

การเตรียมแผ่นยางลดความเมื่อยล้าจากวัสดุคอมโพสิตยางธรรมชาติ  
ผสมเส้นใยมะพร้าว

PREPARATION OF ANTI - FATIGUE MAT FROM NATURAL  
RUBBER AND COIR FIBER COMPOSITE

ขวัญกมล สุขสม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การเตรียมแผ่นยางลดความเมื่อยล้าจากวัสดุคอมโพสิตยางธรรมชาติ  
ผสมเส้นใยมะพร้าว

ขวัญกมล สุขสม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

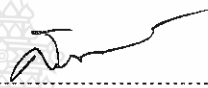
ปีการศึกษา 2561


ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

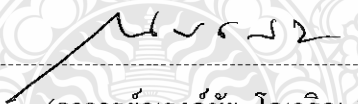
หัวข้อวิทยานิพนธ์      การเตรียมแผ่นยางลดความเมื่อยล้าจากวัสดุคอมโพสิตยางธรรมชาติผสม  
เส้นใยมะพร้าว  
Preparation of Anti-Fatigue Mat from Natural Rubber and Coir Fiber  
Composites

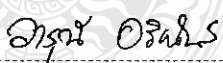
ชื่อ – นามสกุล      นางสาววิญกมล สุขสม  
สาขาวิชา      วิศวกรรมวัสดุ  
อาจารย์ที่ปรึกษา      ผู้ช่วยศาสตราจารย์วารุณี อริยวิริยะนันท์, D.Eng.  
ปีการศึกษา      2561

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สรพงษ์ ภาสุปรีดิ์, Ph.D.)

  
..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ดิราวุธ พงศ์ประยูร, Ph.D.)

  
..... กรรมการ  
(อาจารย์ณรงค์ชัย โอเจริญ, Ph.D.)

  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วารุณี อริยวิริยะนันท์, D.Eng.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้  
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวกร อ่างทอง, Ph.D.)

วันที่ 20 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2562

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเตรียมแผ่นยางลดความเมื่อยล้าจากวัสดุคอมโพสิตยางธรรมชาติผสมเส้นใยมะพร้าว
ชื่อ-นามสกุล	นางสาววัญญกมล สุขสม
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์วารุณี อริยวิริยะนันท์, D. Eng.
ปีการศึกษา	2561

## บทคัดย่อ

ผู้ที่ยืนทำงานเป็นระยะเวลาานส่วนมากบ่นปวดขา ปวดเท้า ปวดหลังและในกรณีที่รุนแรงสามารถทำให้เกิดปัญหาทางการแพทย์ที่มากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งผู้สูงอายุหรือผู้ที่มีไขมันมาก ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงาน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจเตรียมแผ่นยางลดความเมื่อยล้าจากยางธรรมชาติผสมเส้นใยมะพร้าว เพื่อนำไปทดสอบกับพนักงานที่ยืนเป็นเวลานาน วัสดุคอมโพสิตนี้แสดงพฤติกรรมความเป็นอิลาสติกจากเมทริกซ์ยางและความแข็งแรงจากเส้นใย และสามารถขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างซับซ้อนได้

เส้นใยมะพร้าวที่นำมาใช้ เตรียมโดยนำไปล้างทำความสะอาดและแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 4, 8, 10, 12 %wt เป็นเวลา 5 ชม. แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 100°C 24 ชั่วโมง จากนั้นนำเส้นใยที่ได้มาผสมกับยางธรรมชาติด้วยเครื่องบดผสมสองลูกกลิ้ง โดยปริมาณเส้นใยที่ใช้คือ 40, 60, 80, 100 phr ตามลำดับ และนำมาขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดร้อนที่อุณหภูมิ 160 °C วัสดุคอมโพสิตที่ได้จะนำมาเติมด้วยแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ (Mg(OH)<sub>2</sub>) 30, 60, 90 และ 120 phr ตามลำดับ เพื่อช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีสมบัติด้านการหน่วงไฟ และมีการทดสอบการเมื่อยล้าโดยการยืนบนผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องตรวจจับความร้อน

การศึกษาการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใย โดยใช้เทคนิค FT-IR และ SEM พบว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถกำจัดไขมันธรรมชาติ ลิกนิน และเฮมิเซลลูโลสบนผิวของเส้นใยได้ จากรูป SEM แสดงให้เห็นถึงรูพรุนบนผิวของเส้นใย หลังจากการปรับปรุงผิว เส้นใยที่ปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 8%wt แสดงค่าความเหนียวและการดึงยึดที่เหมาะสม คือ 327.20 gf/den และ 50.20 % ตามลำดับ ส่วนค่าความแข็งและโมดูลัสที่ 100% ของคอมโพสิตเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยมากขึ้น ในขณะที่ค่าการทนแรงดึงและค่าระยะยืด ณ จุดขาดมีค่าลดลง เนื่องจากกลไกการลือระหว่างโครงสร้างของยางและเส้นใยธรรมชาติที่มีรูพรุน แผ่นยางกันเมื่อยที่ผสมเส้นใยมะพร้าวปริมาณ 60 phr และเติมสารแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ (Mg(OH)<sub>2</sub>) ในปริมาณ 30 phr สามารถลดอัตราการลาม



ไฟได้ จากการทดสอบด้วยกล้องตรวจจับความร้อนกับกลุ่มตัวอย่าง พบว่าอุณหภูมิของพื้นผิวผนังที่ยื่นบนแผ่นยางคอมพอสิตเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการยื่นบนพื้นกระเบื้อง สามารถสันนิษฐานได้ว่ามีการไหลเวียนของเลือดได้ดี แสดงให้เห็นว่ายางคอมพอสิตนี้มีศักยภาพเป็นผลิตภัณฑ์ทางเลือกเพื่อลดความเมื่อยล้าที่เกิดขึ้นกับกล้ามเนื้อและข้อต่อได้

คำสำคัญ : ยางคอมพอสิต, ยางธรรมชาติ, เส้นใยมะพร้าว, แผ่นยางลดความเมื่อยล้า, การไหลเวียนของเลือด



**Thesis Title** Preparation of Anti-Fatigue Mat from Natural Rubber and Coir Fiber Composites  
**Name-Surname** Miss Khwankamol Suksom  
**Program** Materials Engineering  
**Thesis Advisor** Assistant Professor Warunee Ariyawiriyanan, D. Eng.  
**Academic Year** 2018

## ABSTRACT

People standing for a long time often complain of leg, foot and back pain, in severe cases, of more serious medical problems, especially for older people or people with extreme fat. This may affect the work efficiency. Therefore, this research is aimed to prepare anti-fatigue mat made from natural rubber and coir fiber composites in order to serve employees standing for a long period. These rubber composites exhibit the behavior of elastic rubber matrix, strong fibrous reinforcement and possibility of producing complex-shaped articles.

Coir fiber used in this research were cleaned with water and immersing in 4, 8, 10 and 12%wt of sodium hydroxide for 5 hrs. After dried in oven at 100 °C for 24 hrs. The prepared coir fiber were mixed with NR by the two-roll mill with various amounts of fiber 40, 60, 80 and 100 phr, respectively. The rubber composites were fabricated by compression molding at 160 °C. Magnesium hydroxide (Mg(OH)<sub>2</sub>) was also used as a flame retardants at 30, 60, 90 and 120 phr, respectively in order to improve fire retardant properties of green rubber composite. A fatigue test was performed with sampling standing on the product with a heat detection by thermal camera.

The effects of fiber treatments on the surface by FT-IR and SEM showed NaOH treatments could remove natural fat, lignin, and hemicellulose on the surface of coir fiber. SEM photograph showed porous surface of fiber after treatment. NaOH treated fiber at 8% wt. showed an optimum properties of tenacity and elongation at break of 327.20 gf/den and 50.40%, respectively. Property of composites between natural rubber and coir fiber showing hardness and modulus at 100% increased with greater amount of fiber whereas the tensile strength and elongation at break decreased. This may be due to the mechanism of interlocking between the rubber structure and porous natural fiber. Anti-

fatigue rubber prepared from natural rubber and coir fiber at 60 phr. and 30 phr.  $Mg(OH)_2$  could reduce the burning rate of the composites. Thermography tests by using thermal camera with the group samples standing on the composite mat indicated an increase of thigh temperature comparing with standing on the floor. This can be assumed that blood circulated well. This proved that rubber composite has potential to be used as an alternative anti-fatigue mat product to reduce stress exerted on muscles and joints.

**Keywords :** Rubber composite, Natural rubber, Coir fiber, Anti-fatigue mat, Blood circulation



## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากความกรุณา และความอนุเคราะห์ของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วารุณี อริยวิริยะนันท์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาเสียสละเวลาให้คำปรึกษา คำแนะนำ และให้ข้อเสนอแนะในแก้ปัญหาการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ รวมถึงเอื้อเฟื้อวัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้ทำการวิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและ โลหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ได้สนับสนุนเครื่องจักร เครื่องมือต่างๆที่ใช้ในการทดลอง

ขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีที่ได้เอื้อเฟื้อ สถานที่และเครื่องมือในการทดสอบ รวมทั้งอาจารย์ เจ้าหน้าที่และบุคลากรของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอที่ได้ช่วยอำนวยความสะดวก

ขอขอบพระคุณแผนกวิชาเทคโนโลยียาง วิทยาลัยเทคนิคระยองที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องจักรเครื่องทดสอบ

ขอขอบพระคุณและมอบความดีนี้ทั้งหมดให้แก่ คุณพ่อ คุณแม่ และครู-อาจารย์ที่ให้การสนับสนุนและประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้ และเพื่อนๆทุกคนที่เป็นกำลังใจให้

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้สนใจ หาก วิทยานิพนธ์ในครั้งนี้มีข้อบกพร่อง หรือไม่สมบูรณ์ประการใด ผู้วิจัยกราบขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

ขวัญกมล สุขสม

## สารบัญ

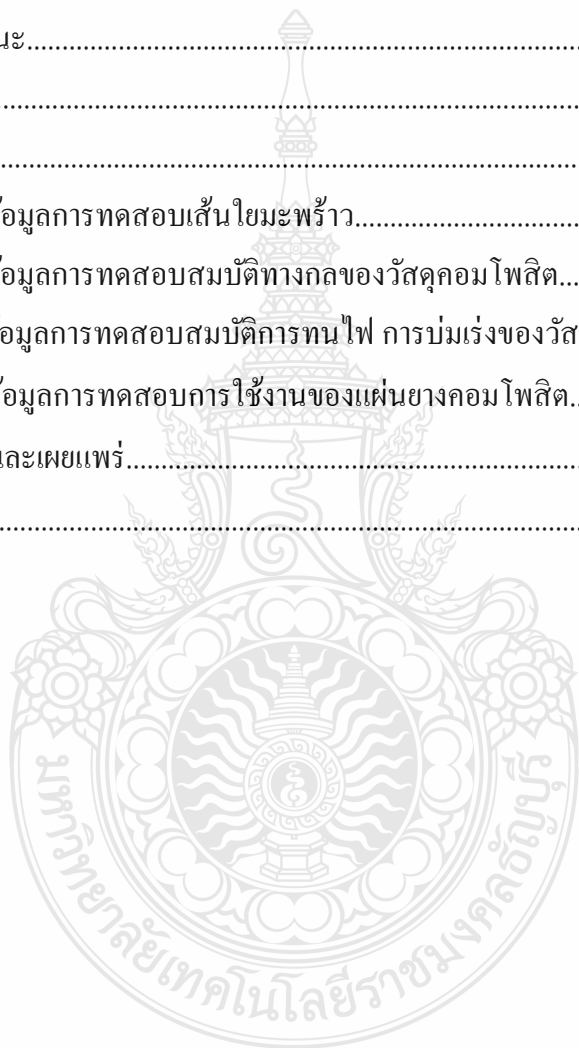
	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(5)
กิตติกรรมประกาศ.....	(7)
สารบัญ.....	(8)
สารบัญตาราง.....	(11)
สารบัญรูป.....	(13)
บทที่ 1 บทนำ.....	16
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	16
1.2 วัตถุประสงค์.....	17
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย.....	17
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	18
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัย.....	19
2.1 ยางธรรมชาติ.....	19
2.2 สมบัติทั่วไปของยางธรรมชาติ .....	22
2.3 เส้นใยธรรมชาติ.....	24
2.4 การตัดแปรพื้นผิวของเส้นใย.....	27
2.5 วัสดุคอมโพสิต.....	28
2.6 สารต้านทานการติดไฟ .....	28
2.7 หลักพื้นฐานของการจุดติดไฟ.....	29
2.8 กลไกการติดไฟ.....	30
2.9 การทดสอบการจุดติดไฟ.....	34
2.10 เครื่องมือขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง .....	39
2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	41

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน.....	46
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี.....	46
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	47
3.3 ขั้นตอนในการทดลอง.....	52
3.4 สูตรยางคอมปาวด์.....	54
3.5 วิธีการขึ้นรูปและทดสอบ.....	58
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	66
4.1 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยมะพร้าว.....	66
4.2 ผลการทดสอบความชื้นและการดูดซึมน้ำของเส้นใยมะพร้าว.....	67
4.3 สันฐานวิทยาของเส้นใยมะพร้าว.....	68
4.4 สมบัติทางกลของเส้นใย.....	70
4.5 ผลการทดสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมี.....	71
4.6 ศึกษาสมบัติเชิงกลของยางคอมโพสิต.....	73
4.7 สันฐานวิทยาของคอมโพสิต.....	77
4.8 ลักษณะทางกายภาพของชิ้นงาน.....	78
4.9 การศึกษาอิทธิพลของปริมาณสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ ต่อสมบัติของยางทนไฟจากการผสมระหว่างยางธรรมชาติกับเส้นใยมะพร้าว.....	80
4.10 สมบัติการทนไฟ อัตราการเผาไหม้ของยางคอมโพสิตที่แปรปริมาณสารทนไฟ แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์.....	82
4.11 ศึกษาสมบัติเชิงกลของยางคอมโพสิตผสมสารทนไฟ แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์.....	84
4.12 สมบัติเชิงกลหลังบ่มเร่ง.....	85
4.13 สมบัติทนความร้อน.....	87
4.14 การทดสอบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิพื้นผิวของแผ่นยางคอมโพสิต.....	90

