 แบบนี้จึงได้มีการออกแบบหัวตายของเครื่องอัดรีด (extruder) สำหรับเพื่อควบคุมการจัดเรียงตัวของเส้นใยสำหรับการไหลแบบเฉือนมักจะพบในการผสมในเครื่องผสมแบบปิดหรือรีโอมิเตอร์แบบแคปิลลารี (capillary rheometer) พบว่าเส้นใยจะมีการจัดเรียงตัวที่ไม่เป็นระเบียบหรือจัดเรียงตัวในทิศทางที่ขึ้นอยู่กับอัตราของแรงเฉือนและการไหลแบบทิศทางตามการดึงยืดพบว่าเส้นใยจะมีการจัดเรียงตัวในทิศทางตามการดึงยืดเช่นการรีดเป็นแผ่นโดยใช้เครื่องบดสองลูกกลิ้งหรือเครื่องรีด (calendring) เป็นต้นโดยการใช้เครื่องรีดจะทำให้มีการจัดเรียงตัวของเส้นใยที่มีความสม่ำเสมอเช่นเดียวกับวิธีการอัดรีด (extrusion)

5. ปริมาณของเส้นใย (fiber concentration)

ปริมาณของเส้นใยที่ใช้ในการเสริมแรงในพอลิเมอร์คอมโพสิตถือว่ามีความสำคัญอย่างมากต่อสมบัติเชิงกลของคอมโพสิตที่เตรียมได้กล่าวคือถ้าใช้ปริมาณเส้นใยที่น้อยจะส่งผลให้สมบัติเชิงกลของคอมโพสิตที่ได้มีค่าด้อยลงเนื่องจากเส้นใยที่ใช้ในปริมาณน้อยจะไม่สามารถเสริมความแข็งแรงให้กับคอมโพสิตที่เตรียมได้ซึ่งการเติมปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้นจะช่วยปรับปรุงสมบัติความทนต่อแรงดึง โดยเฉพาะค่าความแข็งแรงที่สูงกว่าพอลิเมอร์เริ่มต้นโดยปริมาณเส้นใยที่เหมาะสมที่สุดที่ให้สมบัติเชิงกลที่ดีที่สุดในการเสริมแรงในคอมโพสิตคือปริมาณเส้นใยที่อยู่ในช่วงระหว่าง 20 ถึง 30 phr มีงานวิจัยที่ทำการศึกษการเติมเส้นใยในลอนและเส้นใยพีอีที (poly(ethylene terephthalate), PET) ที่เสริมแรงใน NR พบว่าการเติมเส้นใยในปริมาณที่ 40 phr หรือมากกว่าจะทำให้ค่าความแข็งแรงของคอมโพสิตมีค่าลดลงเพราะการยึดเกาะระหว่างเส้นใยกับเมตริกซ์มีไม่เพียงพอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

G. Venkatesha Prasanna และคณะ (2013) [4] ได้ทำการศึกษาความแข็ง ความต้านทานแรงดึง และสมบัติพื้นฐานวิทยาของไฮบริดคอมโพสิตชีวภาพ โดยใช้ polyester (UP) ผสม epoxy เป็นเนื้อหลักและ ใช้เส้นใยจากกล้วย และ เส้นตาลโตนด เป็นตัวเสริมแรง ในการทดสอบค่าความแข็ง และความต้านทานแรงดึง จะใช้เส้นใยระหว่างแบบปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์กับไม่ปรับปรุงผิวเส้นใยผสมลงในเนื้อหลักอยู่ที่ 10, 20 และ 30% โดยปริมาณ แล้วมาเปรียบเทียบกัน จากทดสอบเชิงกล พบคอมโพสิตที่ผสมเส้นใยกล้วย และ เส้นตาลโตนด ที่เส้นใยได้รับการปรับปรุงผิวเส้นใยจะมีค่าสูงกว่าที่เส้นใยไม่ได้รับการปรับปรุงผิวเส้นใย และที่ปริมาณเส้นใยที่ปรับปรุงผิวเส้นใยที่ใส่ในเนื้อหลักที่ 20% ที่ได้ทำการทดสอบเชิงกล จะมีค่าสูงสุด เมื่อกับปริมาณอื่นๆ ที่ปรับปรุงผิวเส้นใยและไม่ปรับปรุงผิวเส้นใย

S. Raghavendra และคณะ (2013) [5] ได้ทำการศึกษาสมบัติเชิงกลวัสดุคอมโพสิตจากยางธรรมชาติเสริมแรงด้วยเส้นใยที่สั้นของเส้นใยกล้วย โดยใช้การวัลคาไนซ์ของยางที่ 150°C พบว่า เมื่อเพิ่มความยาวเส้นใยทำให้มีความต้านทานเพิ่มขึ้น และมีความแข็งแรงของวัสดุเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดการรวมของเส้นใยกับยาง และวัสดุที่ใช้เส้นใยกล้วยที่มีความยาว 15 mm มีความต้านทานแรงดึง ค่าความแข็ง และค่าความต้านทานแรงฉีกขาดสูงที่สุด

กษมา จารุกัจจร และคณะ (2012) [6] ได้ทำการศึกษาการเตรียมคอมโพสิตจากยางธรรมชาติและเส้นใยป่านศรนารายณ์ โดยใช้เส้นใยป่านศรนารายณ์ ปริมาณเส้นใยคือ 10 20 และ 30 ส่วนในหนึ่งร้อยส่วนของยางธรรมชาติ คอมโพสิตระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์กับยางธรรมชาติถูกเตรียมโดยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง ชิ้นงานสำหรับทดสอบถูกเตรียมโดยเครื่องกดอัด สมบัติทางกลพื้นฐานวิทยา และสมบัติการคงรูปของคอมโพสิตระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์กับยางธรรมชาติถูกตรวจสอบ การทำอัลคาไลน์เซชันและการใส่สารช่วยให้เข้ากัน (ยางธรรมชาติกราฟท์มาเลอิกแอนไฮโดรด์) ถูกใช้ในการเพิ่มความเข้ากันได้ระหว่างเส้นใยและยางธรรมชาติ พบว่าคอมโพสิตระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่มีการทำอัลคาไลน์เซชันกับยางธรรมชาติ แสดงสมบัติทางกลที่สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับคอมโพสิตระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่มีการดัดแปรกับยางธรรมชาติที่ทุกปริมาณเส้นใย แต่อย่างไรก็ตาม เวลาการคงรูปและเวลาการสกอร์ชของคอมโพสิตระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่มีการทำอัลคาไลน์เซชันกับยางธรรมชาติและคอมโพสิตระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่มีการปรับปรุงกับยางธรรมชาติพบว่ามีค่าไม่ต่างกันมาก การใส่ยางธรรมชาติกราฟท์มาเลอิกแอนไฮโดรด์ปรับปรุงสมบัติทางกลของยางคอมโพสิต การเพิ่มขึ้นของเวลาการสกอร์ช และเวลาคงรูปของยางคอมโพสิตถูกพบเมื่อใส่ยางธรรมชาติกราฟท์มาเลอิกแอนไฮโดรด์ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการทำอัลคาไลน์เซชันและการใส่ยางธรรมชาติกราฟท์มาเลอิกแอนไฮโดรด์ ยางธรรมชาติกราฟท์มาเลอิกแอนไฮโดรด์ให้การปรับปรุงสมบัติทางกลของยางคอมโพสิตที่มีประสิทธิภาพที่ดีกว่า

ศรุต ศรีสันติสุข และคณะ (2012) [7] การเปรียบเทียบความต้านทานแรงดึงของวัสดุคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยไผ่ใยแก้ว และคาร์บอนไฟเบอร์พบว่าเศษใยไผ่ หรือเส้นใยไผ่ชนิดสั้น ไม่ช่วยเพิ่มความต้านทานแรงดึง แม้สัดส่วนของเส้นใยไผ่จะเพิ่มมากขึ้น แต่จะช่วยเพิ่มโมดูลัสแรงดึงเล็กน้อยเมื่อสัดส่วนของเส้นใยไผ่มากกว่า 8.23 %wt ขึ้นไปเศษใยไผ่มีคุณสมบัติด้อยกว่าเส้นใยไผ่ชนิดยาว เพราะไม่ช่วยเพิ่มความต้านทานแรงดึง แต่ช่วยเสริมโมดูลัสแรงดึงเล็กน้อย ดังนั้นหากจะนำเศษใยไผ่ไปใช้เสริมแรง ต้องใช้กับวัสดุที่ไม่ต้องการความแข็งแรงมาก น้ำหนักเบา และต้นทุนต่ำส่วนคาร์บอนไฟเบอร์มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติที่ดีที่สุด ส่วนเส้นใยโพลีเอทิลีนมีความแข็งแรงดีใกล้เคียงกับใยแก้ว โดยมีโมดูลัสสูงกว่า แต่มีความต้านทานแรงดึงน้อยกว่าเล็กน้อย ซึ่งอาจใช้ทดแทนใยแก้วในการเสริมแรงได้

ยุพาพร รักสกุลพิวัฒน์ และคณะ (2011) [8] การศึกษาการใช้ยางธรรมชาติช่วยปรับปรุงความทนทานต่อแรงกระทำของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากปอแก้วพบว่าความเหนียวของพอลิโพรพิลีนเพิ่มขึ้นเมื่อใส่เส้นใยปอแก้ว และเพิ่มขึ้นตามปริมาณยางเช่นเดียวกันกับกรณี EPDM ค่าความเหนียวเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณยางเพิ่มขึ้น ค่าความต้านทานแรงดึงและโมดูลัสของยางค์ของพอลิโพรพิลีนเพิ่มขึ้นเมื่อใส่เส้นใยปอแก้ว กรณีการเติมยางทั้งยางธรรมชาติและ EPDM ที่ปริมาณยาง w และ AB เปอร์เซ็นต์จะให้ค่าความต้านทานแรงดึงและโมดูลัสของยางค์สูงกว่าพอลิโพรพิลีน ที่ปริมาณยางสูงกว่านี้จะมีแนวโน้มลดลง ค่าความยืดหยุ่น ณ จุดแตกหักและค่าความต้านทานการกระทำของพอลิโพรพิลีนจะมีค่าลดลงอย่างชัดเจนเมื่อใส่เส้นใยปอแก้ว แต่จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณยางทั้งกรณียางธรรมชาติและ EPDM โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ปริมาณยางเท่ากับ CB % โดยน้ำหนัก ยาง EPDM จะให้ค่าความต้านทานการกระทำของวัสดุเชิงประกอบที่สูงกว่ายางธรรมชาติ

N.Venkateshwaran และคณะ (2011) [9] จากการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของพฤติกรรม การดูดซึมน้ำจากวัสดุคอมโพสิตผสมใยกล้วยและปานครนารายณ์เสริมแรงไฮบริด พบว่า ความยาวของวัสดุคอมโพสิตผสมอีพ็อกซีจากเส้นใยที่เหมาะสมมีขนาด 15 มม. และร้อยละ 16 ซึ่งมีค่าความต้านทานแรงดึงที่ 16.12 MPa , 57.53 MPa และ 13.25 KJ/m² ในการเปรียบเทียบความต้านทานแรงดึงของเส้นใยกล้วยและวัสดุคอมโพสิตผสมอีพ็อกซีมีค่าความต้านทานแรงดึงที่ 43.54 มากกว่าเส้นใยสังเคราะห์จากปาล์ม 12.3 % ซึ่งสูงกว่ากล้วย/อีพ็อกซี

รัตนา ดันทุเทตธรรม และคณะ (2010) [10] ได้ทำการศึกษาการเตรียมและสมบัติของวัสดุคอมโพสิตของยางธรรมชาติ กับเส้นใยกาบมะพร้าวและปาล์มน้ำมัน โดยการใช้เส้นใยกาบมะพร้าวและทะเลายปาล์มน้ำมัน เป็นสารตัวเติมเสริมแรง ด้วยการผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์ ด้วยเครื่องบดยางสองลูกกลิ้งโดยศึกษาอิทธิพลของชนิดและปริมาณเส้นใย (0, 10, 20, 30, 40 ส่วนในยางร้อยละ) และปริมาณเส้นใยต่อสมบัติเชิงกลต่างๆ เช่น การทดสอบความต้านทานแรงดึง การทดสอบความต้านทานแรงฉีกขาด และการทดสอบความแข็ง รวมทั้งพฤติกรรมการวัลคาไนซ์ของคอมโพสิตยางคอมปาวด์ที่เตรียมขึ้น ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลแสดงให้เห็นว่าการผสมเส้นใยทั้งสองชนิดกับยางธรรมชาตินั้นส่งผลให้ค่าโมดูลัสที่ระยะยืด 300% และความแข็งเพิ่มขึ้นตามปริมาณเส้นใยในขณะที่ความต้านทานต่อแรงดึงและความต้านทานการฉีกขาดมีค่าลดลงส่วนการทดสอบสมบัติการคงรูปของยางคอมปาวด์ที่ผสมเส้นใยกาบมะพร้าวและทะเลายปาล์มน้ำมันในปริมาณต่างๆพบว่าระยะเวลาที่ยางคอมปาวด์เริ่มสุกและเวลาที่ให้อบยางให้สุกของยางคอมปาวด์ผสมเส้นใยนั้นมีย่าน้อยกว่ายางคอมปาวด์ไม่ใส่เส้นใยและมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณเส้นใยส่วนค่าแรงบิดสูงสุดซึ่งแสดงถึงความแข็งของยางคอมปาวด์ที่ได้วัลคาไนซ์แล้วนั้นมีย่านเพิ่มขึ้นเนื่องจากการผสมเส้นใยลงในยางทำให้การเคลื่อนที่ของสายโซ่โพลิเมอร์ลดลงส่งผลให้ยางวัลคาไนซ์แข็งขึ้น

H. Ku และคณะ (2010) [11] ได้ศึกษาคุณสมบัติแรงดึงของวัสดุคอมโพสิตพอลิเมอร์เสริมเส้นใยธรรมชาติโดยเป็นการการพิจารณางานวิจัยที่มีการรายงานถึงผลกระทบของปริมาณเส้นใยการใช้สารเคมีเทคนิคการผลิตและตัวแปรในการดำเนินการที่มีต่อคุณสมบัติแรงดึงของวัสดุคอมโพสิตเสริมเส้นใยธรรมชาติ จากการสังเกตพบว่าความแข็งของวัสดุคอมโพสิตเสริมเส้นใยธรรมชาติขึ้นอยู่กับปริมาณของเส้นใยอย่างเห็นได้ชัดความต้านทานแรงดึงมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับการเพิ่มปริมาณเส้นใยหากอัตราส่วนของน้ำหนักเส้นใยมีค่าเพิ่มขึ้นน้อยกว่าค่าที่เหมาะสมน้ำหนักโพลีเมอร์จะกระจายไปทั่วเส้นใยมาก

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขึ้นซึ่งทำให้มีการยึดเกาะกับเรซินเมทริกซ์ได้ดีส่งผลให้วัสดุมีคุณสมบัติแรงดึงที่ดีแต่หากเพิ่มอัตราส่วน น้ำหนักเส้นใยมากขึ้นกลับส่งผลให้วัสดุมีคุณสมบัติแรงดึงลดลง

เอกรัตน์ รวยรวย และคณะ (2009) [12] สมบัติของโดยใช้วัสดุผสมจากยางพาราแท้ STR 20 ในปริมาณเท่ากับ 100 phr ต่อเส้นใยมะพร้าวในปริมาณ 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60 และ 70 phr ตามลำดับ และผสมปริมาณสารเคมีในอัตราส่วนคงที่ นำมาทำการบดผสมด้วยเครื่องบดแบบสองลูกกลิ้ง แล้วอัดขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดแบบร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ได้เป็นแผ่นยางพาราเสริมเส้นใยมะพร้าวขนาด 30 X 30 เซนติเมตรหนา 0.5 เซนติเมตร ทำการทดสอบสมบัติต่างๆ ตามมาตรฐาน ASTM พบว่าเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้นทำให้สมบัติการคงรูปและความหนาแน่นดีขึ้นทุกอัตราส่วน ส่วนของสมบัติความต้านทานแรงดึง ความทนต่อการฉีกขาด และความสึกหรอนั้นจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อผสมปริมาณเส้นใยในอัตราส่วนที่เหมาะสมเท่านั้นและแผ่นวัสดุที่ได้ไม่มีการดูดซึมน้ำในทุกอัตราส่วนผสม จากผลการวิจัยที่ได้สามารถนำไปพัฒนาเป็นแผ่นกระเบื้องอย่างสำหรับปูพื้นและผนังสำหรับตกแต่งอาคารที่ต้องการความสวยงามตามแบบธรรมชาติได้ดี