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการและข้อเสนอแนะ.....	96
5.1 สรุปผลการวิจัยและการอภิปรายผล.....	96
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	97
บรรณานุกรม.....	98
ภาคผนวก.....	102
ภาคผนวก ก ข้อมูลการทดสอบเส้นใยมะพร้าว.....	103
ภาคผนวก ข ข้อมูลการทดสอบสมบัติทางกลของวัสดุคอมโพสิต.....	111
ภาคผนวก ค ข้อมูลการทดสอบสมบัติการทนไฟ การบ่มเร่งของวัสดุคอมโพสิต.....	120
ภาคผนวก ง ข้อมูลการทดสอบการใช้งานของแผ่นยางคอมโพสิต.....	127
ผลงานตีพิมพ์และเผยแพร่.....	130
ประวัติผู้เขียน.....	158



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 การจัดกลุ่มชนิดของยางตามสมบัติความทนทานต่อการสึกหรอ.....	23
ตารางที่ 2.2 การจัดลำดับผลการทดสอบการเผาแบบ UL94V .....	35
ตารางที่ 3.1 สูตรยางคอมปาวด์ที่ใช้ในการศึกษาอิทธิพลของเส้นใยมะพร้าว ต่อสมบัติของแผ่นกันเมื่อย.....	54
ตารางที่ 3.2 สูตรยางคอมปาวด์ที่แปรปริมาณแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์.....	56
ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยมะพร้าว.....	66
ตารางที่ 4.2 ค่าการดูดความชื้นและการดูดซึมน้ำของเส้นใยมะพร้าวก่อนและหลัง ปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	67
ตารางที่ 4.3 ค่าสมบัติเชิงกลของเส้นใยมะพร้าวที่ปรับปรุงด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์.....	70
ตารางที่ 4.4 สมบัติการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติ ยางธรรมชาติที่เสริมแรงด้วยเส้นใยที่ ไม่ได้ปรับปรุงและยางธรรมชาติที่เสริมแรงด้วยเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงที่ ปริมาณเส้นใยต่างๆ.....	73
ตารางที่ 4.5 ลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานของยางธรรมชาติผสมเส้นใยมะพร้าว.....	78
ตารางที่ 4.6 สมบัติการวัลคาไนซ์ของยางคอมโพสิตระหว่างยางธรรมชาติกับเส้นใย มะพร้าว.....	81
ตารางที่ 4.7 อัตราการเผาไหม้ของยางคอมโพสิตที่แปรปริมาณสารทนไฟแมกนีเซียม ไฮดรอกไซด์ที่ปริมาณต่างๆ.....	82
ตารางที่ 4.8 สมบัติเชิงกลของยางคอมปาวด์ที่แปรปริมาณสารทนไฟแมกนีเซียม ไฮดรอกไซด์.....	84
ตารางที่ 4.9 สมบัติความต้านทานต่อแรงดึง โมดูลัส และความสามารถในการยืดจนขาด ของยางคอมปาวด์ที่แปรปริมาณสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ หลังการบ่มเร่ง (Ageing Property).....	85
ตารางที่ 4.10 อุณหภูมิการสลายตัว ( $T_d$ ) อัตราการสลายตัว (Rate of Decomposition) และ น้ำหนักที่เหลืออยู่ (Residual Weight) ของยางคอมปาวด์ที่แปรปริมาณ สารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์.....	89



## สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.11 การศึกษาความพึงพอใจพฤติกรรมในการใช้แผ่นยางคอมโพสิตจาก ยางธรรมชาติผสมเส้นใยมะพร้าว.....	94



## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างของโมเลกุลยางธรรมชาติ .....	19
รูปที่ 2.2 ลักษณะของยางแผ่น .....	21
รูปที่ 2.3 ลักษณะยางแท่ง.....	21
รูปที่ 2.4 โครงสร้างทางเคมีของโมเลกุลเซลลูโลส.....	24
รูปที่ 2.5 เส้นใยเซลลูโลสในธรรมชาติที่ได้จากส่วนต่างๆของพืช.....	25
รูปที่ 2.6 เส้นใยมะพร้าว.....	26
รูปที่ 2.7 พฤติกรรมการสลายตัวของพอลิเมอร์และการเผาไหม้.....	29
รูปที่ 2.8 กลไกการลามไฟของสารป้องกันการลามไฟชนิดขยายตัว .....	33
รูปที่ 2.9 การทดสอบการเผาแบบ UL94V .....	34
รูปที่ 2.10 อุปกรณ์การทดสอบ LOI.....	36
รูปที่ 2.11 ทดสอบโดยการเผาด้วยวิธีการแผ่รังสีความร้อน Cone Calorimeter.....	37
รูปที่ 2.12 การทดสอบการเผาแบบ Horizontal Burning Rate .....	37
รูปที่ 3.1 เครื่องผสมยางสองลูกกลิ้ง.....	47
รูปที่ 3.2 เครื่อง Oscillating Disk Rheometer, ODR.....	48
รูปที่ 3.3 เครื่องอัดเบ้าไฮโดรลิก.....	48
รูปที่ 3.4 เครื่องวัดความแข็งแบบ Shore Durometer.....	49
รูปที่ 3.5 เครื่องการทดสอบความทนทานต่อแรงดึง.....	49
รูปที่ 3.6 เครื่องทดสอบสมบัติทางกายภาพ (Scanning Electron Microscopy, SEM) .....	50
รูปที่ 3.7 เครื่องทดสอบตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันเคมี Fourier Transform Infrared Spectroscopy, (FTIR).....	50
รูปที่ 3.8 เครื่องวิเคราะห์ความชื้น.....	51
รูปที่ 3.9 เครื่องทดสอบการลามไฟ.....	51
รูปที่ 3.10 กล้องจับความร้อน.....	52
รูปที่ 3.11 ขั้นตอนการเตรียมเส้นใยมะพร้าว.....	53
รูปที่ 3.12 การเตรียมยางคอมปาวด์ผสมเส้นใยมะพร้าว.....	55

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.13 การเตรียมยางคอมปาวด์ผสมเส้นใยมะพร้าวและสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์.....	57
รูปที่ 3.14 ชิ้นทดสอบรูปดัมเบล (die) ชนิด C.....	61
รูปที่ 3.15 ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบอัตราการเผาไหม้.....	64
รูปที่ 4.1 ลักษณะพื้นผิวของเส้นใยมะพร้าวที่กำลังขยาย 2000 เท่า.....	69
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้น-ความเครียดของเส้นใยที่ปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0, 4, 8, 10 และ 12 wt%.....	70
รูปที่ 4.3 สเตปครัมของเส้นใยมะพร้าวที่ยังไม่ผ่านการปรับปรุงผิวและเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงผิวที่ 4, 8, 10, 12 wt%.....	72
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างการทนแรงดึงต่อปริมาณเส้นใยก่อนและหลังปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์.....	74
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ค่าระหว่างระยะยืด ณ จุดขาดต่อปริมาณเส้นใยก่อนและหลังปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์.....	75
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดูลัสที่ 100 เปอร์เซ็นต์ต่อปริมาณเส้นใยก่อนและหลังปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์.....	76
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งต่อปริมาณเส้นใยก่อนและหลังปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์.....	77
รูปที่ 4.8 คอมโพลิตเสริมแรงด้วยเส้นใยมะพร้าวที่ปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์.....	78
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าทอร์ก (Torque) และเวลา (Time) ของยางธรรมชาติผสมเส้นใยมะพร้าวที่แปรปริมาณสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์.....	80
รูปที่ 4.10 เวลาการเกิดหยดของเปลวไฟ (Dripping Time) ของยางคอมปาวด์ที่แปรปริมาณสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งทดสอบตามมาตรฐาน UL94 V.....	83

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.11 ภาพถ่าย SEM ของอนุภาคสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์.....	84
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดูลัสที่ 100 เปอร์เซ็นต์ของยางที่แปรปริมาณ สารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ก่อนและหลังการบ่มเร่ง.....	86
รูปที่ 4.13 สมบัติความต้านทานต่อแรงดึงของยางที่แปรปริมาณสารทนไฟแมกนีเซียม ไฮดรอกไซด์ก่อนและหลังบ่มเร่ง.....	86
รูปที่ 4.14 สมบัติความสามารถในการยึดจูนขนาดของยางที่แปรปริมาณสารทนไฟ แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ก่อนและหลังการบ่มเร่ง.....	87
รูปที่ 4.15 เทอร์โมแกรม TGA แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของน้ำหนักกับอุณหภูมิ ของยางคอมปาวด์ที่แปรปริมาณสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์.....	88
รูปที่ 4.16 เทอร์โมแกรม DTG แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก กับอุณหภูมิของยางคอมปาวด์ที่แปรปริมาณสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์	88



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

ผู้ที่ยืนทำงานเป็นเวลานานส่วนมากจะบ่นปวดขา ปวดเท้า ปวดหลังและในกรณีที่รุนแรงสามารถทำให้เกิดปัญหาทางการแพทย์ที่รุนแรงขึ้นได้ อาการปวดเมื่อยถือได้ว่าเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นได้กับคนทุกเพศทุกวัยโดยเฉพาะในกลุ่มคนที่ต้องยืนประกอบอาชีพ ตัวอย่างเช่น การยืนเฝ้ายาม การยืนขายของ การยืนทำงานในโรงงานหรืออาคาร รวมไปถึงผู้ที่มีน้ำหนักตัวมาก ซึ่งอาจจะเกิดอาการปวดเมื่อยล้าที่เท้า เนื่องจากการอยู่ในท่ายืนนานๆ น้ำหนักตัวทั้งหมดจะกดทับที่เท้าแบบเต็มๆ ตลอดเวลาทำให้เลือดไหลเวียนไม่ดีจึงทำให้มีของเสียดังค้ำ ประกอบกับกล้ามเนื้ออุ้งเท้าเป็นกล้ามเนื้อมัดเล็ก จึงทำให้ล้าได้ง่ายกว่ากล้ามเนื้อมัดอื่น [1] การยืนเป็นเวลานาน โดยไม่ได้เปลี่ยนอิริยาบถไม่ว่าจะด้วยเหตุใด จะทำให้มีเลือดไหลเวียนไปเลี้ยงกล้ามเนื้อน้อยลง ส่งผลให้มีอาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อน่อง ต้นขาและปวดเมื่อย ซึ่งอาการเหล่านี้สามารถนำไปสู่ ปัญหาโรคข้อเสื่อม เพื่อเป็นการช่วยลดปัญหาด้านสุขภาพของคนทำงานทางผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการเตรียมผลิตภัณฑ์เพื่อลดความเมื่อยล้า

จากการศึกษางานวิจัยการเสริมแรงด้วยเส้นใยธรรมชาติมาใช้ร่วมกับยางธรรมชาติ ได้รับความสนใจอย่างมาก เนื่องจากเส้นใยธรรมชาติ มีราคาถูก มีความหนาแน่นต่ำ และมีความแข็งแรงจำเพาะที่สูงและที่สำคัญสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ เพราะย่อยสลายในธรรมชาติได้ ส่วนยางธรรมชาติมีสมบัติเด่นด้านความยืดหยุ่นและสามารถรับแรงได้ดี โดยในงานวิจัยนี้จึงได้เลือกเส้นใยมะพร้าวมาใช้ร่วมกับยางธรรมชาติ เนื่องจากเส้นใยมะพร้าวมีคุณสมบัติที่ทนต่อสภาวะอากาศ มีราคาถูก หาได้ง่าย และเส้นใยมะพร้าวจะดูดซับน้ำได้น้อยกว่าเส้นใยธรรมชาติชนิดอื่น และในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการตัดแปรพื้นผิวของเส้นใยก่อนเนื่องจากเส้นใยธรรมชาตินั้นเป็นเส้นใยที่มีความเป็นขรุขระสูงชอบน้ำ ซึ่งสมบัติการชอบน้ำเป็นปัญหาในการยึดเกาะกันระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์ไม่คืนน้ำ ซึ่งจะส่งผลต่อสมบัติโดยรวมของวัสดุคอมโพสิตอย่างชัดเจน ด้วยเหตุผลนี้จึงต้องมีความจำเป็นที่จะต้องทำการตัดแปรพื้นผิวของเส้นใยก่อนที่จะนำไปใช้เป็นสารเสริมแรงในวัสดุคอมโพสิต โดยวิธีที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือการตัดแปรด้วยวิธีทางเคมีโดยจะเน้นวิธีที่ไม่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้และสิ่งแวดล้อม การนำเส้นใยธรรมชาติมาใช้ในยางธรรมชาติถือเป็นการปรับปรุงสมบัติทางกลของยางธรรมชาติและยังมีผลต่อการ

เพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุจากธรรมชาติ แต่อย่างไรก็ตามยางธรรมชาติและเส้นใยมะพร้าวยังมีข้อด้อย กล่าวคือยางธรรมชาติเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ซึ่งมีสมบัติเป็นเชื้อเพลิงสำหรับการจุดติดไฟ หากอยู่ในสถานะที่มีออกซิเจนและความร้อนแล้วพอลิเมอร์จะเกิดการจุดติดไฟและเผาไหม้ได้ ดังนั้นจึงมีการศึกษาถึงสมบัติการทนไฟควบคู่กับสมบัติการคงรูป สมบัติเชิงกล และสมบัติการทนไฟของยางธรรมชาติผสมเส้นใยมะพร้าวเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการใช้งานได้มากขึ้น โดยใช้สารตัวเติมทนไฟปราศจากฮาโลเจน

ผลจากการศึกษาผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาสมบัติการใช้งานของวัสดุคอมโพสิตจากยางธรรมชาติผสมเส้นใยมะพร้าว โดยนำคุณสมบัติเด่นของวัสดุทั้งสองชนิดมาจัดเตรียมให้มีคุณสมบัติต่อการใช้งานที่สามารถนำไปผลิตเป็นชิ้นงาน

## 1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาการเตรียมและสมบัติเชิงกล สมบัติการทนไฟและสมบัติทางความร้อนของวัสดุคอมโพสิตจากยางธรรมชาติผสมเส้นใยมะพร้าว

1.2.2 เพื่อศึกษาสมบัติการใช้งานของวัสดุคอมโพสิตจากยางธรรมชาติผสมเส้นใยมะพร้าว ด้านลดความเมื่อขล้า

## 1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.3.1 ยางธรรมชาติที่ใช้ คือ ยางแผ่นรมควัน RSS#3

1.3.2 เส้นใยธรรมชาติที่ใช้ในการทดลองนี้คือ เส้นใยมะพร้าว (Coir Fiber)

1.3.3 การปรับปรุงพื้นผิวโดยแปรปริมาณความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0, 4, 8, 10 และ 12 wt%

1.3.4 เส้นใยธรรมชาติที่ใช้เป็นสารตัวเติม คือ เส้นใยมะพร้าวโดยการแปรปริมาณเส้นใย ตั้งแต่ 40, 60, 80 และ 100 phr ตามลำดับ

1.3.5 สารทนไฟที่ใช้ คือ แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ (Magnesium Hydroxide, MH) โดยการแปรปริมาณตั้งแต่ 30, 60, 90 และ 120 phr ตามลำดับ

1.3.6 สมบัติของเส้นใยที่ศึกษา คือ สมบัติการดูดความชื้น (Moisture Content) สมบัติการดูดซึมน้ำ (Water Absorption) สมบัติการทนแรงดึง (Tensile Strength) และพื้นฐานวิทยา

1.3.7 สมบัติของวัสดุยางคอมโพสิตที่ทำการศึกษาคือ สมบัติความแข็ง (Hardness) สมบัติความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) ค่าระยะยืด ณ จุดขาด (Elongation at Break) และสมบัติทางพื้นฐานวิทยา สมบัติการทนไฟ สมบัติทางความร้อน (Thermogravimetric Analyzer, TGA) และสมบัติการใช้งานของแผ่นยางคอมโพสิตด้วยเครื่องจับความร้อน

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ได้แผ่นยางคอมโพสิตเพื่อลดความเมื่อยล้าจากยางธรรมชาติผสมเส้นใยมะพร้าว
- 1.4.2 เพิ่มมูลค่าเส้นใยที่เป็นของเหลือจากการเกษตร โดยการใช้เป็นสารตัวเติมในยาง เพื่อเตรียมเป็นแผ่นยางลดความเมื่อยล้า
- 1.4.3 สามารถเพิ่มมูลค่าของการใช้งานยางธรรมชาติในประเทศได้สูงขึ้น



## บทที่ 2

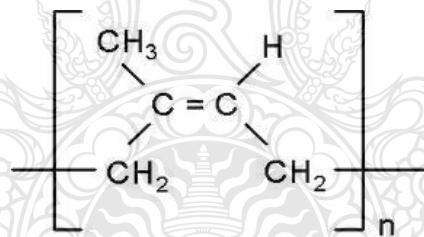
### ทฤษฎีและงานวิจัย

#### 2.1 ยางธรรมชาติ (Natural rubber)

##### 2.1.1 โครงสร้างโมเลกุลและประเภทของยางธรรมชาติ [2-5]

ยางธรรมชาติเป็นพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย (Number Average Molecular Weight, Mn) สูง ประมาณ 200,000-500,000 g/mol (Subramaniam, 1980) และมีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลกว้าง

โครงสร้างของยางธรรมชาติประกอบด้วยหน่วยซ้ำคือ ไอโซพรีน (Isoprene) โดยมีค่า n ตั้งแต่ 5,000 จนถึงประมาณ 15,000 ยางธรรมชาติมีสูตรโมเลกุลคือ  $C_5H_8$  และมีสูตรโครงสร้างทั่วไปเป็น *cis*-1,4- polyisoprene ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างของโมเลกุลยางธรรมชาติ [3]

ยางธรรมชาติมีความถ่วงจำเพาะ 0.934 กรัม/ปริมาตร ที่ 20 °C โมเลกุลของยางธรรมชาติประกอบด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนประมาณ 94 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่เหลือเป็นโปรตีนไขมันและเกลืออนินทรีย์ชนิดอื่นๆ โดยที่เกลือและไขมันเหล่านี้จัดเป็นสารปนเปื้อน ทำให้ยางธรรมชาติมีสมบัติไม่ทนต่อน้ำมันปิโตรเลียมและน้ำมันพืช แต่จะเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี ยางธรรมชาติมีพันธะคู่ที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมี ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ยางธรรมชาติสามารถเกิดการออกซิไดซ์ได้ง่ายและเสื่อมสภาพเมื่อตั้งทิ้งไว้นาน ยางธรรมชาติมีค่าอุณหภูมิคล้ายแก้ว ( $T_g$ ) ประมาณ -72 °C ดังนั้นสามารถใช้งานเป็นวัสดุยืดหยุ่นได้ในอุณหภูมิต่ำตั้งแต่ -70 °C จนถึงอุณหภูมิห้อง แต่เมื่ออุณหภูมิสูงมากขึ้นยางจะมีความแข็งแรงลดลง จึงเป็นสาเหตุทำให้ต้องวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ



ด้วยกำมะถันและเปอร์ออกไซด์เพื่อสร้างเป็น โครงสร้างตาข่าย 3 มิติที่คงทนต่อการผิดรูปเมื่อได้รับแรงกระทำและเพิ่มความแข็งแรงด้วยการใช้สารตัวเติมที่ใช้ในยางธรรมชาติทำหน้าที่แตกต่างกันตามชนิดของสาร สารตัวเติมอาจเสริมความแข็งแรงของยางธรรมชาติ เช่น เขม่าดำ (Carbon Black) ซิลิกา (Silica) หรืออาจใส่เพื่อลดต้นทุน เช่น เกลย์ (Clay) แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium Carbonate,  $\text{CaCO}_3$ ) เป็นต้น

## 2.1.2 รูปแบบของยางธรรมชาติ

### 2.1.2.1 น้ำยาง

น้ำยางสดที่กรี๊ดได้จากต้นยางพาราจะมีปริมาณน้ำมากเกินไป ไม่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์และสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ดังนั้นจึงต้องมีการเอาน้ำออกจากน้ำยางสดก่อน จนมีเนื้อยางเข้มข้นอยู่ 60% น้ำยางที่ได้นี้เรียกว่า “น้ำยางข้น” ซึ่งมีลักษณะเหมือนกับน้ำนม เกิดการบูดเน่าได้ง่าย ดังนั้นจึงต้องมีการเก็บรักษาน้ำยางโดยการใส่สารเคมี เช่น แอมโมเนีย น้ำยางข้นที่ใช้แอมโมเนียในการเก็บรักษาปริมาณสูงถึง 0.7% โดยน้ำหนักของเนื้อยางแห้ง เรียกว่า น้ำยางเข้มข้นชนิดแอมโมเนียสูง (High Ammonia Concentrated Latex) ส่วนน้ำยางที่มีการเก็บรักษาด้วยแอมโมเนียปริมาณน้อย เช่น ไม่เกิน 0.2% ร่วมกับสารเคมีอื่นๆ เช่น ซิงออกไซด์และเตตระเมทิลไซยูเรมไดซัลไฟด์ ( $\text{ZnO/TMTD}$ ) 0.02% และ กรดบอริก 0.2% เรียกว่า น้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียต่ำ (Low Ammonia Concentrated Latex) ผลิตภัณฑ์ที่สามารถเอาน้ำออกได้ง่าย คือ ผลิตภัณฑ์ที่บาง หรือมีรูพรุนที่จะทำให้น้ำระเหยออกตามรูพรุนนั้นได้ เช่น ลูกโป่ง ลูกมือ และถุงยางอนามัย เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถนำน้ำยางมาใช้เป็นตัวประสานได้ เช่น ทำเป็นกาว เป็นต้น

### 2.1.2.2 ยางแห้ง

ยางแห้งได้มาจากการแยกเนื้อยางออกจากน้ำโดยการทำให้อนุภาคยางสูญเสียความเสถียรเรียกว่า “การจับตัวน้ำยาง” เช่น การใช้กรด เมื่ออนุภาคสูญเสียความเสถียรก็จะจับตัวกันเป็นก้อนยาง ยางแห้งที่ได้มีการผลิตและจำหน่ายหลายรูปแบบเพื่อความสะดวก และเหมาะสมในการใช้งาน เช่น

ก. ยางแผ่น (Sheet Rubber) ได้จากการจับตัวน้ำยางจึงนำมารีดเป็นแผ่น และนำมาทำให้แห้งโดยวิธีการต่างๆ เช่น การรมควัน ซึ่งเรียกยางที่ได้ว่า “ยางแผ่นรมควัน” (Ribbed Smoked Sheets Rubber, RSS) การอบแห้งโดยใช้อากาศร้อน เรียกยางที่ได้ว่า “ยางแผ่นผึ่งแห้ง” (Air Dried Sheet, ADS) ซึ่งยางแผ่นรมควันยังมีการจัดเป็นชั้นต่างๆ ตั้งแต่ชั้นที่ 1 ถึงชั้นที่ 5 ส่วนยางแผ่นผึ่งแห้งมีชั้นเดียว ถ้าตักชั้นก็นำไปรมควัน ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ลักษณะของยางแผ่น [3]

ข. ยางเครฟ (Crepe Rubber) เป็นยางที่ทำจากเศษยางกันด้วย ยางติดเปลือกไม้หรือเศษยางจากแผ่นรมควันนำยางดังกล่าวมารีดในเครื่องเครฟ พร้อมกับชะล้างด้วยน้ำเพื่อเอาสิ่งสกปรกออกแล้วทำให้แห้ง ยางเครฟมีหลายเกรดขึ้นอยู่กับคุณภาพของยางที่นำมาทำยางเครฟที่ดีที่สุดคือยางเครฟขาว ได้มาจากน้ำยางที่ใส่สารฟอกให้ขาว แล้วจับตัวป็นก้อนก่อนที่จะนำไปรีดด้วยเครื่องเครฟต่อไป

ค. ยางแท่ง (Block Rubber) เป็นยางที่ผลิตขึ้นมาโดยมีการควบคุมคุณภาพของยางดิบ ทำโดยนำยางมาทำให้อยู่ในรูปก้อนเล็กๆ เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2-3 มม. เพื่อให้ง่ายต่อการชะล้างสิ่งสกปรกออกไป และง่ายต่อการทำให้แห้ง ต่อจากนั้นนำยางก้อนเล็กๆ นี้ทำความสะอาดด้วยน้ำ และทำให้แห้งด้วยอากาศร้อน ยางที่ได้จะถูกนำมาอัดเป็นแท่งขนาดมาตรฐาน 330 x 670 x 150/180 มม. หนัก 33.33 กิโลกรัม โดยที่ยาง 30 แท่ง จะหนักเท่ากับ 1 ตันพอดี ยางแท่งที่ได้นี้จะมีการจัดออกเป็นเกรดต่างๆ ขึ้นอยู่กับความสกปรกและสารปนเปื้อนในยาง เช่น (เรียงตามลำดับคุณภาพที่ดีที่สุด) STR5L STR5 STR20 และ STR50 ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ลักษณะยางแท่ง STR [3]

ง. ยางธรรมชาติชนิดพิเศษ นอกจากที่กล่าวมาแล้ว ยางธรรมชาติอาจจะเตรียมให้อยู่ในรูปแบบพิเศษต่างๆ เช่น

1) ยางแท่งความหนืดคงที่ (Constant Viscosity Rubber) หรือที่เรียกว่า CV Rubber เป็นยางที่มีการปรับสภาพโครงสร้างโมเลกุล ทำให้ไม่เกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของยางดิบที่เก็บไว้ก่อนนำมาแปรรูป

2) ยางเอสพี (SP Rubber หรือ Superior Processing Rubber) เป็นยางที่มีพันธะเชื่อมโยงบางส่วนในโครงสร้างโมเลกุลของยาง ทำให้สามารถรักษารูปทรงได้ดี

3) ยางธรรมชาติปรับสภาพด้วยน้ำมัน (Oil – Extended Natural Rubber, OENR) เป็นยางธรรมชาติที่ใส่น้ำมันเข้าไปมากเพื่อช่วยในกระบวนการแปรรูป ยางชนิดนี้เหมาะแก่การทำยางรถยนต์ที่ใช้ในฤดูหนาว

4) ยางธรรมชาติสกัดโปรตีน (Deproteinized Natural Rubber, DPNR) เป็นยางที่ปรับสภาพให้มีปริมาณโปรตีนในยางต่ำลง เพื่อลดปัญหาการแพ้โปรตีน

5) ยางผง (Powder Rubber) เป็นยางที่อยู่ในรูปเม็ดเพื่อนำมาใช้ในกระบวนการผลิตที่มีลักษณะต่อเนื่อง

## 2.2 สมบัติทั่วไปของยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติเป็นพอลิไอโซพรีน (Polyisoprene) ที่มีหน่วยซ้ำไอโซพรีนต่อกันอย่างเป็นระเบียบ มีน้ำหนักโมเลกุลสูง สมบัติทั่วไปที่สำคัญ คือ

### 2.2.1 สมบัติทนทานต่อแรงดึง (Tensile Properties)

ผลของการที่ไอโซพรีนมาเรียงต่อกันอย่างเป็นระเบียบ ทำให้ยางธรรมชาติสามารถเกิดผลึกได้เมื่อยืดออก และผลึกที่เกิดขึ้นเป็นตัวเสริมความแข็งแรงของยาง การออกสูตรยางธรรมชาติโดยไม่ใส่สารตัวเติมใดๆ เลย จะทำให้ได้ยางที่มีความสามารถในการยืดจนขาด (Elongation at Break) ได้สูงถึง 700-800% มีความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) ประมาณ 4000 psi โดยที่ยางมีค่าโมดูลัส (Modulus) ต่ำ

### 2.2.2 ความต้านทานต่อการฉีกขาด (Tear Strength)

เนื่องจากยางธรรมชาติสามารถตกผลึกได้ ทำให้มีความทนทานต่อการฉีกขาดสูงมาก โดยเฉพาะที่อุณหภูมิสูง พบว่าในการแกะยางออกจากเบ้าขณะร้อน จะมีปัญหาเรื่องยางขาดน้อยมากดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.1