เกศินี โกศลเมธี (2009) [13] งานวิจัยนี้เป็นการเตรียมและศึกษาสมบัติเชิงกลของยางคอมโพสิตเตรียมจากยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกผสมกับเส้นใยปอกระเจาทำการเตรียมยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกจากพอลิโพรพิลีนและยางธรรมชาติและทำการทดสอบด้วยสมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อนโดยการวิเคราะห์ทางกลศาสตร์ความร้อนเชิงพลศาสตร์และลักษณะสัณฐานวิทยาของยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ ปริมาณของพอลิโพรพิลีนระบบวัลคาไนซ์และปริมาณฟีนอลิกรีซินพบว่า เมื่อใช้ปริมาณของพอลิโพรพิลีนมากขึ้นจะมีค่ามอดูลัส, ความเค้น ณ จุดขาด, ระยะยืด ณ จุดขาด, ความต้านทานต่อการฉีกขาด, การผิดรูปถาวรแบบดึงและความแข็งเพิ่มขึ้นในทางตรงกันข้ามมีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของสมบัติความทนต่อแรงดึงหลังจากผ่านการบ่มแรงด้วยความร้อนและโอโซนและเปอร์เซ็นต์การบวมตัวมีค่าลดลงนอกจากนี้พบว่าระบบวัลคาไนซ์ไม่มีผลต่อความแข็งของยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกที่เตรียมได้การเติมปริมาณฟีนอลิกรีซินที่ปริมาณต่างๆดังนี้ 6, 8, 10 และ 12 phr

- พบว่ายางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกที่ใช้ฟีนอลิกรีซินในปริมาณ 8 phr สามารถปรับปรุงสมบัติต่างๆได้ดีกว่าที่ปริมาณ 6 phr

- เมื่อเติมฟีนอลิกรีซินมากกว่า 8 phr พบว่าสมบัติดังกล่าวมีแนวโน้มใกล้เคียงกันและค่าที่ได้อยู่ในช่วงเดียวกันดังนั้นการศึกษาในส่วนของยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกพบว่าสูตรที่ให้สมบัติเชิงกลและสมบัติทางกายภาพที่ดีที่สุดและเหมาะสมที่จะนำไป

เส้นใยที่ปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้สมบัติความทนต่อแรงดึงและความต้านทานต่อแรงกระแทกแบบดึงดีกว่าเส้นใยที่ปรับปรุงผิวด้วยเมทานอลและเส้นใยที่ไม่ได้ปรับปรุงผิวจากการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบว่าลักษณะผิวเส้นใยมีการฉีกขาดออกจากกันของกลุ่มเส้นใยทำให้เกิดเป็นเส้นใยขนาดไมครอนมากมายส่งผลให้เส้นใยสามารถยึดเกาะกับเมทริกซ์ได้ดีที่สุดศึกษาอิทธิพลของความยาวเส้นใยต่างๆดังนี้ 1, 3 และ 6 cm พบว่าเมื่อใช้เส้นใยที่มีความยาว 1 และ 3 cm สามารถปรับปรุงสมบัติความทนต่อแรงดึงความต้านทานต่อการฉีกขาดความต้านทานต่อแรงกระแทกแบบดึงและการบวมตัวที่ดีขึ้นนอกจากนี้จากการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดทำให้ยืนยันได้ว่าการเติมเส้นใยไม่ได้ไปขัดขวางการเกิดการเชื่อมโยงในยางธรรมชาติและ การเปลี่ยนสัณฐานวิทยาของยางธรรมชาติเนื่องจากมีอนุภาคยางธรรมชาติกระจายตัวอยู่ในเฟสต่อเนื่องของพอลิโพรพิลีนเช่นเดียวกับยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกอย่างไรก็ตามเมื่อทดสอบสมบัติความทนต่อ

แรงดึงของยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกและยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกคอมโพสิตเมื่อนำกลับมาหลอมใช้ใหม่จำนวน 3 รอบพบว่ายางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกและยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกคอมโพสิตที่เตรียมได้สามารถนำกลับมาหลอมขึ้นรูปใหม่ได้และมีสมบัติความทนต่อแรงดึงหลังจากผ่านการขึ้นรูปซ้ำลดลงมากขึ้นตามจำนวนครั้งของการขึ้นรูปซ้ำ

M. Jacob และคณะ (2008) [14] ศึกษาผลของการใส่เส้นใยป่านศรนารายณ์ และเส้นใยปาล์มที่ผ่านการปรับปรุงผิวเส้นใยแบบการปรับปรุงอัลคาไลน์เซชัน ต่อสมบัติการคงรูป สมบัติทางกล และสมบัติทางสัณฐานวิทยาของยางคอมโพสิต พบว่าคอมโพสิตที่ใส่เส้นใย 2 ชนิดที่ผ่านการทำปรับปรุงผิวเส้นใยมีค่าทอร์กสูงสุดค่ามอดูลัสที่ 100 เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ค่าความทนทานต่อแรงดึง ค่าการยืดตัวก่อนขาด ค่าความทนทานต่อการฉีกขาด และค่าความแข็งแรงมากกว่าคอมโพสิตที่ใส่เส้นใย 2 ชนิดแต่ไม่ได้ผ่านการตัดแปร เนื่องมาจากการยึดติดที่ีระหว่างเส้นใยและยางธรรมชาติ จากการทดสอบทางสัณฐานวิทยาของคอมโพสิต พบว่าคอมโพสิตที่ใส่เส้นใย 2 ชนิดที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงผิวเส้นใยมีช่องว่างที่เกิดขึ้นจากการหลุดของเส้นใยจากเมทริกซ์ ในขณะที่คอมโพสิตที่ผ่านการปรับปรุงผิวของเส้นใย มีเส้นใยที่หักและติดอยู่กับเมทริกซ์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงผิวเส้นใยส่งผลให้แรงยึดติดระหว่างเส้นใยทั้ง 2 ชนิดและยางธรรมชาติดีขึ้น

ณัฐพล ไพโรจน์ (2008) [15] ได้ทำการศึกษาสมบัติการวัลคาไนซ์และสมบัติเชิงกลของยาง STR 20 ผสมยางครีมนในช่วง 50 - 150 phr และกรรมวิธีในการขึ้นรูปบล็อกปูพื้นซึ่งผิวด้านบนทำจากวัสดุผสมยางธรรมชาติผสมยางครีมนและส่วนฐานทำจากพลาสติกโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงจากการศึกษาพบว่าเมื่อปริมาณยางครีมนในยางวัลคาไนซ์มากขึ้นส่งผลให้เวลาที่ยางเริ่มคงรูปและเวลาที่ใช้ในการคงรูปมีค่าลดลงเช่นเดียวกับความต้านทานต่อการฉีกขาดและการกระเด็นตัวในทางตรงข้ามกลับพบว่าความแข็งแรงมีค่าเพิ่มขึ้นจากการวิจัยพบว่าอุณหภูมิการขึ้นรูปส่วนฐานของบล็อกปูพื้นที่ผลิตจากพลาสติกโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่เหมาะสมคือ 150 °C และเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูปพลาสติกส่วนฐานแปรตามความหนาของบล็อกปูพื้นสำหรับการอัดขึ้นรูปยางคอมพอนด์ที่ผสมยางครีมนลงบนส่วนฐานพลาสติกอุณหภูมิที่เหมาะสมในการขึ้นรูปยางคอมพอนด์คือ 170 °C และพลาสติกคือ 130 °C จากการทดสอบพบว่าค่าการกระเด็นตัวของบล็อกปูพื้นเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณยางครีมนลดลงในทางตรงข้ามเมื่อส่วนฐานของบล็อกปูพื้นหนาขึ้นค่าการกระเด็นตัวของบล็อกปูพื้นลดลงส่วนต้นทุนด้านวัสดุในการผลิตบล็อกปูพื้นลดลงเมื่อใช้พลาสติกหนาขึ้นและปริมาณยางครีมนเพิ่มขึ้นต้นทุนด้านพลังงานในการผลิตของบล็อกปูพื้นลดลงเมื่อความหนาของพลาสติกมากขึ้นแต่ต้นทุนด้านพลังงานเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณยางครีมนเพิ่มขึ้น

เล็ก สีสง และคณะ (2006) [16] ได้ศึกษาสมบัติของยางธรรมชาติที่เติมเส้นใยฝ้ายและทัลคัม โดยการเป็นการเอาความยืดหยุ่นของยางรวมกับความแข็งแรงและความเหนียวของเส้นใยเสริมแรงไว้ด้วยกันจะทำให้วัสดุผสมนี้มีความแข็งแรงขึ้นโดยจะมีคุณสมบัติคืออ่อนตัวยืดหยุ่นมีความเหนียวและความแข็งแรงโดยการบดยางให้ نرم ประมาณ 1 นาทีเติม ZnO, Stearic acid, MBTS, TMTD และ Sulphur บดรวมกันประมาณ 20 นาทีเติมใยฝ้ายและทัลคัมจะบดยางผสมกับทัลคัมให้เข้ากันก่อนที่จะเติมใยฝ้ายลงไปนำเอาสูตรยางที่ผสมกันเสร็จออกจากเครื่องบดสองลูกกลิ้ง (Two rolls milling) ทิ้งไว้ประมาณ 24 ชม. แล้วนำไปทดสอบความแข็งแรงดึงของวัสดุผสมทดสอบความแข็งแรงของวัสดุผสมและทดสอบ ผลการทดสอบพบว่าความแข็งแรงดึงของวัสดุผสมที่ค่าความเค้นเริ่มกระจายสม่ำเสมอที่จุดวิกฤตอยู่ที่ระดับปริมาณเส้นใยฝ้าย 10 phr ผสมกับทัลคัม 20 phr และที่ปริมาณเส้นใยฝ้าย 10 phr ผสมกับทัลคัม 50 phr ซึ่งทำให้ค่าความแข็งแรงดึงของวัสดุผสมเมื่อเทียบกับยาง STR 5L ลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

75.95% และ 66.44% ตามลำดับ ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นที่ 200%ของการยืดของวัสดุผสมที่จุดวิกฤติเพิ่มขึ้น 148.23% และ 193.33% ตามลำดับ

L. Mathew และคณะ (2007) [17] ศึกษาสมบัติการคงรูป สมบัติทางกล และสัณฐานวิทยาของคอมโพสิทระหว่างเส้นใยปอปิดและยางธรรมชาติ เส้นใยปอปิดผ่านการทำอัลคาไลน์เซชันด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 4 ชั่วโมง การทำอัลคาไลน์เซชันส่งผลให้ค่าทอร์กสูงสุดมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากจากพื้นผิวของเส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชันมีลักษณะที่เหมาะสมในการเสริมแรง และเมื่อเทียบที่ปริมาณเส้นใยเท่ากัน สมบัติทางกลของคอมโพสิทที่ใส่เส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชันให้ค่าสูงกว่าคอมโพสิทที่ใส่เส้นใยที่ไม่ได้ทำอัลคาไลน์เซชัน จากลักษณะทางสัณฐานวิทยาของตัวเส้นใย พบว่าเส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชันมีขนาดเล็กลง เนื่องมาจากการหลุดไปของลิกนิน และส่วนที่เป็นกรดไขมันส่งผลให้พื้นผิวของเส้นใยมีความขรุขระและเพิ่มประสิทธิภาพในการเกิดกลไกแบบการเชื่อมต่อกันทางกล

H. Ismail และคณะ (2009) [18] ศึกษาผลของยางธรรมชาติและยางธรรมชาติอีพ็อกซีไคซ์ต่อสมบัติการคงรูปและสมบัติความทนทานต่อแรงดึงของคอมโพสิทระหว่างเยื่อกระดาษ (paper sludge) และยางธรรมชาติพบว่าคอมโพสิทของยางธรรมชาติอีพ็อกซีไคซ์ให้ค่าทอร์กสูงสุดค่ามอดูลัสที่ 100 เปอร์เซ็นต์การดึงยึด (modulus at 100% strain) ค่ามอดูลัสที่ 300 เปอร์เซ็นต์การดึงยึด (modulus at 300% strain) และค่าความทนทานต่อแรงดึงสูงกว่าคอมโพสิทของยางธรรมชาติ เนื่องมาจากการยึดติดที่ีระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) ของเยื่อกระดาษกับหมู่อีพ็อกซีของยางธรรมชาติอีพ็อกซีไคซ์

M. Jacob และคณะ (2006) [19] รายงานผลของการตัดแปรด้วยความร้อนต่อสมบัติความทนทานต่อแรงดึงและลักษณะการบวมตัวของคอมโพสิทระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์และยางธรรมชาติเส้นใยป่านศรนารายณ์ถูกนำมาถักเป็นผืนแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 8 ชั่วโมงค่าความทนทานต่อแรงดึงค่าความทนทานต่อการฉีกขาดและค่าความแข็งของคอมโพสิทที่มีการตัดแปรโดยใช้ความร้อนมีค่าสูงกว่าคอมโพสิทที่ไม่มีการตัดแปรด้วยความร้อนเนื่องมาจากการให้ความร้อนแก่เส้นใยจนถึงอุณหภูมิที่พอเหมาะสามารถเพิ่มความสามารถในการเกิดผลึกของเส้นใยได้ การตัดแปรด้วยความร้อนส่งผลให้ความชื้นของเส้นใยลดลงและสามารถเพิ่มแรงยึดติดระหว่างเส้นใยและยางธรรมชาติได้จากการทดสอบสัณฐานวิทยาของคอมโพสิทแสดงให้เห็นว่าการตัดแปรด้วยความร้อนสามารถช่วยให้เส้นใยและยางธรรมชาติเข้ากันได้ดีขึ้น

N. Lopattananon และคณะ (2006) [20] เตรียมคอมโพสิทระหว่างเส้นใยสับปะรดและยางธรรมชาติโดยเส้นใยสับปะรดถูกตัดแปรด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างกันคือ 1 3 5 และ 7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเป็นเวลา 18 ชั่วโมงพบว่าการทำอัลคาไลน์เซชันสามารถเพิ่มแรงยึดติดระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์และสมบัติความทนทานต่อแรงดึงได้โดยที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักให้เปอร์เซ็นต์การปรับปรุงความแข็งแรงของคอมโพสิทสูงสุดคือ 28 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับคอมโพสิทที่ใส่เส้นใยที่ไม่ได้ทำอัลคาไลน์เซชันการทำอัลคาไลน์เซชันสามารถกำจัดลิกนินและสารประกอบพวกซึ้งี้ออกไปจากเส้นใยได้ดังนั้นจึงเป็นการเพิ่มโอกาสให้เส้นใยและยางธรรมชาติเกิดกลไกแบบการเชื่อมต่อกันทางกลและส่งผลให้สมบัติทางกลของคอมโพสิทมีค่าเพิ่มขึ้นด้วยจากการลักษณะทางสัณฐานวิทยาของคอมโพสิทพบว่าคอมโพสิทที่ใส่เส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชันมีการยึดติดระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์ที่ดีซึ่งสังเกตได้จากมีส่วนของยางติดอยู่บนพื้นผิวของเส้นใย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากงานวิจัยทั้งหมดแสดงให้เห็นว่า การศึกษาวัสดุคอมโพสิตทางธรรมชาติเสริมแรงด้วยเส้นใยธรรมชาติได้ถูกศึกษาอย่างแพร่หลาย ทั้งชนิดของเมทริกซ์ ชนิดของเส้นใยที่เสริมแรง ซึ่งศึกษาถึงผลต่อโครงสร้างจุลภาคและสมบัติเชิงกล ดังนั้นในโครงการวิจัยชิ้นนี้จะศึกษา กระบวนการผลิตยางธรรมชาติเสริมแรงด้วยเส้นใยเส้นใยมะพร้าว เส้นใยตาลโตนดและเส้นใยปาล์มน้ำมัน ผลของชนิดของเส้นใย ปริมาณการเติมเส้นใยและความยาวของเส้นใยที่มีผลต่อคุณสมบัติเชิงกล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