## ตารางที่ 2.1 การจัดกลุ่มชนิดของยางตามสมบัติความทนทานต่อการสึกหรอ

กลุ่ม	ความทนทานต่อการสึกหรอ	ชนิดของยาง
1	ดีมาก	Urethane, BR, SBR และยางธรรมชาติ
2	ดี – ดีมาก	EPDM, CR, NBR, Hypalon
3	ดี	Butyl, Ethylene/acrylic elastomer, Vinyl acetate-ethylene elastomer
4	เลว	Silicone, Thiokol

### 2.2.3 ความกระด้างตัว (Resilience)

ยางธรรมชาติมีความกระด้างตัวสูง มีความร้อนสะสม (Heat build up) ต่ำ ทำให้ยางธรรมชาตินิยมใช้ในการทำยางรถบรรทุก ซึ่งต้องรับแรงหนัก

### 2.2.4 ความเหนียวติดกัน (Tack)

ยางธรรมชาติมีคุณสมบัติติดกันเองได้ดี ทำให้สามารถทำผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่นำหลายชิ้นส่วนมาประกอบกันได้ดี

### 2.2.5 ความเป็นฉนวนความร้อนไฟฟ้า (Insulating Properties)

เนื่องจากยางธรรมชาติเป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้วจึงมีความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะสูงมากถึง  $10^{15}$  ohm.cm. ซึ่งเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีมาก

### 2.2.6 ความทนทานต่อสารเคมี (Chemical Resistance)

เนื่องจากยางธรรมชาติเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้วจึงมีความทนทานต่อของเหลวที่มีขั้วได้ดี เช่น อะซิโตน แอลกอฮอล์ หรือกรดเจือจาง แต่ไม่ทนต่อกรดไนตริกเข้มข้น กรดกำมะถันเข้มข้น และน้ำมันปิโตรเลียม

### 2.2.7 สมบัติการบ่มเร่ง (Aging Properties)

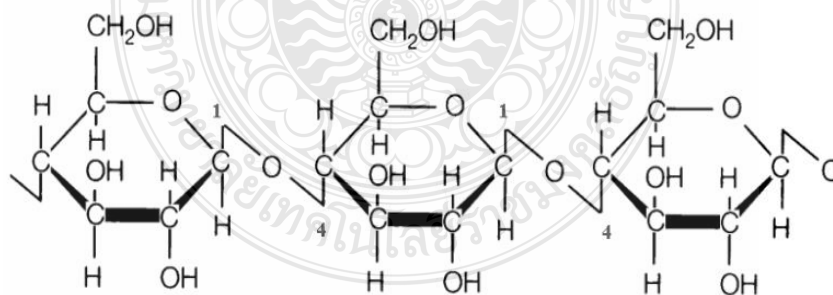
ยางธรรมชาติมีพันธะคู่อยู่จำนวนมากทำให้ถูกออกซิไดซ์ได้ง่าย นอกจากนั้นยังไม่ทนทานต่อโอโซนด้วย ถ้าต้องการออกสูตรยางธรรมชาติให้สามารถใช้งานได้นานๆ จึงจำเป็นต้องใส่สารแอนติออกซิแดนซ์ หรือสารแอนตี้โอโซนเนนท์ เพื่อช่วยป้องกันการเสื่อม

### 2.2.8 อุณหภูมิการใช้งาน (Service Temperature)

ยางธรรมชาติสามารถใช้งานได้ตั้งแต่อุณหภูมิ  $-70^{\circ}\text{C}$  ถึง  $70^{\circ}\text{C}$  โดยที่ยางทั่วไปจะแข็งตัวเมื่อเย็นและอ่อนตัวลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น

## 2.3 เส้นใยธรรมชาติ (Natural fiber)

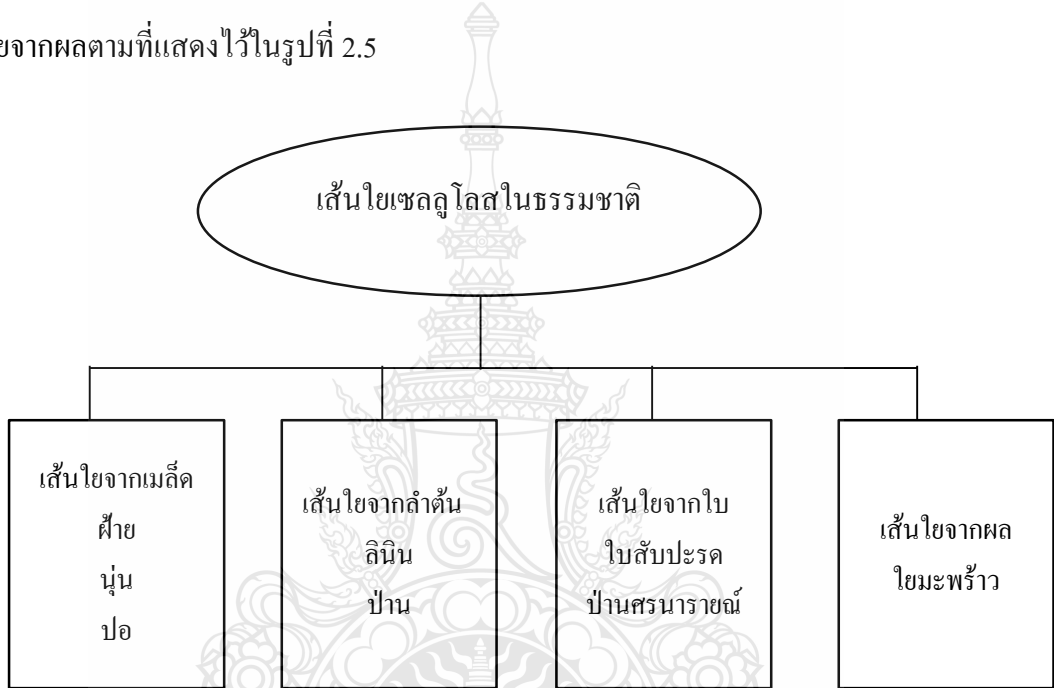
2.3.1 เส้นใยจากธรรมชาติเป็นเส้นใยที่ได้จากพืชและสัตว์ทุกชนิดจัดเป็นเส้นใยประเภทเซลลูโลสที่มีองค์ประกอบทางเคมีด้วยธาตุหลักคือ คาร์บอน, ไฮโดรเจน และออกซิเจน ซึ่งกลุ่มที่ได้จากพืชได้แก่ เส้นใยฝ้าย ลินิน ป่าน ปอ มีโครงสร้างประกอบด้วย anhydro-d-glucose ( $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$ ) ต่อกันเป็นลูกโซ่โมเลกุลยาว ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.4 ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลทั้งหมด 3 หมู่ด้วยกัน (เป็น primary group 1 หมู่ และ secondary group 2 หมู่) โครงสร้างทางเคมีนี้นับว่ามีบทบาทอย่างยิ่งต่อการกำหนดสมบัติของเส้นใย กล่าวคือ หมู่ไฮดรอกซิล ( $-\text{OH}$ ) จะเป็นตัวดึงดูดน้ำทำให้มีความสามารถในการดูดซึมความชื้นได้ดี [6] อีกทั้งเป็นจุดที่ก่อให้เกิดแล้วปฏิกิริยากับกรดอะซิเตทหรือเส้นใยประดิษฐ์ชนิดอะซิเตตนั่นเอง ลักษณะการจัดเรียงตัวเป็นลูกโซ่โมเลกุลยาวทำให้มีความแข็งแรงสูงตามไปด้วย นอกจากนั้นแล้วในโครงสร้างบริเวณที่เป็นการต่อกันของธาตุ  $-\text{C}-\text{O}-\text{C}-$  จะเป็นบริเวณที่ถูกทำลายได้ด้วยผลจากการเกิดออกซิเดชัน หรือจากการถูกทำลายด้วยสภาพภูมิอากาศ ทำให้โมเลกุลยาวขาดลงกลายเป็นส่วนเล็กๆ



รูปที่ 2.4 โครงสร้างทางเคมีของโมเลกุลเซลลูโลส [6]

ลูกโซ่โมเลกุลของกลูโคสที่ได้กล่าวมาแล้ว สามารถทำการตรวจวิเคราะห์ได้โดยดูจากค่าของน้ำหนักโมเลกุล ถึงแม้เส้นใยเซลลูโลสมีอยู่มากมายหลายชนิดก็ตาม แต่เนื่องจากทุกชนิดมีองค์ประกอบทางเคมีในหน่วยย่อยที่เหมือนกัน ดังนั้นจึงทำให้สมบัติของเส้นใยกลุ่มนี้มีความคล้ายกัน ซึ่งส่งผลกระทบต่อไปยังสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่มีความสำคัญต่อผู้ใช้

ในธรรมชาติจะพบเส้นใยเซลลูโลสจากส่วนต่างๆ ของพืชแตกต่างกันได้หลากหลาย บางประเภทเป็นเส้นใยที่ได้จากเมล็ด บางประเภทเป็นเส้นใยจากลำต้น เส้นใยจากใบหรือแม้กระทั่งเส้นใยจากผลตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 เส้นใยเซลลูโลสในธรรมชาติที่ได้จากส่วนต่างๆ ของพืช

2.3.1 โครงสร้างของเส้นใย โครงสร้างของเส้นใยประกอบด้วยเซลล์หลายๆเซลล์ ซึ่งเซลล์เหล่านี้ประกอบด้วยผนังเซลล์ 2 ชั้น ผนังเซลล์ชั้นนอกสุดคือชั้นปฐมภูมิ (Primary Cell Wall) เป็นชั้นที่เกิดจากกลุ่มชั้นบางๆของเส้นใยเล็กๆ (Microfibrils) ที่ถูกห่อหุ้มด้วยลิกนินและเฮมิเซลลูโลส และผนังเซลล์ชั้นที่ 2 คือ ผนังเซลล์ทุติยภูมิ (Secondary cell walls) ผนังเซลล์ชั้นที่ 2 มีผนังเซลล์ย่อยๆอีก 3 ชั้น คือ ชั้นนอกมีลักษณะเป็นผนังบางๆ ประกอบด้วยเส้นใยเล็กๆพันซ้อนเป็นเกลียว (Helix) ชั้นกลางมีลักษณะหนา มีกลุ่มเส้นใย ที่เรียงตัวขนานกันตามแนวเส้นใย (Longitudinal fiber axis) ชั้นที่ 3 ประกอบด้วยเส้นใยที่เรียงตัวกันขนานกับชั้นที่ 2

### 2.3.2 เส้นใยมะพร้าว (Coir)

เมื่อผลมะพร้าวแก่ ชาวสวนจะแยกเอาเปลือกหรือกามมะพร้าวออกจากเมล็ด เมล็ดซึ่งหุ้มด้วยเปลือกแข็งหรือกะลามะพร้าวก็จะถูกนำไปผ่าเพื่อนำเอาเนื้อไปเป็นอาหารหรือตากแห้ง กามมะพร้าวจะถูกนำไปใช้อุตสาหกรรมทำผลิตภัณฑ์จากใยมะพร้าว (เส้นใยมะพร้าว ม.ป.ป. : 1-15) โดยจะส่งไปแยกเส้นใยด้วยวิธีหมักในน้ำจนย่อยแล้วทุบให้แตกหรือใช้เครื่องบีบให้เส้นใย หลุดจากกัน หรือแยกด้วยวิธีใช้เครื่องตีเส้นใยมะพร้าว โดยไม่ต้องแช่น้ำ การแยกเส้นใยจะได้ขุยมะพร้าว ซึ่งนำไปใช้ประโยชน์ในการเพาะปลูกพืช และเส้นใยที่แยกได้แบ่งตามความยาวได้ 3 พวก

1. Yarn Fiber มีความยาวและละเอียด เหมาะที่จะนำไปใช้ทำเส้นด้ายเพื่อทอพรอม ทำเสื่อ ทำเชือก

2. Bristle Fiber เป็นเส้นใยขนาดใหญ่ หยาบ เส้นสั้นกว่าชนิดแรก ใช้ทำแปรงไม้กวาด

3. Mattress Fiber เป็นเส้นใยชนิดสั้น ใช้สำหรับทำเบาะ ที่นอน

เส้นใยมะพร้าวเป็นเส้นใยที่หยาบและแข็งกระด้างมีความยาวโดยประมาณ 15-30 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 1-1.5 มิลลิเมตร มีความเหนียวแข็งแรงต่ำกว่าป่านศรนารายณ์ ความโค้งงอต่ำ ทนต่อความเปียกชื้นและการทำลายจุลินทรีย์ได้ดี การใช้ประโยชน์ในประเทศไทยใช้ทำเบาะรถยนต์และที่นอนเส้นใยมะพร้าวอบน้ำยารักษา นอกจากใช้ทำเบาะและที่นอน เส้นใยมะพร้าวยังเหมาะสำหรับผลิตเชือกเส้นด้ายเพื่อทอพรอม เสื่อ แปรง และไม้กวาด ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 เส้นใยมะพร้าว



## 2.4 การตัดแปรพื้นผิวของเส้นใย (Fiber treatment)

กระบวนการที่ใช้ในการตัดแปรผิวเส้นใยนั้น สามารถแบ่ง ออกได้เป็น 2 วิธีใหญ่ ๆ คือ วิธีการทางกล และวิธีการทางเคมี

2.4.1 การตัดแปรพื้นผิวเส้นใยทางกล (physical method) วิธีการตัดแปรเส้นใยทางกลจะ รวมถึงการยืด การรีดและการผ่านกระบวนการทางความร้อน (thermotreatment) ซึ่งวิธีการตัดแปรพื้นผิวของเส้นใยทางกล เหล่านี้จะเกิดเปลี่ยนโครงสร้างและสมบัติพื้นผิวของเส้นใยโดยจะมีอิทธิพลต่อการสร้างพันธะกับเมทริกซ์พอลิเมอร์แต่ไม่ได้เปลี่ยนองค์ประกอบของเส้นใยแต่อย่างใด ดังนั้นการตัดแปรพื้นผิวเส้นใยจะ ช่วยทำให้การยึดเกาะของเส้นใยกับเมทริกซ์ดีขึ้น วิธีการตัดแปรเส้นใย ทางกลนั้นมีหลายวิธี ได้แก่