3.1.1 วัสดุ

- (1) ยางแท่ง STR 5L เป็นยางแท่งที่ผลิตจากน้ำยางสด ทำหน้าที่เป็นสารตัวหลัก ดังภาพที่ 3.1
- (2) เส้นใยคาบมะพร้าว มีลักษณะเฉพาะทางธรรมชาติ เป็นเส้นใยที่หยุ่นเหนียว แข็งแรงทนทาน มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ดังภาพรูปที่ 3.2
- (3) เส้นใยปาล์ม ลักษณะเป็นเส้นใยที่เหนียว ทน อากาศสามารถไหลเวียนผ่านได้ดี ดังภาพที่ 3.3
- (4) เส้นใยหมาก ลักษณะกลมหรือกลมรี เส้นผ่าศูนย์กลาง 2 – 2.5 โดยเฉลี่ย เส้นใยที่ได้จะได้จากส่วนเปลือกเยื่อต่างๆ เนื้อเปลือกมีเส้นใยละเอียด เหนียว ดังภาพรูปที่ 3.4
- (5) เส้นใยแก้ว ชนิด E glass (Electrical) ใช้สำหรับงานที่ต้องการรับแรงและเป็นฉนวนป้องกันไฟฟ้าได้ดี ดังภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.1 ยางแท่ง STR 5L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.2 เส้นใยจากมะพร้าว



ภาพที่ 3.3 เส้นใยปาล์ม



ภาพที่ 3.4 เส้นใยหมาก



ภาพที่ 3.5 เส้นใยแก้ว ชนิด E glass

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 สารเคมี

สารเคมีในการวิจัยแสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงสารเคมีในการวิจัย

ชื่อสารเคมี	ตัวย่อ	ลักษณะ	ทำหน้าที่
Sodium hydroxide	NaOH	เป็นของแข็งสีขาว	เป็นสารกระตุ้นหรือสารตัวเร่ง สำหรับสารตัวเร่งในยาง
Stearic acid		เป็นเกร็ดสีขาวอมเหลือง	เป็นสารกระตุ้น (activator) สำหรับสารตัวเร่งในยาง
zinc oxide	ZnO	เป็นผงสีขาวละเอียด	เป็นสารกระตุ้น(activator)
Sulfur	S ₈	เป็นผงสีเหลือง	เป็นสารวัลคาไนซ์ (vulcanizing agent)
Tetramethylthiuramdisulphide	TMTD	สีเทาหรือผงสีเทาอ่อน (เม็ด)	เป็นสารเร่งที่มีปฏิกิริยาเร็ว และเป็นสารเร่งที่ไม่มีรส ไม่มีกลิ่น
2,2' dibenzthiazyl disulphide	MBTS	สีเหลืองอ่อนหรือผงสีขาว	เป็นสารเร่งที่มีปฏิกิริยาเร็วปานกลาง ให้ผลดีถึงขั้นที่ยังที่มีสมบัติหลังจากการ ageing

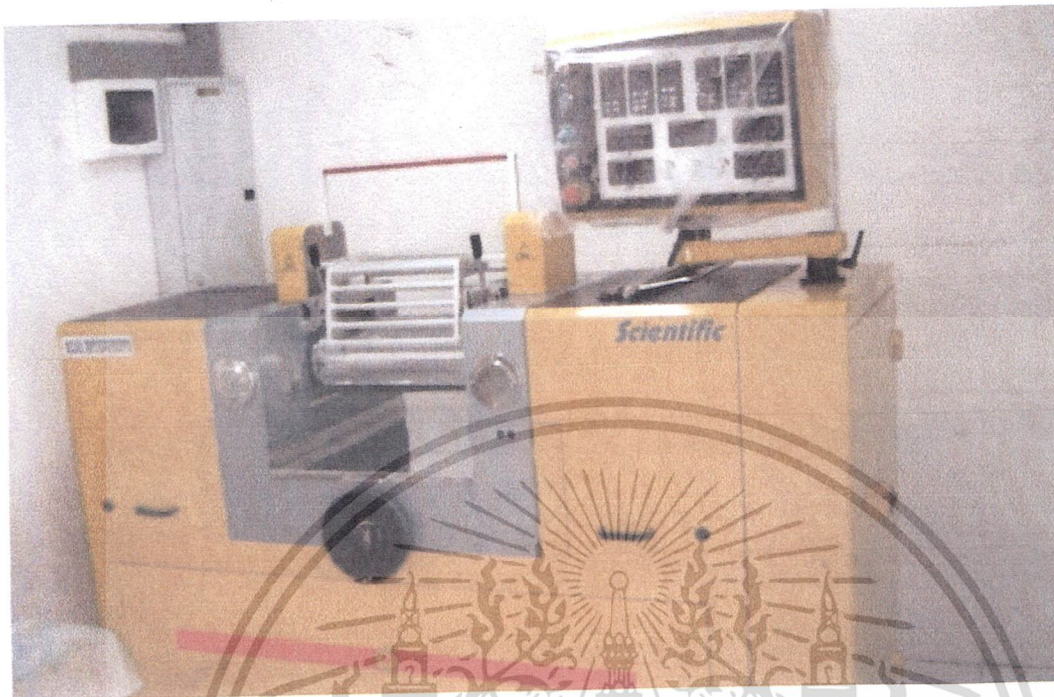
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย

- (1) เครื่องบดยางสองลูกกลิ้ง (Two roll mill) Lab Tech รุ่น LRM-S-110/3E ภาพที่ 3.6 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว ความยาว 12 นิ้ว จำนวน 2 ลูกกลิ้งหมุนด้วยก้านด้วยอัตราเร็วลูกกลิ้งข้างหน้าต่อลูกกลิ้งข้างหลัง 1: 1.38 เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการผสมยางคอมพาวด์
- (2) เครื่องทดสอบหาเวลาการวัลคาไนซ์ของยาง Moving Die Rheometer (MDR) ตามมาตรฐาน ASTM D1646-94 ภาพที่ 3.7 ใช้หาเวลาการวัลคาไนซ์ (Cure time) ของยางคอมพาวด์
- (3) เครื่องขึ้นรูปแบบกดอัด (Compression mold) Lab Tech รุ่น FOR LP-5-50 ภาพที่ 3.8 เครื่องกดอัดแบบร้อน เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับกดอัดชิ้นงานโดยแรงกดอัดไม่เกิน 50 ตัน
- (4) เครื่องทดสอบแรงดึง (Universal Testing Machine) ตามมาตรฐาน ASTM D412 ดังภาพที่ 3.9
- (5) เครื่องมือทดสอบสมบัติความแข็ง (Hardness tester) ตามมาตรฐาน ASTM D2240 ยี่ห้อ DESIK GROUP รุ่น HT-5610A ดังภาพที่ 3.10
- (6) ตู้อบ (OVEN) รุ่น ED/FD ดังภาพที่ 3.11
- (7) เครื่องชั่งดิจิตอล ทศนิยม 3 ตำแหน่ง ดังภาพที่ 3.12
- (8) เครื่องตัดชิ้นทดสอบรูปดัมเบลล์ ตามมาตรฐาน ASTM D412 ดังภาพที่ 3.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(8) เครื่องตัดชั้นทดสอบรูปดัมเบลล์ ตามมาตรฐาน ASTM D412 ดังภาพที่ 3.13



ภาพที่ 3.6 เครื่องบดยางสองลูกกลิ้ง (Two roll mill)

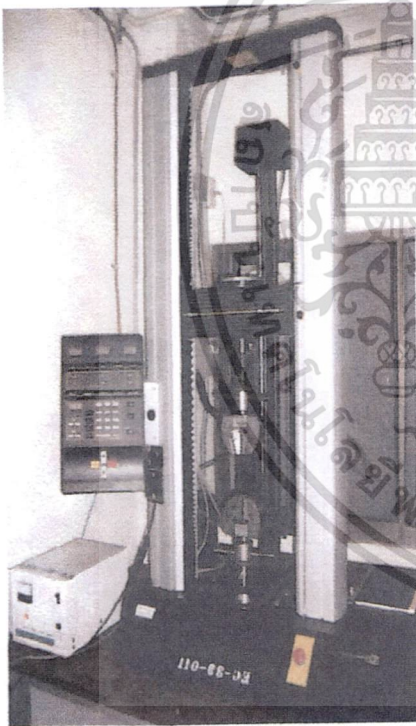


ภาพที่ 3.7 เครื่องทดสอบหาเวลาการวัลคาไนซ์ของยาง Moving Die Rheometer (MDR)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.8 เครื่องอัดแม่พิมพ์ยางไฮดรอลิก (Compression molding)

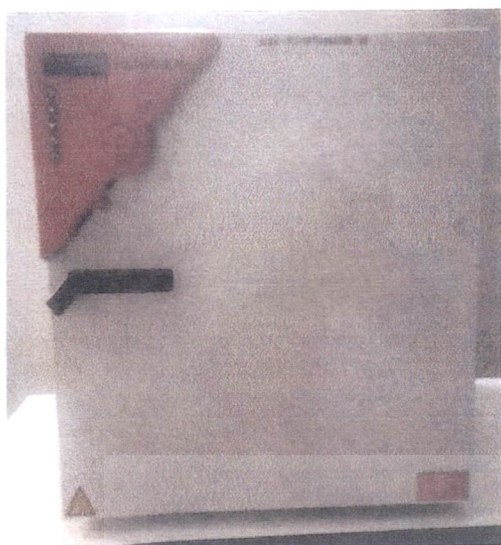


ภาพที่ 3.9 เครื่องทดสอบแรงดึง
(Universal Testing Machine)



ภาพที่ 3.10 เครื่องมือทดสอบสมบัติความแข็ง
(Hardness tester)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.11 ตู้อบ (OVEN) รุ่น ED/FD



ภาพที่ 3.12 เครื่องชั่งดิจิทัล ทศนิยม 3 ตำแหน่ง



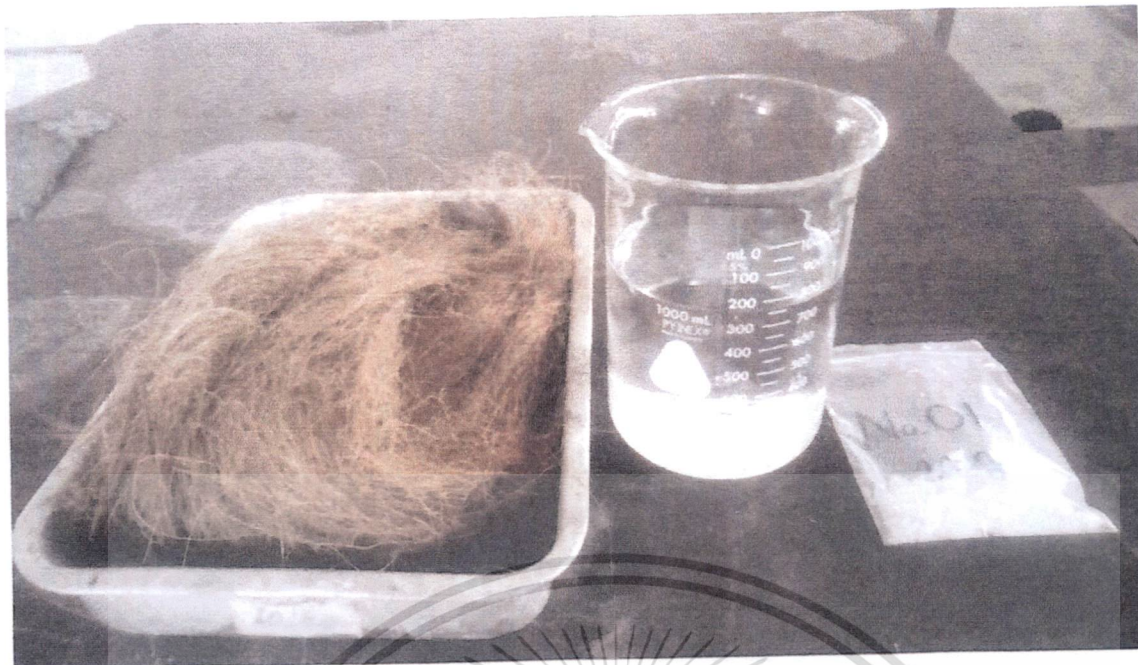
ภาพที่ 3.13 แสดงตัวอย่าง dies ที่ใช้ตัดชิ้นทดสอบรูปดัมเบลล์

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การปรับปรุงผิวเส้นใยปาล์มน้ำมัน เส้นใยหมาก และเส้นใยกาบมะพร้าวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

- เตรียมสารละลายโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 24 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น 800 มิลลิลิตร โดยมีความเข้มข้น 3 wt%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.14 แสดงการเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

- นำเส้นใยปาล์มน้ำมัน, เส้นใยหมากและเส้นใยกาบมะพร้าว แخذด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 3 wt% เป็นเวลา 6 ชั่วโมง (หมายเหตุ wt% = น้ำหนักโดยมวล)



ภาพที่ 3.15 แสดงการนำเส้นใยปาล์มน้ำมัน, เส้นใยหมาก และเส้นใยกาบมะพร้าว แخذด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

- นำเส้นใยที่ผ่านการแخذด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ล้างด้วยน้ำกลั่นประมาณ 3-4 ครั้ง
- ทำการอบเส้นใยในตู้อบความร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.16 แสดงการอบเส้นใย

- นำเส้นใยที่ทำการอบแล้วตัดที่ขนาดความยาว 5 และ 10 มิลลิเมตรเพื่อเตรียม TPNR ชนิดยางวัลคาไนซ์ต่อไป

3.3.2 สารเคมี ที่ใช้ในการทดลอง

- Zinc, Stearic acid, Sulphur, MBTS และ TMTD นำมาชั่งน้ำหนัก ตามสูตรที่ได้ ออกแบบไว้แล้ว เก็บเอาไว้ใน Desiccators ป้องกัน ความชื้น ซึ่งส่วนผสมทั้งหมด คิดตามน้ำหนักเทียบเป็น phr (parts per hundred rubber) ซึ่งเมื่อเทียบกับยางธรรมชาติที่ใช้ 100 กรัม ตามตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สูตรผสมของยางในการทดสอบ

ส่วนประกอบ	phr.
STR 5L	100
Stearic acid	1
Zinc Oxide	5
MBTS	0.5
TMTD	1.5
Sulphur	5
Fiber 4 ชนิด (มะพร้าว,ปาล์ม,หมาก)+ใยแก้ว E Glass	5,10

หมายเหตุ phr= part per hundred rubber

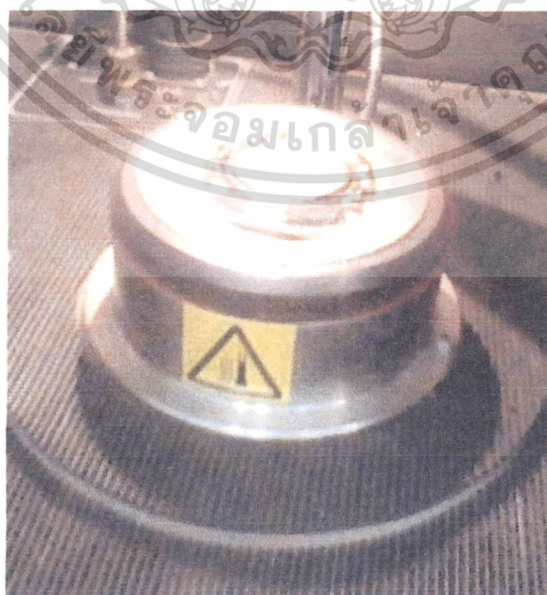
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 การผสมยางกับสารเคมีด้วยเครื่องบดสองลูกกลิ้ง

- นำยาง STR 5L มาทำบดย่อย (Mastication) ที่อุณหภูมิห้องโดยใช้เครื่องบดผสมสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) จนกระทั่งยางพันบนลูกกลิ้งทำการกรีดพับยางจนยางนิ่มใช้เวลา 5 นาที
- จากนั้นค่อยๆ เติม Steric acid และ Zinc oxide ลงไประหว่างลูกกลิ้งแล้วทำการบดโดยการกรีดและพับยาง (Cut-and-fold) เพื่อให้เกิดการผสมที่มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในยาง ใช้เวลาประมาณ 3 นาที
- เติมเส้นใยแต่ละชนิดลงไประหว่างลูกกลิ้งแล้วทำการบดผสมโดยการกรีดและพับยาง (Cut-and-fold) เพื่อให้เกิดการผสมที่มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในยาง ใช้เวลาประมาณ 4 นาที
- หลังจากนั้น เติม MBTS และ TMTD ลงไประหว่างลูกกลิ้งแล้วทำการบด โดยการกรีดและพับยาง (Cut-and-fold) เพื่อให้เกิดการผสมที่มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในยาง ใช้เวลาประมาณ 5 นาที
- ขั้นตอนสุดท้าย เติม Sulfur ลงไประหว่างลูกกลิ้งแล้วทำการบด โดยการกรีดและพับยาง (Cut-and-fold) เพื่อให้เกิดการผสมที่มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในยาง ใช้เวลาประมาณ 3 นาที
- พักยางคอมพาวด์ไว้ 1 คืน ก่อนนำไปทดสอบหาเวลาสุกของยางด้วยเครื่อง Moving Die Rheometer (MDR) และขึ้นรูปการอัดต่อไป