2.4.1.1 การปรับสภาพผิวด้วยโคโรนา (corona treatment) เป็น วิธีการตัดแปรพื้นผิวทางกลที่อุณหภูมิต่ำ โดยในการทำโคโรนาทรีทเม้นท์นั้น พลาสมาโคโรนาจะถูกสร้างจากการประจุไฟฟ้าศักย์ สูงให้แก่ไอเล็กโตรดปลายแหลม (tips) ทำให้เกิดรูปแบบ (form) ของ พลาสมาชั้นตรงบริเวณปลายแหลมนั้น การประจุโคโรนาลงไปในบน พื้นผิวของเส้นใยที่เป็นกลุ่มฟังก์ชันที่มีขั้ว เช่น เส้นใยเซลลูโลส (cellulose) นั้นจะไปปรับปรุงสมบัติความชอบน้ำของเส้นใย โดยการทำให้พลาสมาทรีทเม้นท์นั้น สามารถทำโดยการสร้างประจุขึ้นบนพื้น ผิวของวัสดุ จากการตัด แปรเส้นใยพบว่า การอบพลาสมาบนผิวของเส้นใยเซลลูโลสมีผลทำให้การยึดเกาะกันของเส้นใยที่ชอบน้ำและเมทริกซ์ที่ไม่ชอบน้ำดีขึ้น

2.4.2 การตัดแปรผิวเส้นใยด้วยวิธีการทางเคมี (chemical method) เนื่องจากเส้นใยเซลลูโลสนั้น มีความเป็นขั้วสูง ทำให้ความ สามารถในการยึดเกาะของเส้นใยธรรมชาติกับพอลิเมอร์ซึ่งมีสมบัติความไม่ชอบน้ำนั้นไม่ดี

2.4.2.1 การปรับสภาพผิวด้วยซิลเลน (Silane treatment) วิธีการนี้จะใช้ซิลเลน (Silane) เป็นสารคู่ควบ (coupling agent) ซึ่งซิลเลนที่เติมเข้าไปนี้จะไปอยู่ที่ระหว่างบริเวณรอยต่อระหว่างพื้นผิวเส้นใยกับ เมทริกซ์ โดยซิลเลนจะเข้าไปปรับสภาพความชอบน้ำ ณ บริเวณรอย ต่อระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์โดยเฉพาะเมื่อใช้พอลิเมอร์ที่มีกลุ่ม ฟังก์ชันอะมิโนของซิลเลน (amino-functional silane)

2.4.2.2 การปรับสภาพผิวด้วยอัลคาไลน์ (Alkaline treatment) เป็นหนึ่งในวิธีการตัดแปรเส้นใยทางเคมีที่นิยมใช้ โดยสารอัลคาไลน์ ที่ใช้ในการทรีทเม้นท์เส้นใยนั้นจะเข้าไปทำลาย



(disruption) พันธะ ไฮโดรเจนใน โครงสร้างโครงข่าย (network structure) ทำให้ความ หยาบของ พื้นผิวเพิ่มมากขึ้น

## 2.5 วัสดุคอมโพสิต (Composite material)

วัสดุคอมโพสิต เป็นวัสดุที่ไม่ได้เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ แต่เป็นส่วนผสมของ องค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันของวัสดุ 2 ชนิดหรือมากกว่าที่พิจารณาถึงการรวมใน โครงสร้าง ของระดับอะตอม โดยที่องค์ประกอบเหล่านั้นอาจมีรูปร่างและองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน ทำให้มันไม่ละลายเข้าด้วยกัน หรือจะไม่เป็นเนื้อเดียวกัน แต่จะแยกเป็นเฟสที่เห็นได้ชัด คือ เฟสแรก เรียกว่า เนื้อหลัก (Matrix) ซึ่งจะอยู่ด้วยกันอย่างต่อเนื่อง และอีกเฟสหนึ่งเรียกว่า เฟสที่กระจาย หรือ วัสดุเสริมแรง (Reinforcement) กระจายอยู่ในวัสดุเนื้อของวัสดุเนื้อหลัก [7] วัสดุเสริมแรงอาจมี ลักษณะเป็นเส้น ก้อน อนุภาค หรือเกล็ด ก็ได้ วัสดุที่เป็นเนื้อหลักจะรองรับวัสดุเสริมแรงให้อยู่ใน รูปร่างที่กำหนด ในขณะที่วัสดุเสริมแรงจะเป็นตัวช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกลของวัสดุเนื้อหลักให้มี สมบัติสูงขึ้น ผลของการรวมวัสดุต่างชนิดเข้าด้วยกัน ทำให้ได้วัสดุผสมที่มีสมบัติแข็งแรงขึ้นกว่าวัสดุ ดั้งเดิมที่เป็นอยู่โดยลำพัง

วัสดุคอมโพสิต มีสมบัติเด่นกว่าการใช้งานวัสดุดั้งเดิมเพียงสารเดียว ในหลาย ด้าน เช่น

2.5.1 มีค่าความแกร่งและแข็งสูง (High Stiffness & Strength)

2.5.2 มีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำ (Low Density)

2.5.3 น้ำหนักเบา เมื่อเทียบกับความแข็งแรงต่อน้ำหนัก (ประมาณ 20% เมื่อเทียบกับ เหล็ก)

2.5.4 นำไปขึ้นรูปได้ง่าย ติดตั้งประกอบได้ง่าย

2.5.5 ทนทานต่อสภาพแวดล้อมหรือสารเคมีกัดกร่อน

2.5.6 อายุการใช้งานทนทาน ราคาคุ้มค่า

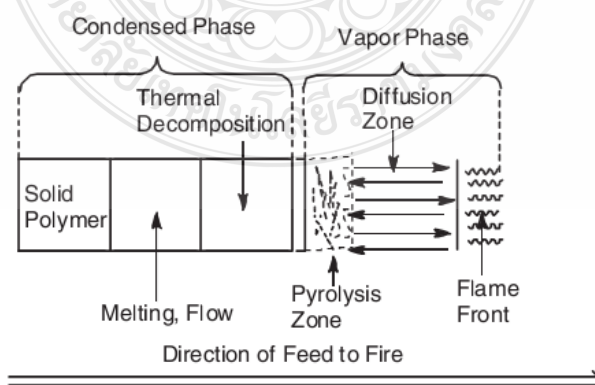
## 2.6 สารต้านทานการติดไฟ (Flame Retardants)

ปัจจุบันความต้องการผลิตผลิตภัณฑ์ยางที่ไม่ติดไฟได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วโดยเฉพาะใน ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ภายในบ้าน เช่น แผ่นยางรองพรม แผ่นยางปูหลังคา ยางหุ้มสายเคเบิ้ล ฯลฯ ยางสังเคราะห์บางชนิด ยางสังเคราะห์บางชนิด เช่น CR CSM และ FKM มีสมบัติที่ไม่ติดไฟเพราะยาง เหล่านี้เมื่อถูกเปลวไฟจะมีการปลดปล่อยก๊าซที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (เช่น HCl หรือ HF) ออกมา

ซึ่งก๊าซเหล่านี้จะไปไล่ที่ก๊าซออกซิเจนที่อยู่บริเวณเปลวไฟ จึงทำให้เปลวไฟสามารถดับได้เองสำหรับยางชนิดอื่นที่ติดไฟได้ (เช่น ยางธรรมชาติ SBR BR EPDM ฯลฯ) การเติมสารป้องกันการติดไฟลงจึงเป็นสิ่งจำเป็น สารป้องกันการติดไฟที่นิยมใช้กันมากที่สุด ได้แก่ อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ) แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ) และแอนติโมนีออกไซด์ ( $\text{Sb}_2\text{O}_3$ ) เมื่อถูกเผาไหม้ ความร้อนของเปลวไฟจะทำให้ทั้ง ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ) และ ( $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ) เกิดการสลายตัวให้น้ำ (Dehydration) ซึ่งจะเปลี่ยนสภาพต่อไปเป็นไอน้ำพร้อมทั้งดูดซับพลังงานความร้อนออกจากเปลวไฟ สำหรับ  $\text{Sb}_2\text{O}_3$  ก็นิยมใช้ร่วมกับสารป้องกันการติดไฟอินทรีย์ที่มีหมู่ฮาโลเจนเป็นองค์ประกอบ

## 2.7 หลักพื้นฐานของการจุดติดไฟ

การจุดติดไฟหรือการเผาไหม้ต้องอาศัยองค์ประกอบสำคัญ 3 อย่างที่สำคัญได้แก่ ความร้อน เชื้อเพลิง และออกซิเจน หากขาดองค์ประกอบใดองค์ประกอบหนึ่ง จะไม่สามารถเกิดการจุดติดไฟและเผาไหม้ขึ้นได้ โดยทั่วไปพอลิเมอร์ซึ่งเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจะมีคุณสมบัติเป็นเชื้อเพลิง ดังนั้นถ้าหากอยู่ในสภาวะที่มีออกซิเจนและความร้อนแล้ว พอลิเมอร์จะเกิดการจุดติดไฟและเผาไหม้ได้โดยกระบวนการเผาไหม้ของพอลิเมอร์ดังแสดงในรูปที่ 2.7 จะเริ่มจากการหลอมของพอลิเมอร์ (Melting) เมื่อได้รับความร้อน จากนั้นเกิดปฏิกิริยาการสลายตัวด้วยความร้อน (Thermal Decomposition) หรือการไพโรไลซิส (Pyrolysis) ของพอลิเมอร์เป็นอนุภาคขนาดเล็ก จากนั้นอนุภาคดังกล่าวจะเกิดการระเหยกลายเป็นไอไปรวมตัวกับออกซิเจนและเกิดการเผาไหม้ ซึ่งการเผาไหม้นี้จะปลดปล่อยความร้อนปริมาณมากแพร่เข้าไปสู่เนื้อพอลิเมอร์ส่งผลให้เกิดการไพโรไลซิสของพอลิเมอร์และเกิดการเผาไหม้ต่อเนื่อง กระบวนการนี้จะหยุดลงเมื่อองค์ประกอบใดองค์ประกอบหนึ่งหมดไป (ความร้อน เชื้อเพลิง หรือออกซิเจน) โดยไฟจะดับลงนั่นเอง [16]



รูปที่ 2.7 พฤติกรรมการสลายตัวของพอลิเมอร์และการเผาไหม้ [16]

ในการเผาไหม้อาจเกิดการเผาไหม้แบบสมบูรณ์กล่าวคือ หากมีความร้อน เชื้อเพลิงและก๊าซออกซิเจนที่เพียงพอ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสลายตัวของพอลิเมอร์ ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) หรือ น้ำ (H<sub>2</sub>O) นอกจากนี้ยังอาจเกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ได้ ในกรณีนี้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสลายตัวของพอลิเมอร์จะเป็นควันพิษที่มีส่วนผสมของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ที่เป็นพิษต่อร่างกาย

จากหลักการการติดไฟของพอลิเมอร์ที่อธิบายข้างต้นทำให้เกิดการคิดค้นหาวิธีการต่างๆ เพื่อปรับปรุงการทนไฟของพอลิเมอร์ให้ดีขึ้น โดยทั่วไปการทำให้พอลิเมอร์ติดไฟได้ยากขึ้นจำเป็นต้องเข้าใจหลักการหรือวิธีการลดการติดไฟของพอลิเมอร์

## 2.8 กลไกการหน่วงไฟ

การลดการติดไฟของวัสดุ มีหลักการทั่วไปดังนี้

2.8.1 หยุดปฏิกิริยาถูกโซในกระบวนการติดไฟ สามารถทำได้โดยการเติมสารดักจับอนุมูลอิสระ (Radical Scavengers) ที่เหมาะสมจำพวกสารประกอบฮาโลเจน โดยสารเหล่านี้จะไปทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระ ทำให้หยุดการเผาไหม้ต่อเนื่องได้

2.8.2 การสร้างฉนวนความร้อนขณะที่เกิดการติดไฟ กรณีนี้เมื่อวัสดุได้รับความร้อนแล้วจะสลายตัวให้ถ่านคาร์บอน (Carbon Char) ซึ่งเกิดเป็นชั้นปกป้องผิวของพอลิเมอร์ (Barrier) จากความร้อนและออกซิเจนที่จะแพร่เข้าทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิง

2.8.3 การลดหรือกำจัดเชื้อเพลิงที่ระเหยได้ สามารถทำได้โดยการให้ความเย็นหรือการผสมสารตัวเติมในปริมาณที่สูง กล่าวคือ การให้ความเย็นโดยการใช้สารตัวเติมพวก Hydrated mineral ซึ่งประกอบด้วยน้ำที่ตกผลึกปริมาณมาก โดยสารตัวเติมดังกล่าวจะดูดพลังงานจำนวนมากในช่วงอุณหภูมิ 180-300°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิจุดติดไฟของพอลิเมอร์ส่วนใหญ่แล้วปลดปล่อยน้ำเพื่อเจือจางเชื้อเพลิง

จากหลักการลดการจุดติดไฟที่ได้อธิบายมาแล้วข้างต้น เราสามารถลดการติดไฟของพอลิเมอร์ได้หลากหลายวิธี แต่วิธีที่ทำได้ง่ายไม่ยุ่งยากซับซ้อนและใช้ต้นทุนในการผลิตต่ำ เหมาะกับการใช้งานในอุตสาหกรรมคือการใช้สารลดการจุดติดไฟ

การใช้สารลดการติดไฟหรือสารทนไฟเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถลดการจุดติดไฟและการลามไฟของพอลิเมอร์ทำให้กระบวนการลุกไหม้ซึ่งเป็นบ่อเกิดของอัคคีภัยเกิดได้น้อยลง ปัจจุบันสารลดการติดไฟหรือสารทนไฟที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรม ได้แก่