3.3.4 วิธีการขึ้นรูปยางด้วยเครื่องอัด

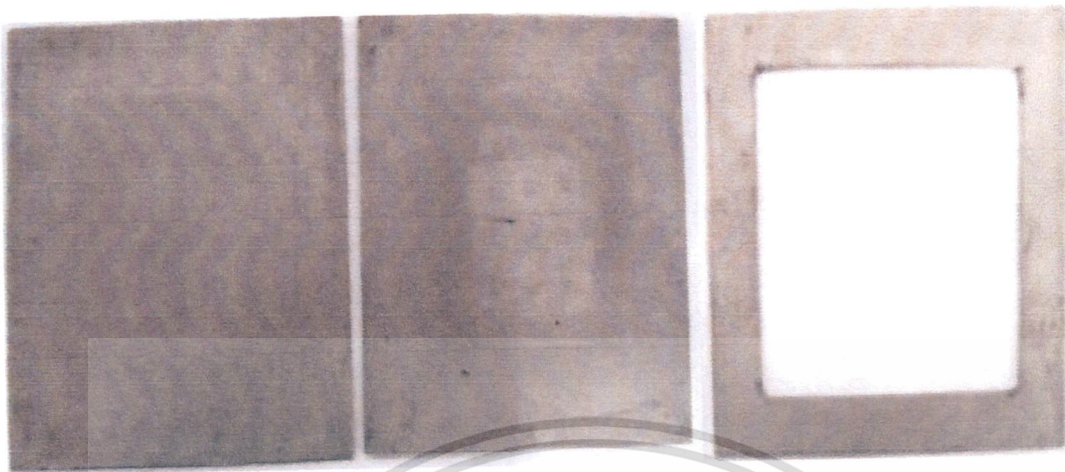
- อุณหภูมิ เครื่อง Moving Die Rheometer ที่อุณหภูมิ 150 °C รอจนกว่าอุณหภูมิคงที่ หลังจากนั้นแบ่งยางคอมพาวด์ที่เตรียมไว้ โดยใช้ยางคอมพาวด์มีน้ำหนักประมาณ 4-5 กรัม นำยางคอมพาวด์มาบรรจุในแผ่นฟิล์มพอลิเอสเตอร์ก่อนนำเข้าเครื่องทดสอบ ซึ่งเวลาที่ใช้ในการทดสอบการวัลคาไนซ์ของยางคอมพาวด์ 15 นาที ดังภาพที่ 3.17



ภาพที่ 3.17 ชิ้นงานที่ทำการหาเวลาครูปยาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- นำยางคอมพาวด์ที่เตรียมได้จากข้อที่ 3.3.3 ที่พักไว้ 1 คืน วางในเข้าพิมพ์ที่มีรูปร่างเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมหนา 2 mm ดังภาพที่ 3.18



(ก)

(ข)

(ค)

ภาพที่ 3.18 แม่พิมพ์สำหรับขึ้นรูปยาง (ก) และ (ข) ชิ้นงาน (ค)

- ใส่เข้าพิมพ์ในเครื่องอัด ใช้ความดัน 1,500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ใช้เวลาในการอัดตามเวลาที่ได้จากการทดสอบจากเครื่อง MDR
- เมื่อครบเวลาตามที่กำหนด นำแผ่นยางที่ได้ออกมาฝั่งตั้งทิ้งไว้ 1 คืน แล้วตัดเป็นชิ้นงานมีรูปร่างตามมาตรฐานการทดสอบและทดสอบสมบัติต่างๆ ต่อไป

3.3.5 การทดสอบสมบัติความแข็งของยางคงรูป

- นำชิ้นงานทดสอบที่มีความหนาทำการทดสอบด้วยเครื่องวัดความแข็งแบบ Shore A ตามมาตรฐาน ASTM D2240 โดยเตรียมชิ้นทดสอบให้มีความหนาน้อยกว่า 6 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กัดเป็นเวลา 5 วินาที ที่ตำแหน่งต่างกัน 20 ตำแหน่ง อ่านค่าความแข็งจากเครื่องทดสอบชิ้นงานจำนวน 5 ตัวอย่าง

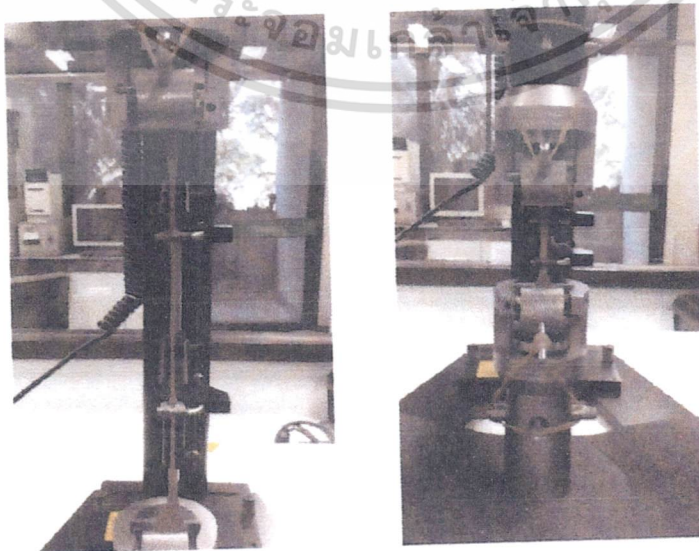
3.3.6 การทดสอบต่อสมบัติการทนต่อแรงดึง

- นำชิ้นงานที่ขึ้นรูปแล้วตัดเป็นชิ้นทดสอบรูปดัมเบลล์มาตรฐาน ASTM D412 เพื่อทดสอบต่อแรงดึง ซึ่งใช้เครื่องตัดชิ้นทดสอบแบบ Die C ดังภาพที่ 3.19

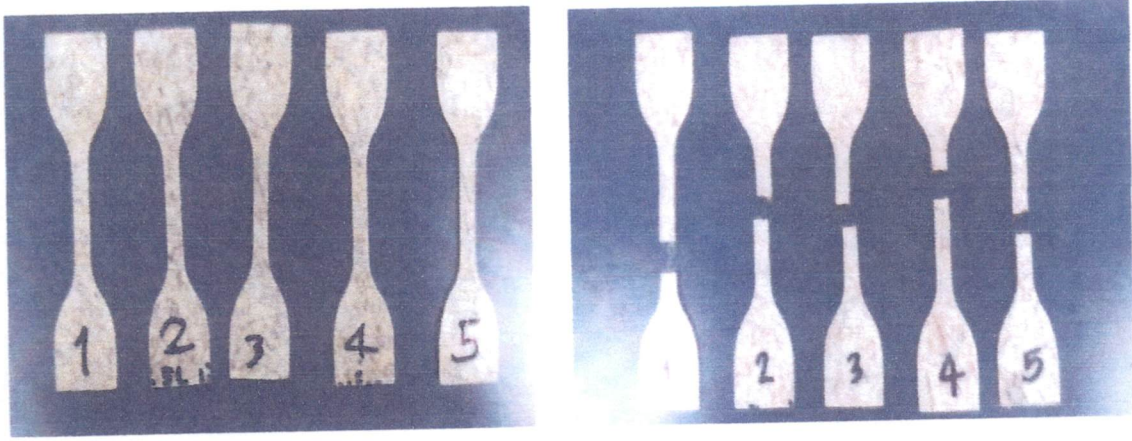


ภาพที่ 3.19 ชิ้นทดสอบรูปดัมเบลล์ (Die C) สำหรับการทดสอบความทนต่อแรงดึง

- วัดความหนาของชิ้นทดสอบ 3 ตำแหน่ง ในช่วง gauge length และคำนวณหาค่าเฉลี่ยของความหนาที่ได้
- นำชิ้นทดสอบไปทดสอบความทนต่อแรงดึง โดยใช้ความเร็วในการทดสอบ 500 mm/min ดังภาพที่ 3.20 ตัวอย่างหนึ่งสูตรจะใช้ชิ้นทดสอบ 5 ชิ้นทำการเก็บค่าการทนทานต่อแรงดึงการยืดตัว ณ จุดขาด



เอกสารนี้เป็นเอกสารภาพที่ 3.20 แสดงการทดสอบ Tensile Strength (ASTM D412) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

(ข)

ภาพที่ 3.21 แสดงลักษณะชิ้นงาน สำหรับการทดสอบแรงดึง Tensile Strength (ASTM D412)
(ก) ก่อนการดึง (ข) หลังการดึง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเตรียมคอมโพสิตจากยางธรรมชาติ STR 5L ผสมเส้นใยธรรมชาติ ร่วมกับเส้นใยแก้ว E glass และศึกษาสมบัติเชิงกล โดยพิจารณาผลการทดลองของคอมโพสิตระหว่างยางธรรมชาติ และเส้นใยปาล์มน้ำมัน เส้นใยหมากและเส้นใยกาบมะพร้าวร่วมกับเส้นใยแก้ว E glass ประกอบด้วย ซึ่งแสดงผลการทดสอบสมบัติเวลาการคงรูปของยาง (Cure time) ความแข็ง (Hardness test) ความทนทานต่อแรงดึง (Tensile strength) จากอิทธิพลของปริมาณของเส้นใยธรรมชาติร่วมกับเส้นใยแก้ว E glass ที่ปริมาณ 5 และ 10 ส่วนในหนึ่งร้อยส่วนของยางธรรมชาติ (part per hundred of rubber, phr) และอิทธิพลของความยาวเส้นใยที่ 5 และ 10 mm

4.1 ผลของเวลาการคงรูปยาง

จากการทดสอบสมบัติการคงรูปด้วยเครื่อง MDR ค่าทอร์กสูงสุด (Maximum Torque, (M_H)) ที่ได้เป็นค่าที่บอกถึงความแข็งของยางในขณะที่ค่าทอร์กต่ำสุด (Minimum Torque, (M_L)) จะบอกถึงความหนืดเริ่มต้นของยางคอมพาวด์ ค่าทอร์กสูงสุด ค่าทอร์กต่ำสุด เวลาการสกออร์ช (t_{s1}) และเวลาการคงรูป (t_{90}) ของยางธรรมชาติที่เสริมแรงด้วยเส้นใยที่มีการปรับปรุงเส้นใยธรรมชาติด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และผ่านการวัลคาไนซ์แสดงดังตารางที่ 4.1 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยที่มีการปรับปรุงส่งผลให้ค่าทอร์กสูงสุด และค่าทอร์กต่ำสุดเพิ่มขึ้นดังแสดงในภาพที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ เนื่องมาจากการเพิ่มปริมาณของเส้นใยทำให้แรงบิดต่ำสุดของเครื่อง MDR มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากการที่เส้นใยเข้าไปขัดขวางการเคลื่อนที่สายโซ่โมเลกุลของยางในขณะที่ได้รับความร้อน ทำให้โมเลกุลของยางเคลื่อนที่ได้ยากขึ้น ความหนืดจึงเพิ่มขึ้นเป็นผลให้แรงบิดมีค่ามากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งสอดคล้องกับ L. Mathew และคณะ [17] ซึ่งเปิดเผยว่า เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยส่งผลให้ค่าทอร์กสูงสุดของคอมโพสิตระหว่างเส้นใยปอปิด (Isora fiber) และยางธรรมชาติเพิ่มขึ้น

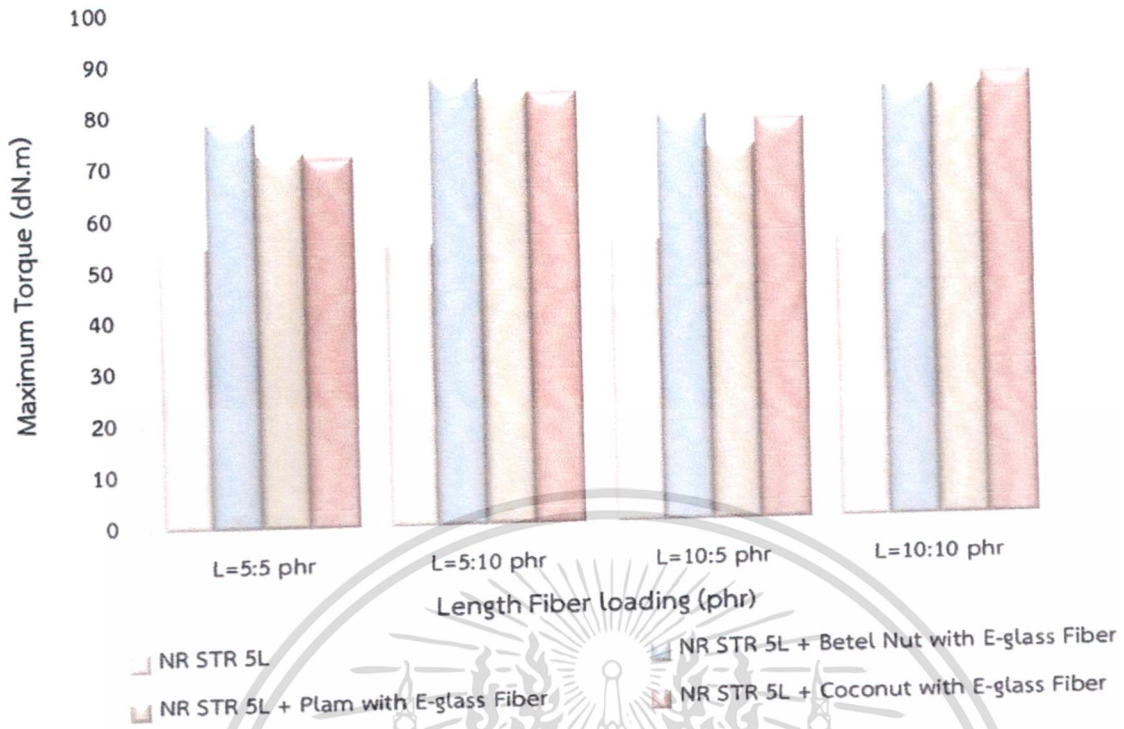
จากภาพที่ 4.3 พบว่าปริมาณของเส้นใยที่มีการปรับปรุงไม่ได้ส่งผลต่อค่าเวลาการสกออร์ชของคอมโพสิต นอกจากนี้หลากหลายงานวิจัยที่กล่าวว่า พบผลที่คล้ายกันเมื่อทดสอบกับคอมโพสิตระหว่างเส้นใยไฟเบอร์และยางธรรมชาติและคอมโพสิตระหว่างเส้นใยสับปะรดและยางธรรมชาติ พบว่าเวลาการคงรูปของคอมโพสิตมีค่าลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณของเส้นใยที่มีการปรับปรุง ดังแสดงในภาพที่ 4.4 โดยทั่วไปแล้วสมบัติการคงรูปของคอมโพสิตขึ้นอยู่กับสมบัติของสารเสริมแรง เช่น พื้นที่ผิวขนาดของสารเสริมแรงความชื้นและปริมาณของโลหะออกไซด์ โดยค่าทอร์กสูงสุด และค่าทอร์กต่ำสุดจะเพิ่มขึ้นในขณะที่ค่าเวลาการสกออร์ช และค่าเวลาการคงรูปมีค่าลดลง

เมื่อพิจารณาที่ปริมาณเส้นใยเท่ากัน พบว่าคอมโพสิตของเส้นใยที่ผ่านการทำวัลคาไนซ์ให้ค่าทอร์กสูงสุด

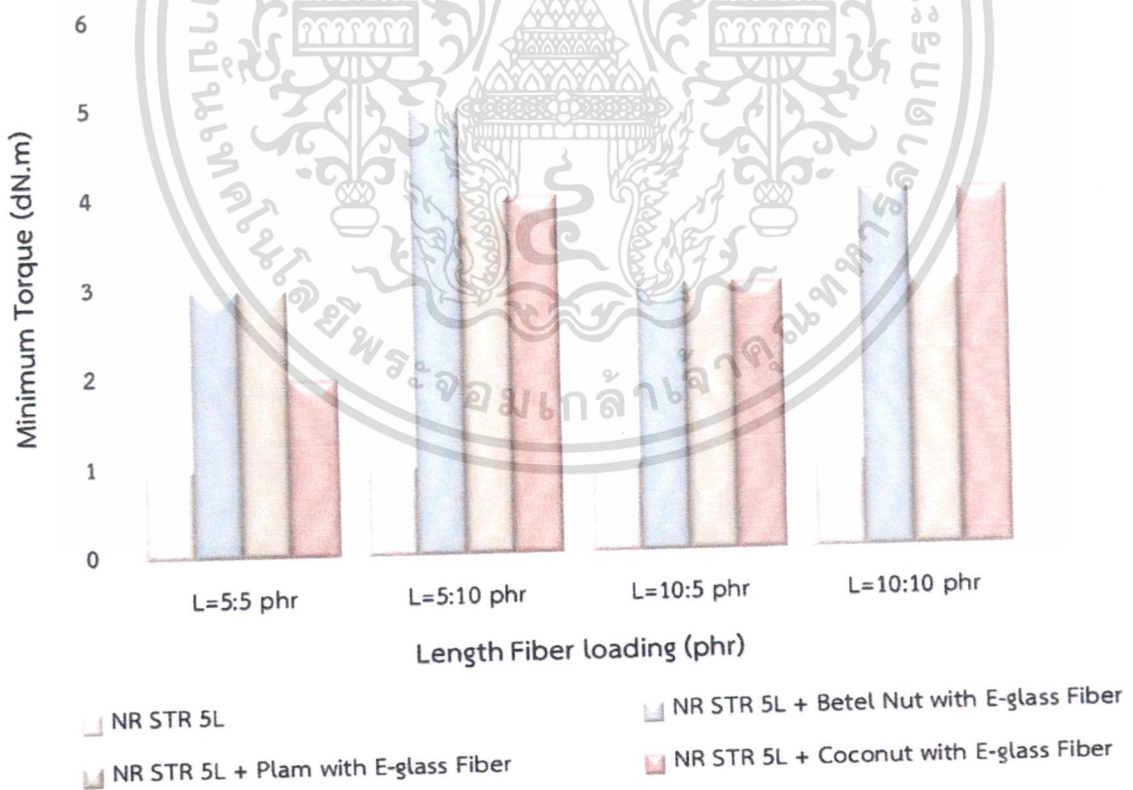
ตารางที่ 4.1 สมบัติการคงรูปของยางธรรมชาติที่เสริมแรงด้วยเส้นใยที่ได้มีการปรับปรุงเส้นใยธรรมชาติด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ผ่านการทำวัลคาไนซ์ที่ปริมาณเส้นใยต่างๆ

Formulation	M_H (dN-m)	M_L (dN-m)	Time (min)	
			t_{s1}	t_{90}
NR STR 5L	55	1	2	3
STR 5L+Betel Nut with E-glass Fiber L=5,5 phr	79	3	1.5	2.5
STR 5L+Betel Nut with E-glass Fiber L=5,10 phr	87	5	1.1	2.2
STR 5L+Betel Nut with E-glass Fiber L=10,5 phr	79	3	1.2	2.3
STR 5L+Betel Nut with E-glass Fiber L=10,10 phr	84	4	1.2	2.3
STR 5L+Plam with E-glass Fiber L=5,5 phr	73	3	1.3	2.3
STR 5L+Plam with E-glass Fiber L=5,10 phr	84	4	1.2	2.1
STR 5L+Plam with E-glass Fiber L=10,5 phr	73	3	1.6	2.6
STR 5L+Plam with E-glass Fiber L=10,10 phr	84	3	1.2	2.3
STR 5L + Coconut with E-glass Fiber L=5,5 phr	72	2	1.4	2.5
STR 5L + Coconut with E-glass Fiber L=5,10 phr	84	4	1.2	2.2
STR 5L + Coconut with E-glass Fiber L=10,5 phr	78	3	1.4	2.6
STR 5L + Coconut with E-glass Fiber L=10,10phr	86	4	1.4	2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

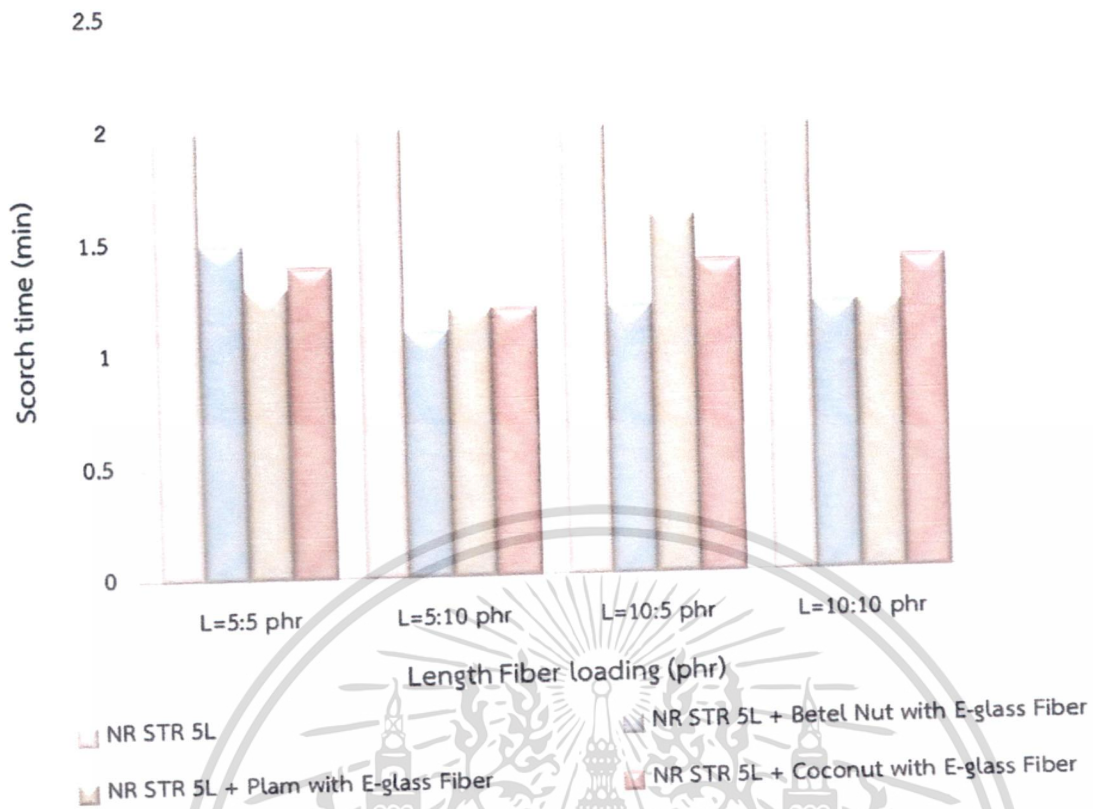


ภาพที่ 4.1 ผลของปริมาณเส้นใยต่อค่าทอร์กสูงสุดของคอมโพสิตที่มีการปรับปรุงเส้นใยธรรมชาติด้วยสารละลายไซโตเต็มไฮดรอกไซด์ที่ผ่านการวัลคาไนซ์กับปริมาณความยาวเส้นใยที่ต่างกัน

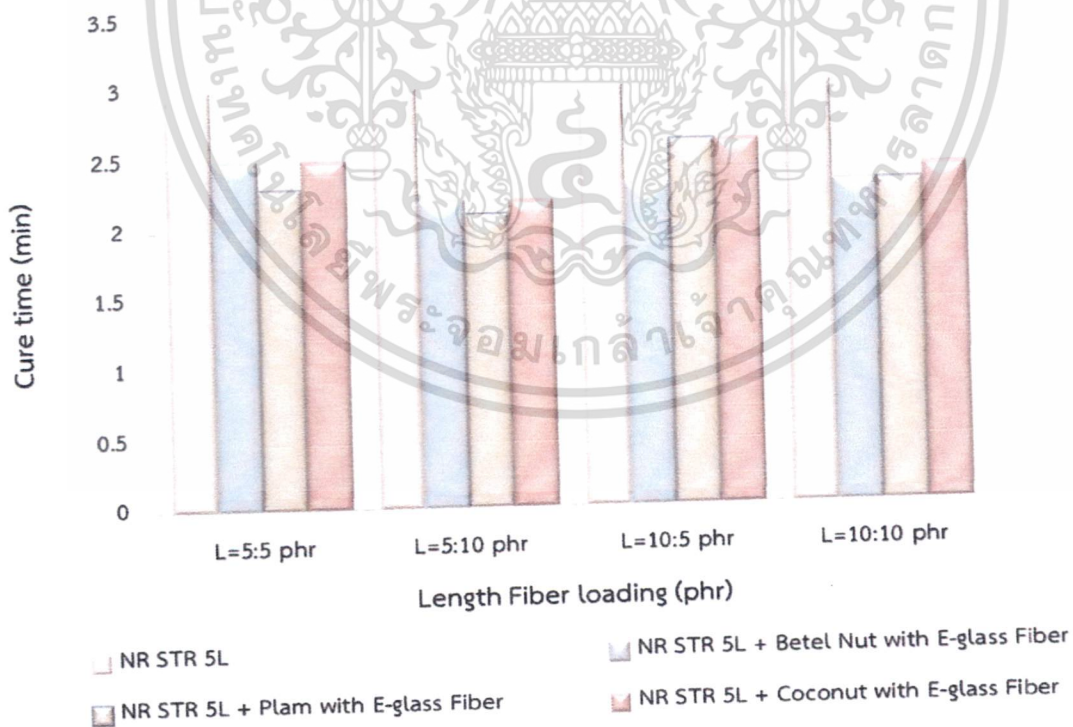


ภาพที่ 4.2 ผลของปริมาณเส้นใยต่อค่าทอร์กต่ำสุดของคอมโพสิตที่มีการปรับปรุงเส้นใยธรรมชาติด้วยสารละลายไซโตเต็มไฮดรอกไซด์ที่ผ่านการวัลคาไนซ์กับปริมาณความยาวเส้นใยที่ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.3 ผลของปริมาณเส้นใยต่อค่าเวลาการสกอ์ชของคอมโพสิตที่มีการปรับปรุงเส้นใยธรรมชาติด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ผ่านการวัลคาไนซ์กับปริมาณความยาวเส้นใยที่ต่างกัน



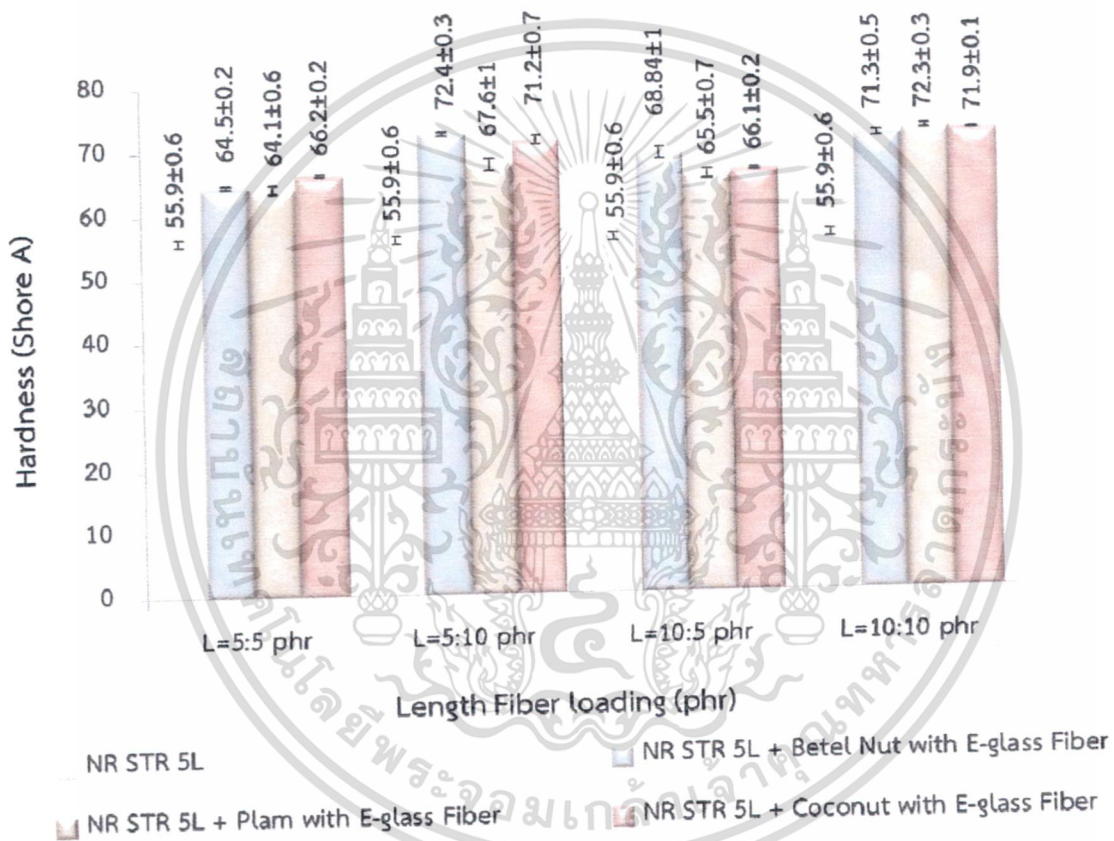
ภาพที่ 4.4 ผลของปริมาณเส้นใยต่อค่าเวลาการคงรูปของคอมโพสิตที่มีการปรับปรุงเส้นใยธรรมชาติด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ผ่านการวัลคาไนซ์กับปริมาณความยาวเส้นใยที่ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 สมบัติทางกล (Mechanical properties)

4.2.1 สมบัติด้านความแข็ง (Hardness)

พบว่า การใส่เส้นใยปาล์ม น้ำมัน เส้นใยหมาก เส้นใยกาบมะพร้าว ร่วมกับเส้นใยแก้ว E glass เข้าไปในส่วนเสริมแรงในยางธรรมชาติ STR 5L เมื่อทดสอบความแข็ง ผลปรากฏว่าค่าความแข็งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณของเส้นใยที่เติมลงไป และเมื่อเติมเส้นใยแก้ว E glass ซึ่งมีคุณสมบัติในด้านความแข็งสูง ยิ่งทำให้ค่าความแข็งของยางเพิ่มขึ้น และสามารถรับแรงกดอัดโดยไม่เสียรูปได้มากกว่ายางที่ไม่มีส่วนเสริมแรง อิทธิพลของเส้นใยแก้ว E glass เป็นการแทรกกลลงในเนื้อยางแทนช่องว่างของ Free Volume ในยาง ทำให้ยางมีความต้านทานต่อแรงกดเพิ่มมากขึ้น ค่าความแข็งโดยรวมของชิ้นงานยางจึงเพิ่มขึ้นดังแสดงในภาพที่ 4.7 แม้จะมีความแข็งเพิ่มขึ้น แต่ในขณะที่การเติมเส้นใยแก้ว E glass ไม่ช่วยเสริมความต้านทานแรงดึง และเพิ่มค่าการยืดตัวก่อนขาดให้แก้วสตุคคอมโพสิตเลย

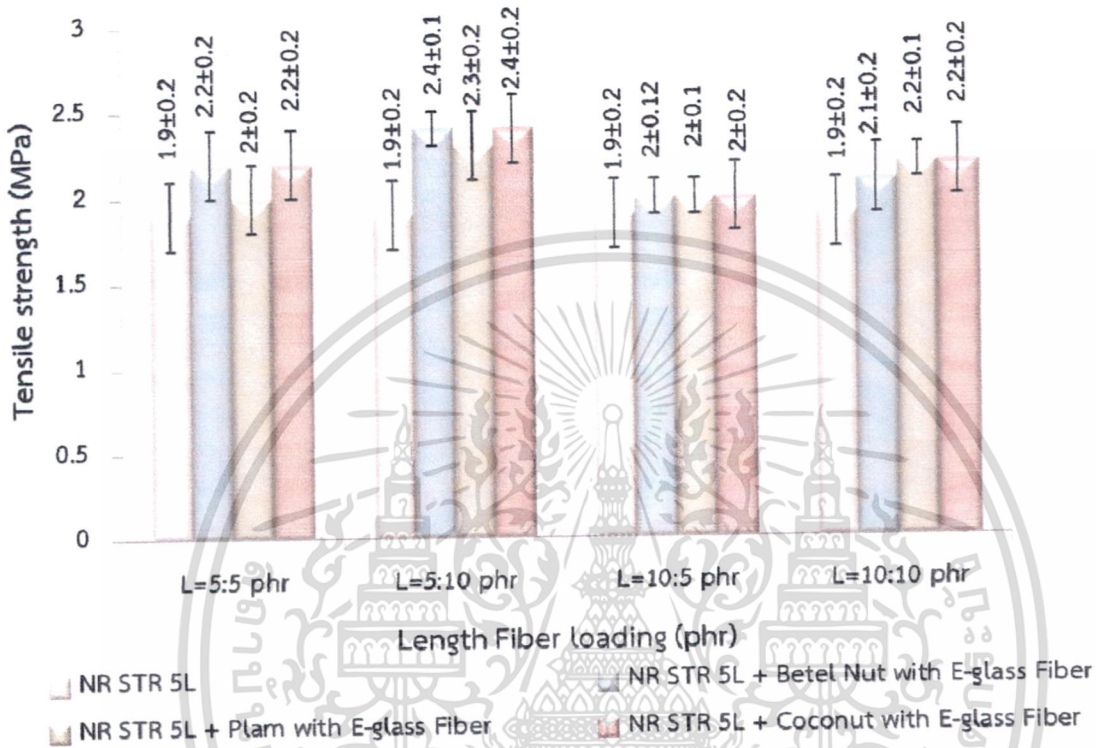


ภาพที่ 4.5 ผลของปริมาณเส้นใยต่อค่าความแข็งของคอมโพสิตที่มีการปรับปรุงเส้นใยธรรมชาติด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ผ่านการวัลคาไนซ์กับปริมาณความยาวเส้นใยที่ต่างกัน