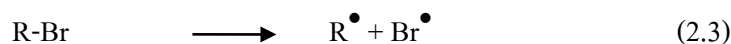
### 1) สารทนไฟกลุ่มสารประกอบฮาโลเจน

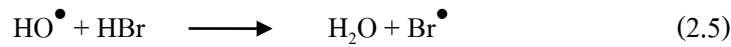
สารประกอบฮาโลเจนเป็นสารลดการติดไฟที่นิยมใช้กันมากที่สุด มักจะใช้ในรูปของสารประกอบฮาโลเจนอินทรีย์ (Organohalogen Compound) ซึ่งได้แก่ ออร์กาโนคลอรีน (Organochlorine, R-Cl) และออร์กาโนโบรมีน (Organobromine, R-Br) โดยการเติมสารประกอบกลุ่มนี้ลงในพอลิเมอร์ ส่งผลให้พอลิเมอร์มีความต้านทานต่อการลุกไหม้ได้ดี เนื่องจากการมีโครงสร้างที่มีพันธะ C-Cl หรือ C-Br ซึ่งมีพลังงานพันธะที่ต่ำกว่าพันธะ C-C หรือ C-H ในโครงสร้างของพอลิเมอร์ จึงเกิดการแตกตัวให้อนุมูลอิสระที่มีฮาโลเจนเป็นองค์ประกอบ (Cl<sup>•</sup> หรือ Br<sup>•</sup>) ได้ง่ายเมื่อได้รับความร้อน

เมื่อพอลิเมอร์เกิดการเผาไหม้จะสลายตัวเป็นไอหรือเชื้อเพลิงซึ่งอยู่ในรูปของอนุมูลอิสระ (H<sup>•</sup>) และหากอนุมูลอิสระดังกล่าวเกิดการรวมตัวกับออกซิเจนจะเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ของการเผาไหม้ (ดังสมการที่ 2.1) และหากอนุมูลอิสระไฮดรอกซิล (Hydroxyl Radical, HO<sup>•</sup>) จากปฏิกิริยาลูกโซ่เกิดการรวมตัวกับคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) จะเกิดการสลายตัวแบบคายความร้อนทำให้ระบบมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นอย่างมาก อีกทั้งยังปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) (ดังสมการที่ 2.2) (Bocchini and Camino, 2010)



หากการเผาไหม้เกิดขึ้นในขณะที่มีสารประกอบฮาโลเจนซึ่งถูกเติมเข้าไป สารประกอบฮาโลเจน สามารถเกิดการแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระ (ดังสมการที่ 2.3) แล้วเข้าไปทำปฏิกิริยากับพอลิเมอร์ (ดังสมการที่ 2.4) และอนุมูลอิสระจากเชื้อเพลิงหรืออนุมูลอิสระไฮดรอกซิล (ดังสมการที่ 2.5) ทำให้ลดปริมาณเชื้อเพลิงที่จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันต่อไปในระหว่างการลุกไหม้





นอกจากนี้การใช้งานสารประกอบฮาโลเจนอาจใช้ควบคู่กับสารแอนติโมนีไตรออกไซด์ (Antimony Trioxide,  $\text{Sb}_2\text{O}_3$ ) เกิดเป็นสารประกอบแอนติโมนีไตรเฮไลด์ ( $\text{SbX}_3$ , X=ฮาโลเจน) ซึ่งช่วยเสริมประสิทธิภาพความต้านทานต่อการลุกไหม้ของพอลิเมอร์ให้ดีขึ้น ปฏิบัติการด้านการลุกไหม้ของแอนติโมนีไตรโบรไมด์ ดังสมการที่ (2.6) – (2.8)



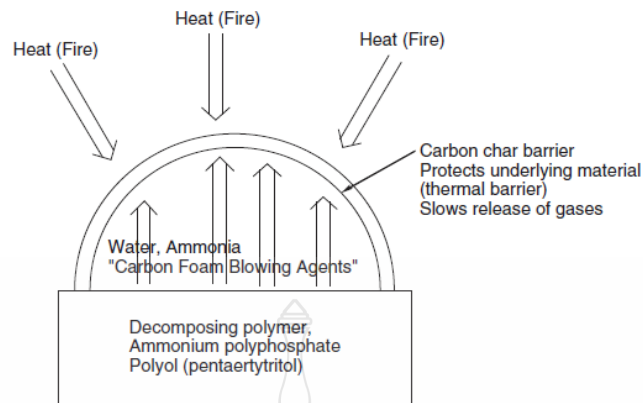
แต่อย่างไรก็ตามสารประกอบฮาโลเจนมีข้อเสียที่ส่งผลกระทบต่อชีวิตและทรัพย์สินของผู้ใช้งานซึ่งก็คือการปลดปล่อยก๊าซที่มีฤทธิ์เป็นกรดเมื่อได้รับความร้อนนั่นเอง

## 2) สารประกอบฟอสฟอรัส

สารประกอบฟอสฟอรัสสามารถลดการคิดไฟของพอลิเมอร์โดยใช้หลักการการสร้างฉนวนกันความร้อน กล่าวคือ เมื่อสารดังกล่าวได้รับความร้อนจะเกิดการสลายตัวและเกิดเป็นถ่าน (Char) โดยถ่านจะช่วยปกป้องชั้นผิวของพอลิเมอร์จากความร้อนภายนอกและก๊าซออกซิเจนที่เข้ามาทำปฏิกิริยาเผาไหม้กับเชื้อเพลิง นอกจากนี้หากใช้ร่วมกับสารประกอบฮาโลเจนจะเสริมประสิทธิภาพการทนไฟของพอลิเมอร์เช่นเดียวกับสารแอนติโมนีไตรออกไซด์

## 3) สารป้องกันการลามไฟชนิดขยายตัว

สารหน่วงไฟชนิดนี้เริ่มเป็นที่นิยมในอุตสาหกรรมในปัจจุบัน สารหน่วงไฟประเภทนี้ได้แก่ เมลามีน เมลามีนไซยานูเรต เมทิลอลเมลามีน สารประกอบกัวนิดิน ยูเรีย ไซยานาไดเอไมด์ โดยสารกลุ่มนี้ต้องมีองค์ประกอบ 3 อย่างทำหน้าที่ร่วมกัน คือ สารให้กรด สารที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ และสารก่อให้เกิดฟองก๊าซ ซึ่งสารหน่วงไฟประเภทนี้ทำหน้าที่ในรูปของการเกิด Intumescent กล่าวคือ สารที่ให้กรดเมื่อได้รับความร้อนจะเกิดการแตกตัวและเกิดการเชื่อมโยงกับสารที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ เกิดเป็นสารประกอบคาร์บอนที่เสถียรต่อความร้อน ส่วนสารก่อให้เกิดฟองก๊าซจะเปลี่ยนสารประกอบคาร์บอนที่ได้จากการเชื่อมโยงให้เป็นโฟมคาร์บอน ซึ่งจะทำให้หน้าที่เป็นฉนวนป้องกันการลามไฟและการสัมผัสกับออกซิเจนให้แก่วัสดุ ดังแสดงไว้รูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 กลไกการลามไฟของสารป้องกันการลามไฟชนิดขยายตัว [16]

#### 4) สารประกอบอนินทรีย์ที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ

สารหน่วงไฟกลุ่มนี้ได้รับความนิยมอย่างมากในแวดวงอุตสาหกรรมพอลิเมอร์ โดยที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง ได้แก่ อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ (Aluminium Trihydrate, ATH) และ แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ (Magnesium Hydroxide, MH) เนื่องจากมีราคาถูก ไม่เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต และสิ่งแวดล้อม สารทั้งสองจะเกิดการสลายตัวแบบดูดความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 220 และ 300°C ตามลำดับ โดยใช้พลังงานความร้อนในการสลายตัวเท่ากับ 280 cal/g และ 380 cal/g ตามลำดับ ในขณะที่เกิดการเผาไหม้จะเกิดการสลายตัวเป็นสารประกอบโลหะออกไซด์ ( $Al_2O_3$  และ  $MgO$ ) และน้ำ สารประกอบโลหะออกไซด์จะฟอร์มตัวเป็นชั้นที่ผิววัสดุ ส่วนน้ำจะทำหน้าที่ลดอุณหภูมิของระบบให้เย็นลง ทำให้เชื้อเพลิงและเปลวไฟจางลงพร้อมๆ กับอุณหภูมิของเปลวไฟจะลดลงและติดไฟยากขึ้น ส่งผลต่อการปรับปรุงสมบัติการทนไฟของพอลิเมอร์ (Morgan and Gilman, 2013)

Sain et al. (2004) กล่าวว่า iva แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์และอะลูมิเนียมไตรไฮดรอกไซด์มีการสลายตัวด้วยความร้อน ดังสมการที่ (2.9) และ (2.10)



โดยการสลายตัวแบบดูดความร้อนของแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์จะต้องใช้พลังงานความร้อนในการสลายตัวเท่ากับ 380 cal/g ซึ่งมากกว่ากรณีของอะลูมิเนียมไตรไฮดรอกไซด์ที่ใช้พลังงานความร้อนในการสลายตัวประมาณ 280 cal/g นอกจากนี้แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ยังมีความจุความร้อน

(Heat Capacity) ที่สูงกว่าอะลูมิเนียมไตรไฮดรต [17] ทำให้แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ มีความเสถียรเชิงความร้อนที่ดีกว่าอะลูมิเนียมไตรไฮดรต แต่ในการปรับปรุงสมบัติการทนไฟของ วัสดุจะต้องเลือกวิธีการทดสอบที่เหมาะสมและสามารถบ่งชี้ถึงการปรับปรุงสมบัติการทนไฟได้ ภายหลังการเติมสารทนไฟเข้าไปในพอลิเมอร์ อีกทั้งยังสามารถทำนายผลการติดไฟในสถานการณ์ จริงได้ว่าเป็นอย่างไรซึ่งวิธีการทดสอบ ที่สำคัญมี 2 ประเภท คือ

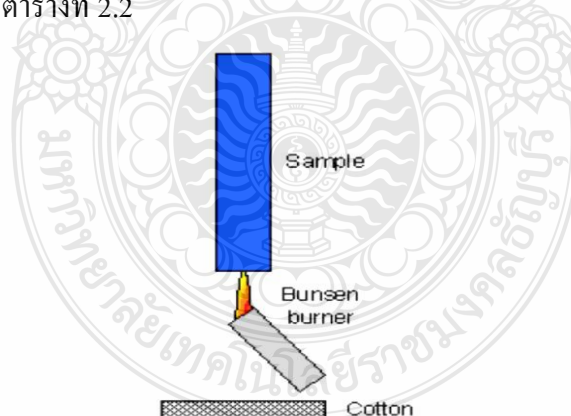
1) การทดสอบขนาดใหญ่ (Large Scale Test) เป็นการศึกษาลักษณะของวัสดุหรือ ผลิตภัณฑ์ในสถานการณ์ติดไฟจริงๆ เช่น ไม้

2) การทดสอบขนาดเล็ก (Small Scale Test) เป็นการหาค่าความยากง่ายของการจุดติด ของวัสดุขนาดเล็กโดยใช้ไฟขนาดเล็ก รวมทั้งหาอัตราการเผาไหม้ และการสร้างควัน

## 2.9 การทดสอบการจุดติดไฟ

### 2.9.1 วิธีการทดสอบการเผาแบบ UL94

เป็นการทดสอบที่เกี่ยวข้องกับการให้เปลวไฟแก่ชิ้นตัวอย่างที่มีรูปแบบการจัดวางใน ลักษณะต่างๆ และสังเกตการตอบสนองของวัสดุหลังจากนำเปลวไฟออกซึ่งการทดสอบการเผาแบบ UL94 ถูกกำหนดไว้ในมาตรฐาน ISO9772 และ 9773 โดยทั่วไปนิยมใช้รูปแบบการวางชิ้นตัวอย่าง แบบตามแนวตั้ง (Vertical Burning Test: UL94V) โดยทำการให้ความร้อนจากส่วนล่างของชิ้น ตัวอย่าง ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.9 จากนั้นสังเกตการตอบสนองของวัสดุและทำการจัดลำดับผลการ ทดสอบดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.2



รูปที่ 2.9 การทดสอบการเผาแบบ UL94V [18]

ตารางที่ 2.2 การจัดลำดับผลการทดสอบการเผาแบบ

UL94-V Rating	Duration of flaming for each flame application	Total duration of flaming for 5 samples	Dripping of flaming material
V-0 (Best)	Less than 10 sec	Less than 50 sec	None allowed
V-1 (Good)	Less than 30 sec	Less than 250 sec	None allowed
V2 (Drips)	Less than 30 sec	Less than 250 sec	Any dripping of flaming material which ignites the cotton placed below the specimen

จากตารางที่ 2.2 สามารถระบุระดับการทนไฟได้เป็น 3 ระดับ ดังนี้ คือ

- การทนไฟระดับดีที่สุด คือ UL94 V-0 ซึ่งชิ้นตัวอย่างแต่ละชิ้นติดไฟน้อยกว่า 10 วินาที จากนั้นเปลวไฟจะดับและไม่เกิดการหยดของเปลวไฟ

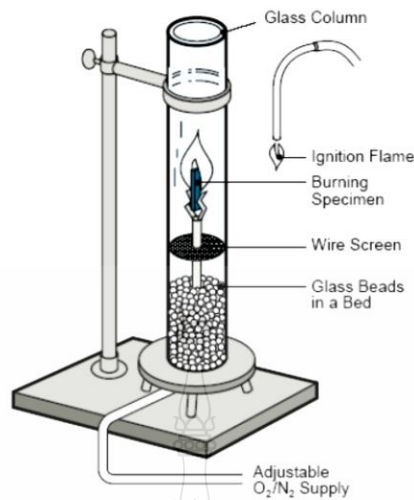
- การทนไฟระดับดี คือ UL94 V-1 ชิ้นตัวอย่างเผาไหม้ไฟน้อยกว่า 30 วินาที จากนั้นเปลวไฟดับและไม่เกิดการหยดของเปลวไฟ

- การทนไฟระดับน้อย คือ UL94 V-2 ชิ้นตัวอย่างเกิดการเผาไหม้ได้นานกว่า 30 วินาที โดยมีการหยดของเปลวไฟบนวัสดุรองรับ (สำลี) ซึ่งก่อให้เกิดการลุกไหม้ของวัสดุรองรับ