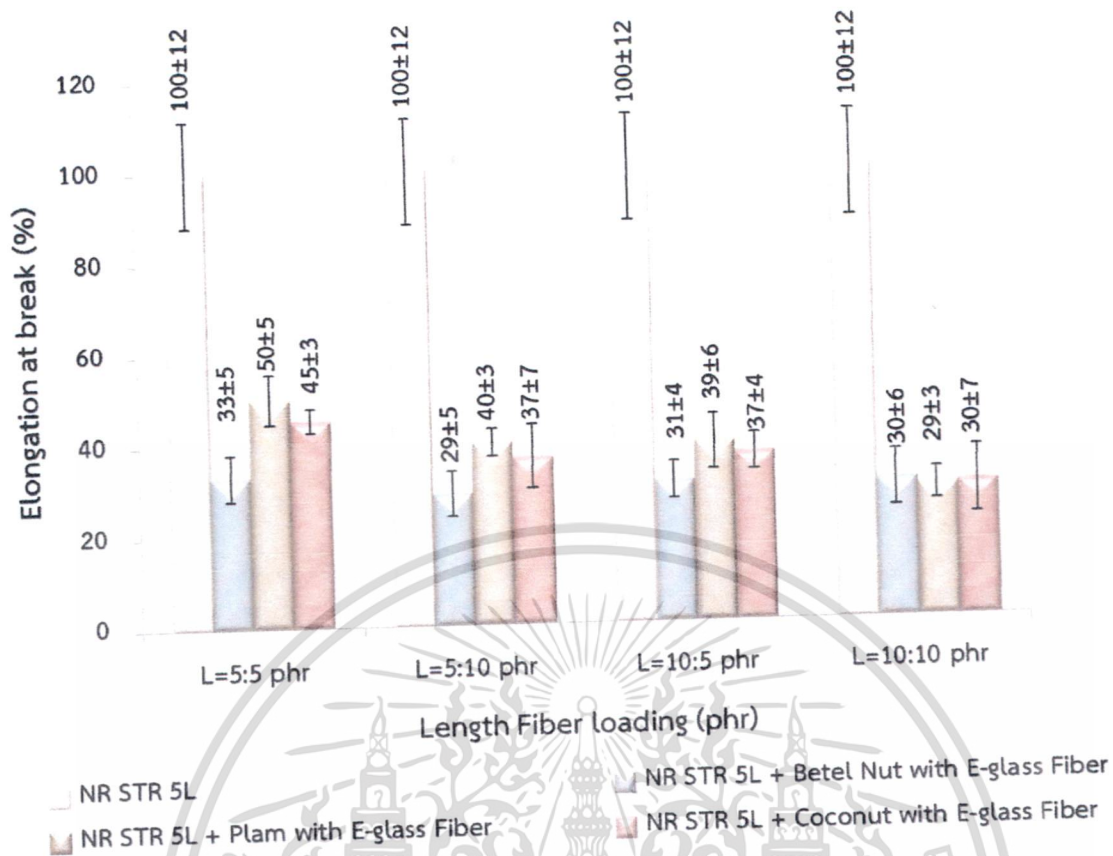
4.2.2 สมบัติความทนทานต่อแรงดึง (Tensile properties)

จากผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของแผ่นวัสดุจากเส้นใยปาล์ม น้ำมัน เส้นใยหมาก เส้นใยกาบมะพร้าว ร่วมกับเส้นใยแก้ว E glass บดผสมยางธรรมชาติในอัตราส่วนที่ความยาว 5 มิลลิเมตร ปริมาณการเติมเส้นใย 5, 10 phr และที่ความยาว 10 มิลลิเมตร ปริมาณการเติมเส้นใย 5, 10 phr พบว่าอัตราส่วนที่ความยาว 5 และ 10 มิลลิเมตรที่ปริมาณการเติมเส้นใย 5 phr ทำให้อย่างมีความต้านทานแรงดึงลดน้อยลง อีกทั้งปริมาณของเมทริกซ์ที่เป็นเนื้อยางจะน้อยลง โดยที่ความต้านทานแรงดึงอาจเป็นค่าของเส้นใยปาล์ม น้ำมัน เส้นใยหมาก เส้นใยกาบมะพร้าว ที่มียางเป็นตัวประสาน มีเนื้อเยื่อเสริมเป็นเนื้อเยื่อที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญูตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บางส่วนโดนกันโดยเส้นใย ประกอบกับในระหว่างกระบวนการขึ้นรูปมีทั้งกระบวนการให้ความร้อนและการทิ้งชิ้นงานไว้ให้เย็น วัสดุทั้งสองชนิดมีความสามารถในการหดตัวและขยายตัวทางความร้อนได้ไม่เท่ากัน จึงมีผลให้เกิดช่องว่างขึ้นระหว่างเฟส ความบกพร่องดังกล่าวทำให้ความต้านทานแรงดึงของชิ้นงานลดลง ดังแสดงในภาพที่ 4.6 แต่ด้วยเหตุผลนี้ทำให้ค่าการยึดตัวก่อนขาดของยางคอมโพสิตที่มีค่าสูงขึ้นและลดลงตามความยาวของเส้นใย ดังแสดงในภาพที่ 4.7



ภาพที่ 4.6 ผลของปริมาณเส้นใยต่อค่าความต้านทานแรงดึงของคอมโพสิตที่มีการปรับปรุงเส้นใยธรรมชาติด้วยสารละลายไซโตเดียมไฮดรอกไซด์ที่ผ่านการวัลคาไนซ์กับปริมาณความยาวเส้นใยที่ต่างกัน



ภาพที่ 4.7 ผลของปริมาณเส้นใยต่อค่าการยืดตัวก่อนขาดของคอมโพสิตที่มีการปรับปรุงเส้นใยธรรมชาติด้วยสารละลายไซโตเรียมไฮดรอกไซด์ที่ผ่านการวัลคาไนซ์กับปริมาณความยาวเส้นใยที่ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการศึกษาการเตรียมคอมโพสิตจากยางธรรมชาติ STR 5L ผสมเส้นใยธรรมชาติร่วมกับเส้นใยแก้ว E glass พบว่า การเติมเส้นใยปาล์มน้ำมัน เส้นใยหมาก เส้นใยกาบมะพร้าวร่วมกับเส้นใยแก้ว E glass ให้ทำหน้าที่เป็นส่วนเสริมแรงในยางนั้น สามารถสรุปได้ดังนี้

- แรงบิดต่ำสุดที่เกิดในขณะเวลาคงรูปเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณของการเติมเส้นใย ทั้งในเส้นปาล์มน้ำมัน เส้นใยหมาก เส้นใยกาบมะพร้าวที่เติมกับเส้นใยแก้ว E glass และชี้ให้เห็นว่าความหนืดเพิ่มขึ้น เมื่อใส่เส้นใยที่ปริมาณ 10 phr

- ความแข็งของชิ้นงานเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณการเติมเส้นใยปาล์มน้ำมัน เส้นใยหมาก เส้นใยกาบมะพร้าวร่วมกับเส้นใยแก้ว E glass เท่ากับ 10 phr

- ความต้านทานแรงดึงของชิ้นงานเพิ่มขึ้นเมื่อใส่ใยปาล์มน้ำมัน เส้นใยหมาก เส้นใยกาบมะพร้าวร่วมกับเส้นใยแก้ว E glass ที่ความยาว 5 และ 10 มิลลิเมตร ที่ปริมาณการเติมเส้นใย 10phr แต่เมื่อปริมาณการเติมเส้นใยที่ 5 phr ความต้านทานแรงดึงของยางจะลดลง ตามปริมาณเส้นใย

สรุปผลการศึกษาพบว่า ปริมาณการเติมเส้นใยปาล์มน้ำมัน เส้นใยหมาก เส้นใยกาบมะพร้าวร่วมกับเส้นใยแก้ว E glass มีผลต่อคุณสมบัติเชิงกล พิจารณาที่ความยาว 5มิลลิเมตร โดยปริมาณการเติมที่เส้นใยเท่ากับ 10 phr และพิจารณาที่ความยาว 5 กับ 10 มิลลิเมตร ปริมาณการเติมที่เส้นใย 5 phr จากการวิเคราะห์ผลพบว่า ปริมาณการเติมเส้นใยมีผลต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิต โดยมีค่า Hardness Shore A เพิ่มขึ้น 72.4 , 72.3 และ 71.3 ตามลำดับ และ Tensile Strength เพิ่มขึ้น 2.4 และ 2.3 MPa ตามลำดับ ขณะที่ Elongation at break เพิ่มขึ้น 50% 45% และ 33% ตามลำดับ จากการทดลองพบว่าเส้นใยมะพร้าวกับเส้นใยหมากที่ความยาว 5 มิลลิเมตร ที่ปริมาณการเติมเส้นใย 10 phr มีค่า Tensile Strength สูงที่สุดอยู่ที่ 2.4 MPa และ ค่า Hardness Shore A ความยาวที่ 5 กับ 10 มิลลิเมตรปริมาณการเติมเส้นใยที่ 10 phr สูงที่สุดอยู่ที่ 72.4 และ 72.3 Shore A

5.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้นำเส้นใยธรรมชาติร่วมกับเส้นใยแก้ว E glass ซึ่งการนำเส้นใยทั้งสองชนิดมาร่วมกันทำให้เส้นใยแก้ว E glass ไม่ช่วยเสริมความต้านทานแรงดึงเพราะเกิดจากการวางพาดกันของเส้นใยซึ่งมีการจัดวางอย่างไม่เป็นระเบียบ ทำให้ส่วนเสริมแรงไม่สามารถเข้าไปแทรกแทนที่ช่องว่างที่อยู่ระหว่างเส้นใยได้ ทำให้เกิดช่องว่างขึ้นภายในวัสดุคอมโพสิต เป็นสาเหตุให้ความต้านทานแรงดึงลดลง

บทที่ 6 สรุปผลผลิตงานวิจัย

6.1 การเผยแพร่

ตีพิมพ์ลงในงานประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติครั้งที่ 15 และระดับนานาชาติ ครั้งที่ 7 ในลักษณะ International Conference ประเภท poster presentation ซึ่งจัดประชุมเมื่อวันที่ 2-4 เมษายน 2557 ณ โรงแรมกรุงศรีริเวอร์ อ.พระนครศรีอยุธยา จ.พระนครศรีอยุธยา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] วรากรณ์ ขจรไชยกูล, 2552 “ผลิตภัณฑ์ยาง: กระบวนการผลิตและเทคโนโลยี” พิมพ์ครั้งที่ 2, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, กรุงเทพฯ, หน้า 59-60, 166, 168-174
- [2] ศรีนยา เกษมบุญญากร “การจำแนกลักษณะโครงสร้าง คุณสมบัติของเส้นใย” *โครงการอบรมการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ผ้าตามหลักมาตรฐาน*, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, หน้า 3-22
- [3] สุภาสินี ลิ้มปานภาพ “คอมโพสิต” *เอกสารการเรียนการสอนวิชา Material Science*, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, หน้า 191-202
- [4] G. Venkatesha Prasanna and K. Venkata Subbaiah, “Hardness, tensile properties and morphology of blend hybrid biocomposites” *Scholarly Journal of Engineering Research*. 2: 21-29 (2013)
- [5] S.Raghavendra, Lingaraju, P. Balachandra Shetty and P.G. Mukunda, “Mechanical Properties of Short Banana Fiber Reinforced Natural Rubber Composites” *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. 2: 1652-1655 (2013)
- [6] กษมา จารุกำจร และ นิธินาถ ศุภกาญจน์, 2555 “การเตรียมคอมโพสิตจากยางธรรมชาติและเส้นใยป่านศรนารายณ์” *รายงานการวิจัย*, สาขาวิศวกรรมพอลิเมอร์, สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- [7] ศรุต ศรีสันติสุข, สัมพันธ์ ไชยเทพ, ดามร บัณฑิตรัตน์และ ชาย รังสิยากุล, 2555 “การเปรียบเทียบความต้านทานแรงดึงของวัสดุคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยไผ่ใยแก้ว และคาร์บอนไฟเบอร์” *การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย, ครั้งที่ 13*.
- [8] ยุพาพร รักสกุลพิวัฒน์, วิมลลักษณ์ สุตะพันธ์, นิธินาถ ศุภกาญจน์, 2554 “โครงการการศึกษาการใช้ยางธรรมชาติช่วยปรับปรุงความทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากปอแก้ว” *รหัสโครงการ [SUT7-710-50-24-74]*
- [9] N. Venkateshwaran, A. Elayaparumal, “Prediction of tensile properties of hybrid-natural fiber composites” *Composite*. 13: 793-796 (2011)
- [10] รัตนา ต้นชเทอดธรรม, วุฒินันท์ คง-ทัต และ กล้าณรงค์ ศรีรอด, 2553 “การศึกษาการเตรียมและสมบัติของวัสดุคอมโพสิตของยางธรรมชาติกับเส้นใยกาบมะพร้าวและปาล์มน้ำมัน” *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่ 48*, หน้า 523-529.
- [11] Ku H., Wang H., Pattarachaiyakoop N. and Trada M. “A review on the tensile properties of natural fiber reinforced polymer composites” *Composites*. 42: 856-873 (2010)
- [12] เอกรัตน์ รวยรวย, ประชุม คำพุด, กิตติพงษ์ สุวีโร และ สมพิศ ดีบุญโน, 2552 “กระเบื้องยางปูพื้นจากยางธรรมชาติผสมเส้นใยมะพร้าว” *จุลสารเครือข่ายวิจัยอุดมศึกษาภาคกลางตอนล่างปีที่ 4*, 2, หน้า 7-14

- [13] เกศินี โกศลเมธี, 2552 “การเตรียมและสมบัติเชิงกลของยางคอมโพสิตเตรียมจากยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกผสมเส้นใยปอกระเจก” *วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต*, สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีพอลิเมอร์, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- [14] M. Jacob John, B. Francis, K.T. Varughese and S. Thomas, “Effect of chemical modification on properties of hybrid fiber biocomposites” *Composites*. 39: 352-363 (2008)
- [15] อนุรักษ์ ไพบโรจน์, 2551 “ศักยภาพการใช้อย่างธรรมชาติรีไซเคิลและพลาสติกทำบล็อกรูปพื้น” *วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต*, สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ, บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- [16] เล็ก สีสง รัชชัยย์ ปลุกผล และ เดวิทย์ ก้วกำจัด, 2549 “การศึกษาสมบัติของยางธรรมชาติที่เติมเส้นใยฝ้ายและทลคัม” *การประชุมวิชาการด้านเหมืองแร่โลหการและปิโตรเลียม (รอบครึ่งทาง)*, หน้า 111-117.
- [17] L. Mathew and R. Joseph, “Mechanical Properties of Short-Isora-Fiber-Reinforced Natural Rubber Composites: Effects of Fiber Length, Orientation, and Loading; Alkali Treatment; and Bonding Agent” *Journal Apply Polymer Science*. 103: 1640-1650 (2007)
- [18] H. Ismail, D. Galpaya and Z. Ahmad. “The compatibilizing effect of epoxy resin (EP) on polypropylene (PP)/recycled acrylonitrile butadiene rubber (NBRr) blends” *Polymer Testing*. 28: 363–370 (2009)
- [19] Jacob, M., Francis, B., Thomas, S., and Varughese, K. T. “Dynamical mechanical analysis of sisal fiber/oil palm hybrid fiber-reinforced natural rubber composites” *Polymer Composites*. 27: 671–680 (2006)
- [20] Lopattananon, N., Panawarangkul, K., Sahakaro, K., and Ellis, B. “Performance of pineapple leaf fiber–natural rubber composites: The effect of fiber surface treatments” *Journal Apply Polymer Science*. 102: 1974-1984 (2006)



ภาคผนวก ก
เอกสารหลักฐานอ้างอิงของผลผลิตบทที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย
THAI SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERING

March 14, 2014

Dear Siriwan PANNARAY, Benchawan BOONPAI, Kritsakorn THONGSIRI, Kittipat DAUNGSUWAN and Patcharaporn PANDEE

We are pleased to inform you that your paper submission on the topic of **“MECHANICAL BEHAVIOR of FIBERS REINFORCING in NATURAL RUBBER STR 5L”** has been accepted for presentation in the 15th of TSAE Annual Conference and the 7th TSAE International Conference: TSAE 2014 which is to be held at Ayuthaya, Thailand from 2 to 4 of April, 2014. In this regard, we will send to you the comments from the reviewers for revising the full manuscript.

Please complete revising your full manuscript not later than March 24, 2014 and send back to TSAE at e-mail: tsae@rmutt.ac.th for arrangement the book of abstracts and CD to upload at TSAE website.

For more information please visit <http://www.tsae2014.rmutt.ac.th>.

We look forward to seeing you at Ayuthaya.

Sincerely yours,

Dares Kittiyopas
Chair of Organizing Committee of TSAE 2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MECHANICAL BEHAVIOR of FIBERS REINFORCING in NATURAL RUBBER STR 5L

*Siriwan PANNARAY¹, Benchawan BOONPAI², Kritsakorn THONGSIRI², Kittipat DAUNGSUWAN² and Patcharaporn PANDEE³

¹Department of Mechanical Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Prince of Chumphon Campus, Chumphon 86160, Thailand

²Department of Agricultural Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Prince of Chumphon Campus, Chumphon 86160, Thailand

³Department of Biotechnology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Prince of Chumphon Campus, Chumphon 86160, Thailand

Corresponding author: Siriwan PANNARAY. E-mail: pang_som@hotmail.com

Keywords: Natural Rubber (STR5L); Reinforcement; E-glass; Strength

ABSTRACT

The mechanical properties of Natural Rubber STR5L reinforced with chopped fibers were studied. Types of natural fibers (biofibers) were used palm oil fiber and coconut shell fiber and treated with 3%NaOH solution for improving skin fiber. In addition, adding E-glass to combine with natural fibers was investigated. In preparation, fibers were chopped to 5 (L₁) and 10 (L₂) mm, at fiber loading 5phr. The fibers and STR 5L were mixed using a mixer, and compounded using two-roll milling, then compressed to obtain the plates of thickness 2mm. The hardness of coconut shell fiber with addition of E-glass gave maximum hardness shore A of 66.1 ± 0.16 in both lengths. The tensile strength of coconut shell fiber with non-adding E-glass at L₂ gave maximum strength at 14.7 ± 0.76 MPa when comparing with coconut shell fiber added with E-glass showed decreasing of strength at 2.1 ± 0.1 MPa. Decreasing strength in case of adding E-glass resulted from longer fibers undergoing fibers entanglement and dispersion irregular fibers.

INTRODUCTION

In recent years, there is a growing trend to use biofibers as fillers and/or reinforcers in plastics composites. Their flexibility during processing, highly specific stiffness, and low cost make them attractive to manufacturers. This century has witnessed ever-increasing demands for the utilization of plastics as important raw materials, more than 80% of which are thermoplastics. Biofibers reinforced plastic composites are gaining more and more acceptance in structural applications [1-4].

Natural Rubber (NR) was the first commercially viable elastomer ever rapidly developed and is still the only non-synthetic rubber in worldwide use. Natural rubber currently to derive an ideal combination of properties. Waraporn [14] reported grade of natural rubber in Thailand such as Ribbed Smoked Sheet (RSS), STR 5L, STR 5, STR 10, STR 20, STR XL, STR 5CV, STR 10CV, STR 20CV and have well mechanical, good toughness, high elastic and high abrasion resistance. Natural Rubber increasingly used for various applications such as aerospace, marine, automotive, infrastructure, military, leisure boats, aircraft industry and sports equipment [13].

Many researchers have studied the effect of different fibers in natural and synthetic rubbers [5-7]. A detailed investigation on the characterization and properties of

natural fiber was done such as sisal fiber, bamboo, silk, jute and pineapple. Natural fibers consist of three types: seed hair, bast fibers, and leaf fibers, depending upon the source. Some examples are cotton (seed hairs), ramie, jute, and a flax (bast fibers), and sisal and abaca (leaf fibers). Of these fibers, jute, ramie, flax, and sisal are the most commonly used fibers for polymer composites. Natural fibers have advantages over synthetic fibers because of their renewable nature, low cost, easy availability, biodegradability, and ease of chemical modification. The main disadvantages that are usually encountered when natural fibers are used as reinforcement are that the combination of a hydrophilic fiber into a hydrophobic polymer leads to a heterogeneous system. Several studies have shown that natural fibers composite combined good mechanical properties with low specific mass, to offer an alternative material to glass fiber-reinforced composites [8].

Consequently, rubber toughening is often used to overcome the brittleness of glassy polymers such as polystyrene (PS). Polystyrene has been toughened by blending with rubbers such as styrene-butadiene (SBR), natural rubber (NR), polybutadiene(BR), ethylene-propylene-diene terpolymer (EPDM) and nitrile rubber (NBR).

Polymer matrix composites (PMCs) are composed of a variety of short or discontinuous fibers bound together by an organic polymer matrix. Bonding characteristic of cross-linking of the NR is typically performed by a vulcanization procedure; giving enhanced mechanical properties and increased durability, however, the vulcanization process also adds additional complexity [9].

It is of interest in the present study to determine the mechanical behavior of polymer matrix composites are composed of STR 5L matrix and fibers. The present work covers research on natural rubber composites containing short E-glass fibers as the addition reinforcement.

MATERIALS AND METHODS

Fiber Preparation

In Chumphon, Thailand, there are many agricultural residuals from industry. Palm oil fiber and coconut shell fiber using in this study was obtained. Palm oil fiber and coconut shell fiber was treated by soaking with 3%NaOH solution for 6 hours. Washing with distill water was done 4 times followed by drying in an air oven at 60°C for 6

hours. Then fiber, was chopped precisely to different lengths of 5 (L_1) and 10 (L_2) mm. Preparation of E- glass was only chopped to only length of 5 mm.

Composite Preparation

The composites were prepared by the combination of discontinuous fibers of different lengths of 5 (L_1) and 10 (L_2) mm at constant fiber loading of 5 phr [11] into STR 5L matrix as the formulation given in Table 1. STR 5L matrix were prepared to mastication by two-roll mixing mill, mixing with the compound and fibers. The samples were milled for a time sufficient to disperse the fibers into the matrix and to hold for 24 hours. The samples were vulcanized in Moving Die Rheometer (MDV) at 150 °C as per ASTM D1646-94 to their optimum cure time. Forming process used compression molding at compressed 1500 lbf/in² by Wabash machine.

Mechanical testing and characterization of the composites

The hardness was measured with a Shore A type durometer according to ASTM D 2240 and tensile strength following to ASTM D 412 as shown in Fig.1. Fracture strength was investigated to relate between mechanical properties to microstructure of composites. The fracture area were characterized by JSM-5800LV JEOL scanning electron microscopy (SEM).

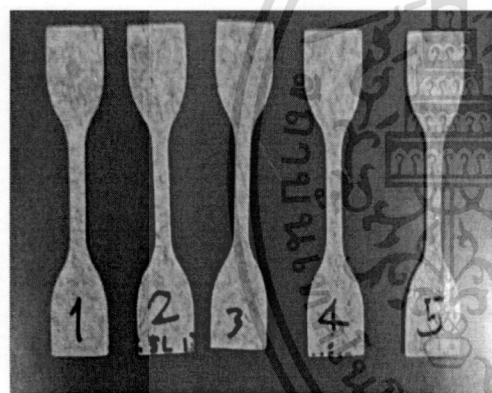


Fig. 1 Tensile testing samples

Table 1 Mixes with Various Fiber Lengths

Ingredient ^b	Gum ^a	L_1	L_2
STR ^c 5L	100	100	100
Stearic acid	1	1	1
Zinc Oxide	5	5	5
MBTS ^d	0.5	0.5	0.5
TMTD ^e	1.5	1.5	1.5
Sulphur	5	5	5
E-glass	0	5	5
Fiber length (mm)	0	5	10

^a Rubber non reinforcement

^b Ingredient, part per hundred rubber (phr)

^c STR, Standard Thai Rubber

^d MBTS, benzothiazolodisulphide

^e TMTD, tetramethylthiuram disulphide

RESULTS AND DISCUSSION

Cure characteristics

Table 2 shows the variation in the cure characteristics of composites with 5 (L_1) and 10 (L_2) mm at fiber loading 5 phr. The maximum torque is a measure of crosslink density in composites. Sequence of all of the mixes, the

torque initially decreased, then increased, and lastly leveled off. Initially, torque was decreased to a minimum value due to the softening of the STR 5L matrix, whereas the increase in torque due to crosslinking of STR 5L matrix. Lastly, the leveled off indicated completion curing. Adding E-glass was occurred increasing torque value, scorch time and cure time comparing with non-adding. It was noticed to good forming. The torque values increased with increasing fiber length as noticed in L_2 . Consideration of scorch time and cure time that noticed the initial viscosity time of STR 5L matrix. Mathew [10] reported that the torque reached a maximum at a fiber length of 10mm. It was increased due to the presence of longer fibers, which provided more than a restriction to deformation. For all composites, the torque value increases with an increase in filler loading. The increase in torque values with increasing filler content indicates that as more and more filler gets reinforced into the matrix, the mobility of macromolecular chains of natural rubber becomes reduced resulting in more rigid vulcanisates [12]. Corresponding by Stanier [9] reported vulcanization of natural rubber due to the cross-linked nature of the natural rubber prevented polymer chain movement, returns the platelets to their original orientation upon retraction of the load.

Table 2 Various Cure Characteristics

Mix Condition	^a M_H	^b M_L	^c t_s	^d t_{90}
L_1				
Palm oil fiber	66	1	0.8	1.8
Palm oil fiber add E-glass	72	2	1.3	2.3
Coconut shell fiber	67	1	0.8	1.9
Coconut shell fiber add E-glass	73	3	1.4	2.5
L_2				
Palm oil fiber	67	2	0.8	1.8
Palm oil fiber add E-glass	73	3	1.6	2.6
Coconut shell fiber	68	2	0.9	1.9
Coconut shell fiber add E-glass	78	3	1.4	2.6

^a M_H , maximum torque (dN.m)

^b M_L , minimum torque (dN.m)

^c t_s , scorch time(min)

^d t_{90} , cure time (min)

Mechanical properties

Effect of fiber length to hardness

The hardness value increased in longer fibers with the addition of E-glass as shown in Fig.2. Case of coconut shell fibers was obviously found increasing hardness. The hardness depends on the surface topology of the fibers because each fiber forms an individual interface with the matrix [13]. Increasing hardness of palm oil fibers and coconut shell fibers occurred in L_1 and L_2 while coconut shell fiber has higher hardness values than palm oil fiber. Fiber length at L_2 of coconut shell fibers was highest due to occurring of better bonding and skinning character with the STR5L matrix. Noorunisa et.al [15] revealed treatments fiber have been proven effective in cleaning fiber's surface by removing impurities from fibers, decreasing moisture sorption, enabling mechanical bonding and thereby, improves matrix reinforcement interaction. The variance of various conditions indicated to differently significance. Because of differently hardness, value can be explained a case of surface morphology that

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

can be clearly indicated of treated fibers that reduced due to non-adding E-glass.

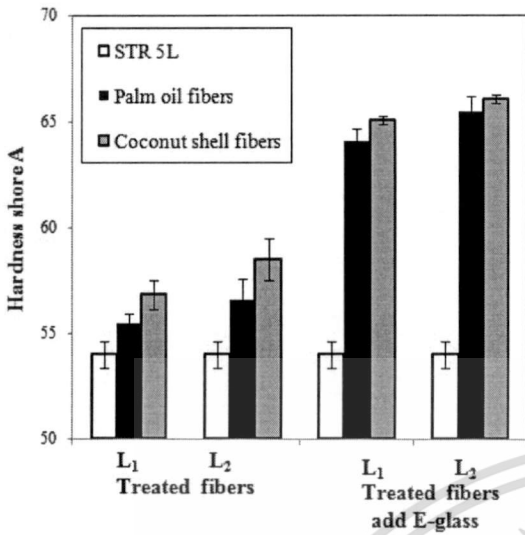


Fig. 2 Hardness of samples.

Effect of fiber length to strength

Decreasing of strength occurred when adding E-glass in both fiber lengths because E-glass has brittle fibers and high strength more than STR 5L matrix as shown in Fig.3. Treated of both fiber was above to 15 MPa that showed below STR 5L matrix owing to disarrangement the orientation of fiber. Fidelis et.al [11] revealed decrease in tensile strength is due to high fiber length leading to fiber agglomeration resulting in difficult stress transmission from matrix to fiber and disturbance of the continuity of the matrix phase. This result corresponded to add E-glass owing to different types of fiber. Effect of addition of E-glass resulted to lose strength. It rapidly separated and provided low cohesiveness during testing that significantly reduced the tensile properties of the composites.

Dispersion of fiber in STR 5L matrix was found randomly and caused a fracture to rapidly lose strength whereas, percentage elongation at break was observed to be decreasing similar to the strength as shown in Fig.4. The both of fiber length was obstructed during mixing and occurring disarrangement the orientation of fiber.

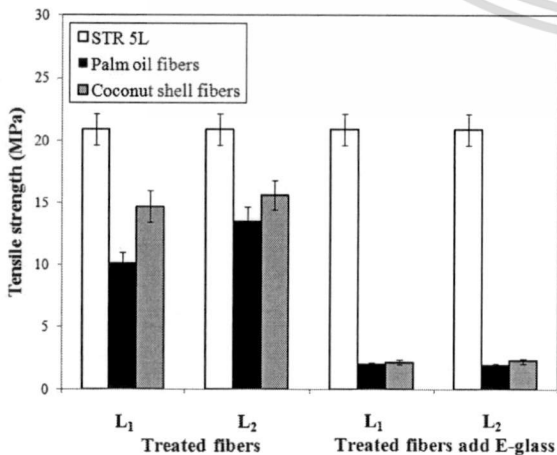


Fig.3 Tensile strength of samples.

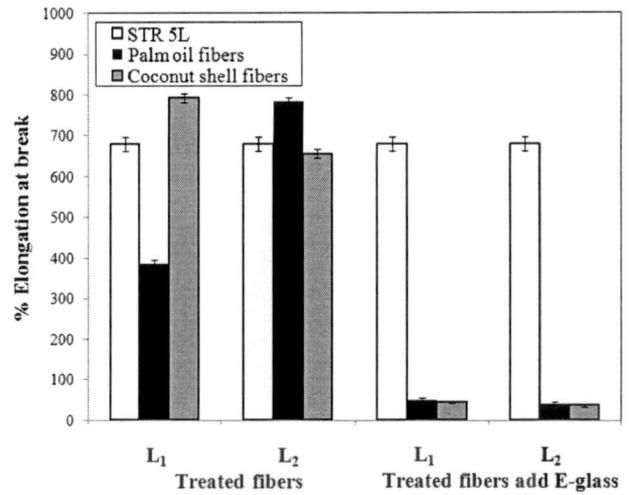


Fig.4 % Elongation at break of samples.

Effect of fiber length on microstructure

Fig.5 (a) shows the tensile fracture surface of palm oil fiber at L₁. It was observed to a rough surface as showed in position A that the palm oil fiber was inserted into STR 5L matrix. Position B appeared large area and rough surface. Palm oil fiber was obviously separated from STR 5L matrix as can be indicated voids. The cause of voids would reduce the toughness and elongation as can be showed by arrow. Characterization of coconut shell fiber at L₁ was dispersed in Fig.5 (b). It was noticed to a rough skin fiber as showed in position C. It caused of elongation value would result from higher than palm oil fiber.