2.9.2 วิธีการทดสอบหาค่า Limiting Oxygen Index (LOI)

เป็นการทดสอบการติดไฟของวัสดุในอุปกรณ์การทดสอบที่เป็นหลอดแก้ว ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.10 ภายใต้สภาวะก๊าซไนโตรเจนผสมออกซิเจนที่อัตราส่วนต่างๆ เพื่อจะวิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจนที่น้อยที่สุดที่ชิ้นงานจะเกิดการติดไฟและลุกไหม้ต่อเนื่อง ได้ค่าปริมาณออกซิเจนที่ได้จากการทดสอบจึงเป็นค่าที่ระบุถึงความสามารถในการจุดติดไฟของวัสดุ หากค่าปริมาณออกซิเจนมีค่ามากแสดงถึงชิ้นงานต้องใช้ปริมาณออกซิเจนสูงในการเกิดการติดไฟ กล่าวคือชิ้นงานมีสมบัติการทนไฟที่ดี โดยทั่วไปปริมาณออกซิเจนในสภาวะบรรยากาศปกติจะมีค่าเท่ากับ 21% ดังนั้นหากวัสดุมีค่า LOI สูงกว่า 21% จะแสดงถึงการไม่ติดไฟของวัสดุดังกล่าวในสภาวะบรรยากาศปกติ

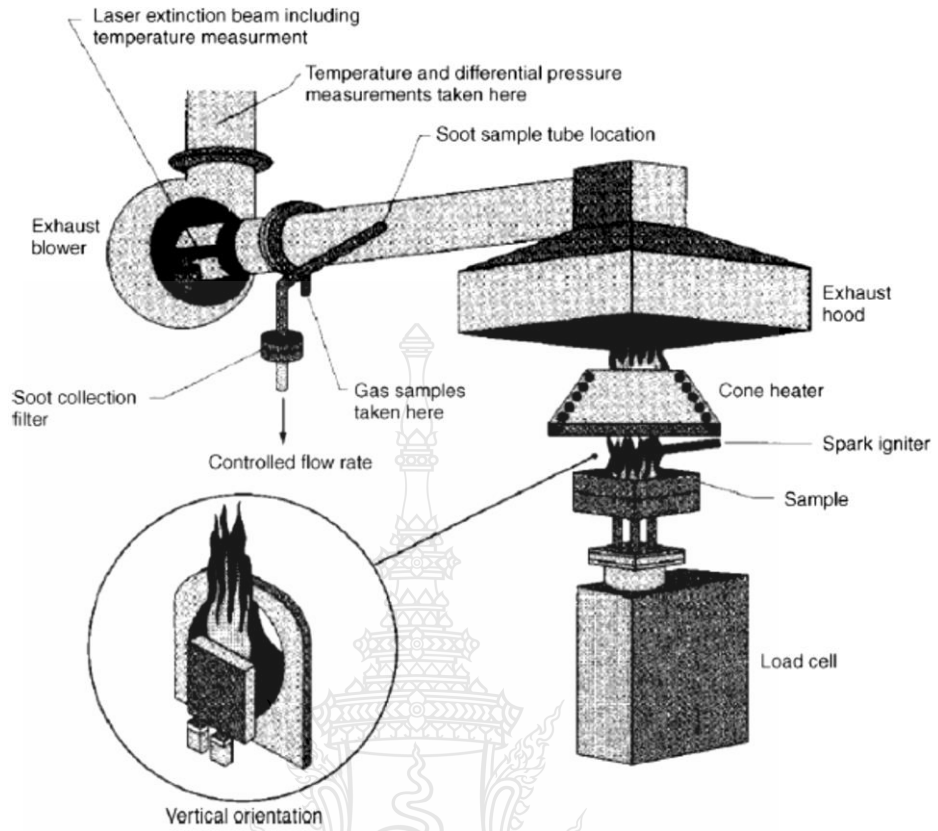




รูปที่ 2.10 อุปกรณ์การทดสอบ LOI

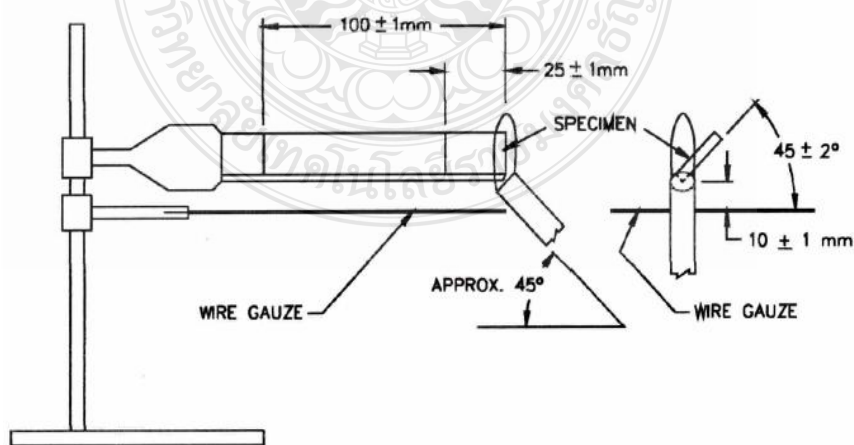
### 2.9.3 วิธีการทดสอบแบบ Cone Calorimetry (Kiliaris and Papaspyrides, 2010) [19]

เป็นการทดสอบการติดไฟตามมาตรฐาน ASTM E1354 หรือ ISO5660 โดยใช้หลักการวัดความร้อนที่ปล่อยออกจากปฏิกิริยาการเผาไหม้ ซึ่งวิเคราะห์จากปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในระหว่างการเผาไหม้ขึ้นงานในสภาวะที่มีการกำหนดการไหลของความร้อน (Defined Heat Flux) เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ เรียกว่า Cone Calorimeter ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.11 ผลที่ได้จากการทดสอบ คือ อัตราการปลดปล่อยความร้อน (Heat Release Rate: HRR) เวลาในการจุดติดไฟ (Time to Ignition: TTI) การปลดปล่อยความร้อนรวม (Total Heat Released: THR) อัตราการสูญเสียน้ำหนัก (Mass Loss Rate: MLR) โดยอัตราการปลดปล่อยความร้อน (HRR) จะคำนวณจากความสัมพันธ์ที่คงที่ระหว่างน้ำหนักออกซิเจนในอากาศที่ใช้กับปริมาณความร้อนที่ปลดปล่อยออกมาตลอดการเผาไหม้



รูปที่ 2.11 Cone Calorimeter [19]

2.9.4 วิธีการทดสอบแบบ Horizontal Burning Rate



รูปที่ 2.12 การทดสอบการเผาแบบ Horizontal Burning Rate

เป็นการทดสอบการติดไฟโดยการจุดไฟเป็นเวลา 30 วินาที หรือจนกว่าเปลวไฟจะไปถึงเส้นระยะ 25 มิลลิเมตร จากนั้นจึงทำการจับเวลา วัสดุที่จะผ่านการทดสอบระดับ HB ได้จะต้องมีคุณสมบัติตามเงื่อนไข ดังต่อไปนี้

2.9.4.1 มีอัตราการไหม้ไฟไม่เกิน 40 มิลลิเมตร/นาาที ในช่วงความยาว 75 มิลลิเมตรของชิ้นงานตัวอย่างที่มีความหนา 3.0 ถึง 13.0 มิลลิเมตร

2.9.4.2 มีอัตราการไหม้ไฟไม่เกิน 75 มิลลิเมตร/นาาที ในช่วงความยาว 75 มิลลิเมตรของชิ้นงานตัวอย่างที่มีความหนาน้อยกว่า 3.0 มิลลิเมตร

2.9.4.3 เปลวไฟดับก่อนที่จะถึงระยะ 100 มิลลิเมตร

2.9.4.4 ถ้าการทดสอบชิ้นงานจำนวน 3 ชิ้น/ชุด ไม่ผ่านการทดสอบ 1 ชิ้น จะต้องทำการทดสอบซ้ำอีก 1 ชุด ชิ้นงานทั้ง 3 ชิ้น จากการทดสอบชุดที่ 2 ต้องผ่านทั้งหมด

การทดสอบการจุดติดไฟทั้ง 4 แบบที่กล่าวมาข้างต้นเป็นวิธีการที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการระบุถึงสมบัติการทนไฟของพอลิเมอร์ แต่อย่างไรก็ตามในการประเมินสถานการณ์จริงของการจุดติดไฟของวัสดุ อาจจะต้องมีการใช้การทดสอบอื่นร่วมด้วยเพื่อให้ใกล้เคียงกับสถานการณ์จริงของวัสดุมากที่สุด ซึ่งการทดสอบการสลายตัวเนื่องจากความร้อนภายใต้บรรยากาศก๊าซไนโตรเจนและออกซิเจนด้วยเทคนิค TGA เพื่อหาอุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัวและปริมาณเถ้าที่เหลือจากการทดสอบ ซึ่งปริมาณเถ้าที่เหลือจากการทดสอบจะสามารถบ่งบอกถึงความสามารถในการทนไฟได้ ทั้งนี้เนื่องจาก เถ้าที่เกิดจากการเผาไหม้นั้นจะปกคลุมผิววัสดุและทำหน้าที่คล้ายเป็นฉนวนกันความร้อน ช่วยป้องกันการแพร่ออกของก๊าซหรือเชื้อเพลิงและการแพร่เข้าของความร้อนจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน

## 2.10 เครื่องมือขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง

เครื่องผสมยาง เครื่องผสมยางแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

2.10.1 เครื่องผสมยางแบบไม่ต่อเนื่องหรือแบบแบตช์ (Batch Mixer) ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ระบบ ได้แก่

2.10.1.1 ระบบเปิด ได้แก่ เครื่องผสมยางแบบ 2 ลูกกิ้ง (Two Roll Mill)

2.10.1.2 ระบบปิด แบ่งตามลักษณะของโรเตอร์ ออกเป็น 4 แบบ ได้แก่

- 1) เครื่องผสมระบบปิดแบบนบุรี (Banbury Internal Mixer)
- 2) เครื่องผสมระบบปิดแบบอินเตอร์มิกซ์ (Intermix Internal Mixer)
- 3) เครื่องผสมระบบปิดแบบที่ปรับระยะห่างระหว่างโรเตอร์ได้

(Variable Intermeshing Clearance Internal Mixer)

- 4) เครื่องผสมระบบปิดอื่นๆ ได้แก่ เครื่องนวดยางหรือนีดเดอร์

(Kneader)

2.10.2 เครื่องผสมยางแบบต่อเนื่อง (Continuous Mixer) ได้แก่ เครื่องผสมแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single Screw) เครื่องผสมแบบเกลียวหนอนคู่ (Twin Screw)

เครื่องผสมยางแบบ 2 ลูกกิ้ง (Two Roll Mill) เครื่องผสมยางแบบ 2 ลูกกิ้งเป็นเครื่องผสมระบบเปิด ประกอบด้วยลูกกิ้ง 2 ลูก เรียงตัวในแนวนอน ขนานกัน หมุนเข้าหากันด้วยความเร็วต่างกัน ทำให้เกิดแรงเฉือนที่จำเป็นต่อการบดผสมยางกับสารเคมียางในการผสมยางกับสารเคมียางจะใส่ยางลงช่องระหว่างลูกกิ้ง ยางจะถูกรีดออกมาเป็นแผ่น จากนั้นจึงเติมสารเคมียางลงไป โดยผู้ผสมต้องทำการกรีดยางแผ่นและพับไปมาในขณะที่เติมสารเคมีลงไป ในยาง ซึ่งยางที่ถูกตัดพับจะถูกใส่กลับไปยังช่องระหว่างลูกกิ้ง แรงเฉือนที่เกิดขึ้นจะช่วยให้สารเคมีต่างๆ กระจายตัวเข้ากับเนื้อยางได้ดีมากขึ้น

เครื่องผสมระบบปิดแบบนบุรี (Banbury Internal Mixer) โดยทั่วไปเครื่องผสมระบบปิดมีองค์ประกอบที่สำคัญ 4 ส่วน ได้แก่ ห้องผสม (Chamber) ตัวบดผสมหรือ โรเตอร์ (Rotor) แท่งกดหรือแรม (Ram) และระบบหล่อเย็น (Cooling System) เครื่องผสมระบบปิดให้ประสิทธิภาพและความรวดเร็วในการผสมมากกว่าการใช้เครื่องผสมยางแบบสองลูกกิ้งเพราะสารเคมีไม่ฟุ้งกระจายระหว่างการผสม ลดการสูญเสียสารเคมีขณะผสม และลดการผิดพลาดเนื่องจากการใช้แรงงานคนในการผสม สามารถผสมยางกับสารเคมีได้ในปริมาณสูง เช่น 50-100 กิโลกรัม โรเตอร์ทั้งสองของเครื่องผสมระบบปิดแบบนบุรีจะเป็นแบบไม่คาบเกี่ยวกัน หรือที่เรียกว่า “noninterlocking หรือ non-intermeshing” หมุนด้วยอัตราเร็วที่แตกต่างกันขึ้นกับรุ่นของเครื่องการทำงานของ เครื่องผสมเพื่อให้เกิดการผสม

คลุกเคล้าของยางกับสารเคมีส่วนใหญ่จะมาจากแรงเฉือนที่เกิดขึ้นระหว่างปีกของโรเตอร์กับผนังของห้องผสมยางและสารเคมีจะถูกบีบขนาดผสมกันในสภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิของห้องผสมอย่างเหมาะสม ทำให้สารเคมีต่างๆ กระจายตัวในยางได้ดีขึ้น