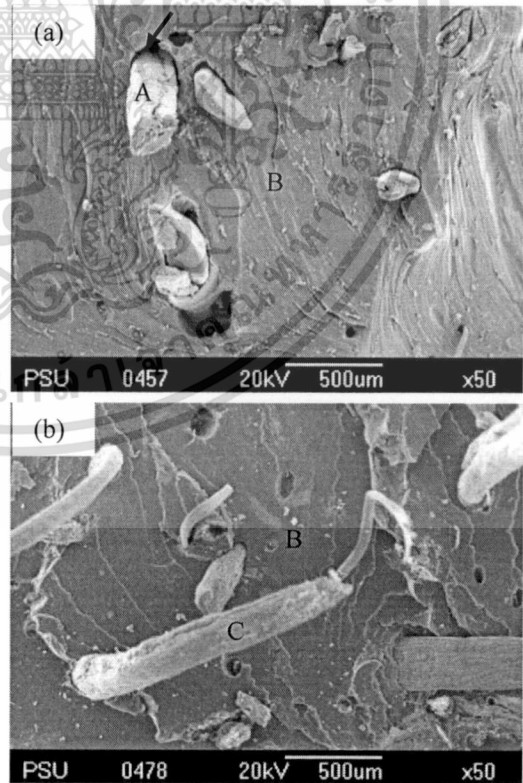


Fig.5 (a) SEM micrographs of tensile fracture surface of palm oil fiber (b) SEM micrographs of tensile fracture surface of coconut shell fiber.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONCLUSIONS

It can be concluded from the present study that:

- Fiber length at L_2 was given higher hardness than L_1 in the both fiber.
- Adding E-glass was found to result in increasing hardness value, whereas decreasing strength.
- Percentage elongation at break was rapidly decreased when adding E-glass due to low adhesion and dispersion in STR 5L matrix.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to thank their appreciation to the King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Prince of Chumphon Campus, Thailand for supporting by funding.

REFERENCES

1. Jayalatha, G. and Kutty, S.K.N. Effect of short nylon-6 fibres on natural rubber-toughened polystyrene. *Materials and Design*. 43: 291–298(2013)
2. Faruk, O., Bledzki, A.K., Fink, H.P. and Sain, M. Biocomposites reinforced with natural fibers. *Progress in Polymer Science*. 37: 1552–1596 (2012)
3. Shubhra, Q.T.H. and Alam, A.K.M.M. Effect of gamma radiation on the mechanical properties of natural silk fiber and synthetic E-glass fiber reinforced polypropylene composites: A comparative study. *Radiation Physics and Chemistry*. 80: 1228–1232(2011)
4. Bakare, I.O., Okieimen, F.E., Pavithran, C., Khalil A.H.P.S. and Brahmakumar, M. Mechanical and thermal properties of sisal fiber-reinforced rubber seed oil-based polyurethane composites. *Materials and Design*. 31: 4274–4280(2010)
5. Brahmakumar, M., Pavithran, C. and Pillai, R.M. Coconut fiber-reinforced polyethylene composites: effect of natural waxy surface layer of the fiber on fiber/matrix interfacial bonding and strength of composites. *Composites Science and Technology*. 65:563–569(2005)
6. Gu, H. Tensile behaviours of the coir fibre and related composites after NaOH treatment. *Materials and Design*. 30: 3931–3934 (2009)
7. Dweib, M.A., Hu, B., Shenton, H.W. and Wool, R.P. Bio-based composite roof structure: manufacturing and processing issues. *Composite Structure*. 74:379–388(2006)
8. Megiatto, Jr.J.D., Oliveira, F.B., Rosa, D.S., Gardrat,C., Castellan, A. and Frollini, E. Renewable resources as reinforcement of polymeric matrices: composites based on phenolic thermosets and chemically modified sisal fibers. *Macromolecular Bioscience*. 7:1121–1131(2007)
9. Stanier, D.C., Patil, A.J., Sriwong, C., Rahatekar, S. and Ciambella, J. The reinforcement effect of exfoliated graphene oxide nanoplatelets on the mechanical and viscoelastic properties of natural rubber. *Composites Science and Technology*. 95: 59–66 (2014)
10. Lovely, M. and Rani, J. Mechanical properties of short-isora-fiber-reinforced natural rubber composites: Effect of fiber length, orientation, and loadings; Alkali treatment; and bonding agent. *Journal of Applied Polymer Science*.103: 1640-1650 (2007)
11. Fidelis, C., Piwai, S., Benias, C.N., Upenyu, G., Mambo, M. Maize Stalk as reinforcement in natural rubber composites. *International Journal of Scientific & Technology Research*.2:263-271 (2013)
12. Egwaikhide P.A., Akporhonor E.E. and Okieimen E.E. Effect of Coconut Fibre Filler on the Cure Characteristics, Physic-mechanical and Swelling Properties of Natural Rubber Vulcanisates, *International Journal of Physical Sciences*. 2: 39-46 (2007)
13. Venkatesha Prasanna, G. and K. Subbaiah V. Hardness, tensile properties and morphology of blend hybrid biocomposites, *Scholarly Journal of Engineering Research* .2: 21-29 (2013)
14. Natural Rubber. Available at: [http://rubber.oie.go.th/box/Article/1300/RIU-NR 1300 1.pdf](http://rubber.oie.go.th/box/Article/1300/RIU-NR%201300%201.pdf). Accessed on 22 March 2014.
15. Noorunisa, K.P., Mohan, R.M., Raghu, K. and Venkat, N.S. Tensile, Flexural and Compressive properties of Sisal/Silk hybrid composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*.26:1065-1069(2007)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข
ผลการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข.1 แสดงผลการทดสอบเชิงกล

Sample Name	Properties	Standard Method	Result	Unit
1. Plam + E-glass Fiber Length 5 mm. Weight 5	1. Tensile Strength	ASTM D412	2±0.2	MPa
	2. Elongation at break	ASTM D412	50±5	%
	3. Hardness Shore A	ASTMD2240	64.1±0.6	-
2. Plam + E-glass Fiber Length 5 mm. Weight10	1. Tensile Strength	ASTM D412	2±0.1	MPa
	2. Elongation at break	ASTM D412	39±6	%
	3. Hardness Shore A	ASTMD2240	65.5±0.7	-
3. Plam + E-glass Fiber Length 10 mm. Weight 5	1. Tensile Strength	ASTM D412	2.3±0.2	MPa
	2. Elongation at break	ASTM D412	29±3	%
	3. Hardness Shore A	ASTMD2240	67.6±1	-
4. Plam + E-glass Fiber Length 10 mm. Weight 10	1. Tensile Strength	ASTM D412	2.2±0.1	MPa
	2. Elongation at break	ASTM D412	40±3	%
	3. Hardness Shore A	ASTMD2240	72.3±0.3	-
5. Betel Nut+E-glass Fiber Length 5 mm. Weight 5	1. Tensile Strength	ASTM D412	2.2±0.2	MPa
	2. Elongation at break	ASTM D412	33±5	%
	3. Hardness Shore A	ASTMD2240	64.5±0.2	-
6. Betel Nut + E-glass Fiber Length 5 mm. Weight 10	1. Tensile Strength	ASTM D412	2±0.1	MPa
	2. Elongation at break	ASTM D412	31±4	%
	3. Hardness Shore A	ASTMD2240	68.84±1	-
7. Betel Nut + E-glass Fiber Length 10 mm. Weight 5	1. Tensile Strength	ASTM D412	2.4±0.1	MPa
	2. Elongation at break	ASTM D412	29±5	%
	3. Hardness Shore A	ASTMD2240	72.4±0.3	-
8 Betel Nut + E-glass Fiber Length 10 mm. Weight 10	1. Tensile Strength	ASTM D412	2.4±0.1	MPa
	2. Elongation at break	ASTM D412	30±6	%
	3. Hardness Shore A	ASTMD2240	71.3±0.5	-
9. Coconut + E-glass Fiber Length 5 mm. Weight 5	1. Tensile Strength	ASTM D412	2.2±0.2	MPa
	2. Elongation at break	ASTM D412	45±3	%
	3. Hardness Shore A	ASTMD2240	66.2±0.2	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sample Name	Properties	Standard Method	Result	Unit
10. Coconut + E-glass Fiber Length 5 mm. Weight 10	1. Tensile Strength	ASTM D412	2±0.2	MPa
	2. Elongation at break	ASTM D412	37±4	%
	3. Hardness Shore A	ASTMD2240	66.1±0.2	-
11. Coconut + E-glass Fiber Length 10 mm. Weight 5	1. Tensile Strength	ASTM D412	2.4±0.2	MPa
	2. Elongation at break	ASTM D412	37±7	%
	3. Hardness Shore A	ASTMD2240	71.2±0.7	-
12. Coconut + E-glass Fiber Length 10 mm. Weight 10	1. Tensile Strength	ASTM D412	2.2±0.2	MPa
	2. Elongation at break	ASTM D412	30±7	%
	3. Hardness Shore A	ASTMD2240	71.9±0.1	-



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค
สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินโครงการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แบบรายงานการใช้จ่ายเงินโครงการวิจัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

แหล่งงบประมาณแผ่นดิน (แบบปกติ) แหล่งเงินรายได้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การศึกษาการเตรียมวัสดุผสมยางธรรมชาติเสริมแรงด้วยเส้นใยชีวภาพต่อโครงสร้างจุลภาคและสมบัติเชิงกล

(ภาษาอังกฤษ) Preparation of Natural Rubber Reinforced with Biocomposites Fibers on Microstructure and Mechanical Properties

ชื่อ-สกุลหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน/ผู้วิจัย (อ./ดร./ผศ./รศ./ศ.) อ.ศิริวรรณ พรรณราย

รายงานในช่วงตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2555 ถึงวันที่ 30 กันยายน 2556

ระยะเวลาดำเนินการ 1 ปี 6 เดือน ตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2555 ถึงวันที่ 31 มีนาคม 2557

ข้อมูลการรายงานค่าใช้จ่ายงบประมาณโครงการวิจัย

1. การเบิกจ่ายงบประมาณ (กรณีการจ่ายเงินถ้าจ่ายงวดเดียวให้ลบข้อที่ไม่เกี่ยวข้องออก)

งวดที่ 1 200,000 บาท 100 % วันที่ได้รับอนุมัติให้เบิกจ่ายเงิน (ป/ด/ว) 11 ธันวาคม 2555

2. สรุปงบประมาณค่าใช้จ่ายที่ใช้นับตั้งแต่เริ่มทำการวิจัยถึงปัจจุบัน (จำแนกตามหมวดค่าใช้จ่าย)

หมวดค่าใช้จ่าย	งบประมาณรวมทั้งโครงการ	ค่าใช้จ่าย (บาท)	คงเหลือ (หรือเกิน)
งบบุคลากร : ค่าจ้างชั่วคราว	-	-	-
งบดำเนินงาน			
ค่าตอบแทน	-	-	-
ค่าใช้สอย	60,000	131,400	-
ค่าวัสดุ	140,000	68,600	-
ค่าสาธารณูปโภค	-	-	-
งบลงทุน: ค่าครุภัณฑ์	-	-	-
รวม	200,000	200,000	-

ศิริวรรณ พรรณราย

(นางสาวศิริวรรณ พรรณราย)

ลงนามหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน

25 / ๑๑ / 57

(นางสาวจีระนัย แก้วบังตู)

ลงนามเจ้าหน้าที่การเงิน/เจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้อง

25 / 4 / 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
หมายเหตุ : นักวิจัยหรือเจ้าหน้าที่การเงินสามารถปรับหรือเปลี่ยนแปลงเพิ่มเติมข้อความได้ตามความเหมาะสมและสอดคล้องกับ
การดำเนินงาน อาทิเช่น นักวิจัยอยู่ระหว่างการดำเนินการเคลียร์ด้านเอกสารทางการเงิน หรือข้อความอื่นๆ

ประวัตินักวิจัย

1. หัวหน้าโครงการวิจัย

1.1 ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) : นางสาว ศิริวรรณ พรรณราย

ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ): Miss Siriwan Pannaray

1.2 เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน : 1939900111567

1.3 หน่วยงานและสถานที่ติดต่อได้สะดวก

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์

โทรศัพท์: 090-1637347

E-mail: knsiriwa@kmitl.ac.th, pang_som@hotmail.com

1.4 ประวัติการศึกษา

ปีจบการศึกษา	ระดับปริญญา	อักษรย่อปริญญา	ภาควิชา/คณะ	ชื่อสถาบันการศึกษา
2555	โท	วศ.ม.	วิศวกรรมวัสดุ	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
2552	ตรี	วศ.บ.	วิศวกรรมวัสดุ	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

1.5 ประสบการณ์งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

- Microstructure evolution during solution heat treatment of semisolid cast 2024 aluminum alloy. Advanced Materials Research 339 pp 714-717 (2011)
- A briquetting machine without binder for palm oil cluster. Agricultural Science Journal 44 pp 530-533 (2013)

2. ผู้ร่วมโครงการวิจัย

2.1 ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย): นางสาวพัชราภรณ์ ปานดี

ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ): Miss Patcharaporn Pandee

2.2 เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน : 3840100175870

2.3 หน่วยงานและสถานที่ติดต่อ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร อ.ปะทิว จ.ชุมพร 86160
หมายเลขโทรศัพท์ 077-506431 โทรสาร 0-77506433

E-mail: kpapatch@hotmail.com

2.4 ประวัติการศึกษา

ปีจบการศึกษา	ระดับปริญญา	อักษรย่อปริญญา	ภาควิชา/คณะ	ชื่อสถาบันการศึกษา
2553	เอก	ปร.ด.	เทคโนโลยีชีวภาพ	มหาวิทยาลัยมหิดล
2545	โท	วท.ม.	เทคโนโลยีชีวภาพ	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
2542	ตรี	วท.บ.	เทคโนโลยีชีวภาพ	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ประสบการณ์งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

- Pandee, P., Dissara, Y. and Kittikun, A. 2002. Optimization of growth and fibrinolytic production from *Schizophyllum commune* BL23. The 14 th Annual Meeting of the Thai Society for Biotechnology, 12-15 November 2002, Khon Kaen, Thailand.
- Dissara Y. and Pandee, P. 2002. Production of fibrinolytic enzyme by *Xylaria* sp. BL25 in submerged cultures. The 3 rd JSPS-NRCT Joint Seminar on Development of Thermotolerant, Microbial Resources and their Applications, 17-21 November 2002, Chiang Mai, Thailand.
- Dissara, Y. and Pandee, P. 2000. Fibrinolytic enzymes from filamentous fungi. British Mycological Society Millennium Meeting: Tropical Mycology, 23 April-1 May 2000, Liverpool, United Kingdom.
- Dissara, Y. and Pandee, P. 2000. Fibrinolytic enzymes from mycelium of macrofungi isolated from nature. The 2 nd JSPS-NRCT Joint Seminar on Development of Thermotolerant Microbial Resources and their Applications, 21-25 November 2000, Yamaguchi, Japan.
- Pandee P., H-Kittikul A., Masahiro O. and Dissara Y. 2008. Production and properties of a fibrinolytic enzyme by *Schizophyllum commune* BL23. Songklanakarin J. Sci. Technol. 30 (4), 447-453.
- Pandee P, Rodbumrer J, Sekiguchi S, Wiyakrutta S, Laowanapiban P, Sone T, Isarangkul D, Tanaka M, Asano K, Meevootisom V. Phytase and polysaccharide hydrolases from microbes and metagenomes. Proceeding of Thailand-Japan Joint Symposium on Bioproduction by Efficient Utilization of Thai Bioresources; 2008 Oct 16; Maha Sarakham, Thailand; 2008.
- Pandee. P., Chanlen T., Rangkot N., Isarangkul D., Wiyakrutta S. and Meevootisom V. 2009. Purification and characterization of acid phytase from *Aspergillus nomius* NK2.1. The 35th Congress on Science and Technology of Thailand (STT35). The Tide Resort, Chonburi, Thailand.
- Pandee P., Summpunn P., Wiyakrutta S., Isarangkul D. and Meevootisom V. 2011. A thermostable phytase from *Neosartoya spinosa* BCC 41923 and its expression in *Pichia pastoris*. The Journal of Microbiology. 49(2), 257-264.
- พัชรภรณ์ ปานดี และ เยาวลักษณ์ ดิสรระ 2543. เอนไซม์สลายไฟบรินจากเส้นใยเห็ด. หนังสือเห็ดไทย สมาคมนักวิจัยเห็ดแห่งประเทศไทย หน้า 48-57.