เครื่องผสมระบบปิดแบบอินเตอร์มีกซ์ (Intermix Internal Mixer) เครื่องผสมระบบปิดแบบอินเตอร์มีกซ์มีองค์ประกอบสำคัญเหมือนกับเครื่องผสมระบบปิดแบบนบุรี แต่โรเตอร์ทั้งสองของเครื่องผสมแบบนี้จะเป็นแบบคาบเกี่ยวกัน หรือที่เรียกว่า “intermeshing” หมุนด้วยอัตราเร็วที่เท่ากัน แรงเฉือนจะเกิดขึ้นที่บริเวณช่องว่างระหว่างปีกของโรเตอร์ยางและสารเคมีจะถูกบีบขนาดผสม คลุกเคล้าให้เป็นเนื้อเดียวกันในสภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิของห้องผสมและโรเตอร์ได้ดีกว่าเครื่องผสมระบบปิดแบบนบุรี จึงมีประสิทธิภาพการผสมที่สูงมาก สารตัวเติมสามารถแตกตัวและกระจายตัวในยางได้ดี แต่อย่างไรก็ตาม โรเตอร์แบบ “intermeshing” นี้มีขนาดค่อนข้างใหญ่ ทำให้ยางคอมพาวด์ที่ได้จากการผสมในแต่ละครั้งมี ปริมาณค่อนข้างน้อย จึงไม่ค่อยเป็นที่นิยม

เครื่องนวดยางหรือนีดเคอร์ (Kneader) เครื่องนวดยางหรือนีดเคอร์เป็นเครื่องผสมระบบปิดชนิดอื่นๆ ที่มีการจำหน่ายในเชิงการค้าและมีการผลิตในประเทศแถบเอเชีย แม้ว่าเครื่องนวดยางจะมีหลักการทำงานคล้ายกับเครื่องผสมระบบปิดแบบนบุรี แต่รูปแบบของโรเตอร์แตกต่างจากโรเตอร์ของเครื่องผสมระบบปิดแบบนบุรีมาก ทำให้ประสิทธิภาพในการผสมต่ำกว่าเครื่องผสมระบบปิดแบบนบุรีมาก อย่างไรก็ตามเครื่องนวดยางมีราคาต่ำกว่าเครื่องผสมระบบปิดแบบนบุรีมาก จึงเป็นที่นิยมสำหรับผู้ประกอบการไทยปัจจุบัน

### 2.10.3 การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางโดยแม่พิมพ์ (Molding)

การผลิตผลิตภัณฑ์ยางโดยใช้ระบบแม่พิมพ์เพื่อขึ้นรูปยาง เป็นการขึ้นรูปยางพร้อมๆ กับการคงรูปยาง (Vulcanization) โดยอาศัยแรงอัดและความร้อน การให้ยางคงรูปด้วยแม่พิมพ์เป็นวิธีการที่ใช้กันมากที่สุดในปัจจุบัน

แม่พิมพ์ที่ใช้ในการขึ้นรูปยางในการผลิตผลิตภัณฑ์ยางมีหลายแบบ ได้แก่

#### 2.10.3.1 แม่พิมพ์แบบกดอัด (Compression Mold)

การขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์แบบกดอัด (Compression Mold) เป็นการขึ้นรูป ที่นิยมใช้กันมากที่สุดในการผลิตเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการขึ้นรูปแบบอื่นๆ เพราะเป็นวิธีการที่ง่ายไม่ต้องลงทุนด้านเครื่องจักรสูง เครื่องกดอัดประกอบด้วยแผ่นกดอัด (platen) จำนวนอย่างน้อย 2 แผ่น (บนและล่าง) หรือมากกว่า 2 แผ่น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวิธีการออกแบบเครื่องกดอัดให้เหมาะสมกับกระบวนการผลิต การขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์กดอัด จำเป็นต้องเตรียมยางคอมพาวด์ให้มีปริมาณหรือขนาดที่เหมาะสม เพื่อลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นโดยทั่วไป น้ำหนักของยางคอมพาวด์ที่ใส่เข้าไปในแม่พิมพ์จะสูงกว่าน้ำหนักของผลิตภัณฑ์

ยางเล็กน้อย ในระหว่างการกดอัดหากทำการไล่อากาศออกไม่หมด ก็จะทำให้ชิ้นงานยางที่คงรูปที่  
ได้มีฟองอากาศอยู่ภายใน

### 2.10.3.2 เบ้าพิมพ์แบบกึ่งฉีด

หลักการของเบ้าพิมพ์แบบกึ่งฉีด คือ ยางจะอ่อนตัวและถูกอัดให้กระจายจากส่วนหนึ่งของเบ้าพิมพ์ที่  
เรียกว่า pot ไปช่องของเบ้าพิมพ์ที่เป็นรูปร่างผลิตภัณฑ์ วิธีการนี้สามารถใช้ทำผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่าง  
ซับซ้อน หรือมีชิ้นส่วนของสิ่งอื่นๆ ประกอบอยู่ภายในส่วนของผลิตภัณฑ์ หรือแม้กระทั่งผลิตภัณฑ์  
ชนิดที่มีส่วนของโลหะประกอบด้วยซึ่งชิ้นส่วนโลหะจะถูกวางยึดในช่องว่าง ของเบ้าพิมพ์และยางจะ  
ถูกฉีดให้เชื่อมติดกับส่วนที่เป็น โลหะแต่หากใช้เบ้าพิมพ์ธรรมดาโลหะอาจจะเคลื่อนที่ทำให้เกิดความ  
เสียหายกับเบ้าพิมพ์ได้

### 2.10.3.3 เบ้าพิมพ์แบบฉีด

เบ้าพิมพ์แบบนี้อาจถือว่าพัฒนามาจากเบ้าพิมพ์แบบกึ่งฉีด เครื่องที่ใช้อัดยาง เข้าไปในเบ้าพิมพ์อาจใช้  
ชนิดสกรูหรือชนิดลูกสูบ ซึ่งลักษณะตัวเครื่องฉีดมีทั้งแบบแนวตรงและแนวราบ เป็นเครื่องที่มี  
หลักการเดียวกันกับเครื่องฉีดเทอร์โมพลาสติก ยางที่ถูกป้อนเข้าไปในเครื่องฉีดอาจอยู่ในลักษณะที่  
เป็นรีวหรือชิ้นเล็กๆ

## 2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.11.1 จากผลงานวิจัยที่ศึกษาถึงการใช้เส้นใยธรรมชาติผสมในยางธรรมชาติ

Hanafi [21] ได้ทำการศึกษาผลของสารควบคู่ไซเลนต่อการ cure และสมบัติเชิงกลของเส้น  
ใยไฟที่ใช้เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ จากการศึกษาพบว่า ค่า Scorch time ( $T_{s_2}$ ) และค่า Cure time  
( $T_{c_{90}}$ ) ของยางคอมพอสิตมีค่าลดลงเมื่อมีปริมาณเส้นใยไฟเพิ่มขึ้น ส่วนผลจากการใช้สารควบคู่ไซเลน  
Si 69 พบว่า ค่าความหนืดมูนนี้มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยไฟเพิ่มขึ้น การใช้สารควบคู่ไซเลน 69  
สามารถปรับปรุงการยึดติดระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์ยางและสมบัติเชิงกลของคอมพอสิตเพิ่มขึ้น  
ด้วย

Huang Gu [22] พฤติกรรมของคอมพอสิตหลังจากได้รับการปรับปรุงด้วย NaOH โดยเส้น  
ใยมะพร้าวถูกตัดแปรด้วย NaOH ที่มีความเข้มข้นที่แตกต่างกัน 2 4 6 8 และ 10% โดยน้ำหนัก เป็น  
เวลา 24 ชั่วโมง พบว่าการใช้ NaOH สามารถเพิ่มความสามารถในการยึดติดระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์  
ส่งผลให้สมบัติแรงดึงมากขึ้น โดยจากการทดลอง พบว่า ที่ค่าความเข้มข้นมาก จะทำให้เส้นใย  
เสื่อมสภาพ แต่เมื่อลดความเข้มข้นของ NaOH ลดลง ที่ 8% หรือต่ำกว่านี้ความทนทานต่อแรงดึงของ  
วัสดุผสมจะสูงขึ้น

F.Z. Arrakhiza [23] ได้ทำการศึกษาค่าการเข้ากันของเส้นใยพอลิเอทิลีนกับ LDPE และในงานวิจัยนี้ ได้ทำการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยพอลิเอทิลีนด้วยอัลคาไลเซชัน เมื่อเส้นใยพอลิเอทิลีนที่ถูกปรับปรุงพื้นผิวแล้ว จึงนำมาผสมกับ LDPE ซึ่งผลจากการศึกษา สมบัติเชิงกลของวัสดุมีค่าเพิ่มขึ้น แต่เมื่อทำการเพิ่ม ปริมาณเส้นใยลงไปส่งผลให้สมบัติเชิงกล ได้แก่ ค่าการทนทานต่อแรงดึงและค่า Elongation at break มีค่าลดลง แต่ในส่วนของคุณสมบัติเชิงกลค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับตัว LDPE ที่ไม่ได้มีการเติมเส้นใยลงไป

Mohd Edeerozey [24] ได้ทำการศึกษาค่าการเปลี่ยนแปลงเส้นใยพอลิเอทิลีนโดยการนำเส้นใยมาทำการคัดแปรด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 3, 6 และ 9 % โดยน้ำหนัก พบว่า ผลจากการทดสอบทางกลตามมาตรฐานพบว่าเส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลเซชันด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ให้ประสิทธิภาพที่ไม่ดีในการกำจัดสิ่งเจือปนที่พื้นผิวของเส้นใย แต่ที่ความเข้มข้น 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พื้นผิวของเส้นใยสะอาดที่สุด แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ค่าความทนทานต่อแรงดึงจะไม่ดี เนื่องมาจากตัวเส้นใยเกิดการเสื่อมสภาพ โดยความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ให้ค่าความทนทานต่อแรงดึงของเส้นใยสูงที่สุดคือ 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

Maya Jacob [25] ได้ทำการศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมคอมโพสิตระหว่างยางธรรมชาติเสริมแรงด้วยเส้นใยป่านศรนารายณ์ / พอลิเอทิลีน โดยศึกษาผลกระทบการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน ได้แก่ 0.5, 1, 2, 4 และ 10% ศึกษาสมบัติเชิงกลของเส้นใย ศึกษาความยาวของเส้นใยและศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิต จากการศึกษาค้นพบว่าการปรับปรุงพื้นผิวด้วยด่างจะเพิ่มการยึดเกาะระหว่างยางกับเส้นใยได้ส่วนสมบัติเชิงกลของเส้นใยพบว่า เส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยด่างมีสมบัติความทนทานแรงดึงที่ดีกว่าเส้นใยที่ไม่ได้รับการปรับปรุงพื้นผิวส่วนสมบัติเชิงกลพบว่าเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้นค่าความต้านทานแรงดึงและความต้านทานต่อการฉีกขาดลดลง แต่โมดูลัสของคอมโพสิตมีค่าเพิ่มขึ้น

### 2.11.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสารป้องกันการติดไฟ

การใช้สารทนไฟ MH ในการปรับปรุงสมบัติการทนไฟของพอลิเมอร์ ได้รับความนิยมนิยมนในภาคอุตสาหกรรมเนื่องจากไม่เป็นพิษต่อผู้ใช้งานและสิ่งแวดล้อม และต้นทุนต่ำ จากผลงานวิจัยที่ศึกษาถึงการนำสารทนไฟ MH ในพอลิเมอร์ พบว่าสารตัวเติมทนไฟ MH มีอิทธิพลอย่างมากต่อสมบัติความเสถียรต่อความร้อนและสมบัติการทนไฟของพอลิเมอร์

Sain [26] ได้ทำการศึกษาความสามารถในการติดไฟของวัสดุคอมโพสิตระหว่าง โพลีโพรพิลีน จีลีโอ / แกลบด้วยแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์และศึกษาผลของการหน่วงการติดไฟ จาก ผลการศึกษาอัตราการเผาไหม้ในแนวนอน พบว่า การใช้แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ (MH) ในพอลิโพร พิลีนในปริมาณ 25 phr ส่งผลให้ลดการติดไฟของพอลิโพรพิลีนได้อย่างมีประสิทธิภาพประมาณ 50% ของเส้นใยธรรมชาติที่เติมในวัสดุคอมโพสิตโพรพิลีน อีกทั้งการใช้แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ ยังให้สมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น

Rothon and Hornsby [27] รายงานไว้ว่า MH เป็นสารทนไฟซึ่งให้ผลการทนไฟในระดับสูง ซึ่งการใช้ MH ในเอทิลีนไวนิลอะซีเตทพบว่าจะต้องใช้ออกซิเจนในปริมาณที่มากขึ้นเพื่อให้เกิดการ ลูกไหม้ แสดงว่าพอลิเมอร์สามารถทนไฟมากขึ้น ในทำนองเดียวกันการใช้ MH ในพอลิโพรพิลีนจะ ทำให้มีอัตราการปลดปล่อยความร้อนลดลงและมีปริมาณควันลดลง และการใช้ในพอลิเอไมด์ทำให้ การทนไฟอยู่ในระดับที่ดี

Bahattab [28] ได้เตรียมคอมโพสิตของเอทิลีนไวนิลอะซีเตท (EVA) ผสมกับพอลิเอทิลีน ความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene, LDPE) สำหรับการประยุกต์ใช้ทำสายไฟและสายเคเบิล โดยใช้ไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์ (DCP) และเปรียบเทียบการใช้สารทนไฟ ATH และ MH ต่อสมบัติ เชิงกล สมบัติเชิงความร้อนและสมบัติการทนไฟ ผลจากการทดลอง พบว่า พอลิเมอร์คอมโพสิตของ EVA กับ LDPE ที่ใช้สารทนไฟ MH จะให้สมบัติที่ดีกว่าการใช้สารทนไฟ ATH กล่าวคือ เมื่อ เปรียบเทียบระหว่างการใช้สารทนไฟ MH ในคอมโพสิตกับการใช้สารทนไฟ ATH ในคอมโพสิต จะ สังเกตเห็นว่า คอมโพสิตที่ใช้สารทนไฟ MH มีค่าความต้านทานต่อแรงดึงเพิ่มขึ้น 38% ความสามารถในการ ดึงยืดเพิ่มขึ้น 53% มีค่า LOI เพิ่มขึ้น 2.3% เมื่อเทียบกับคอมโพสิตที่ใช้สารทนไฟ ATH

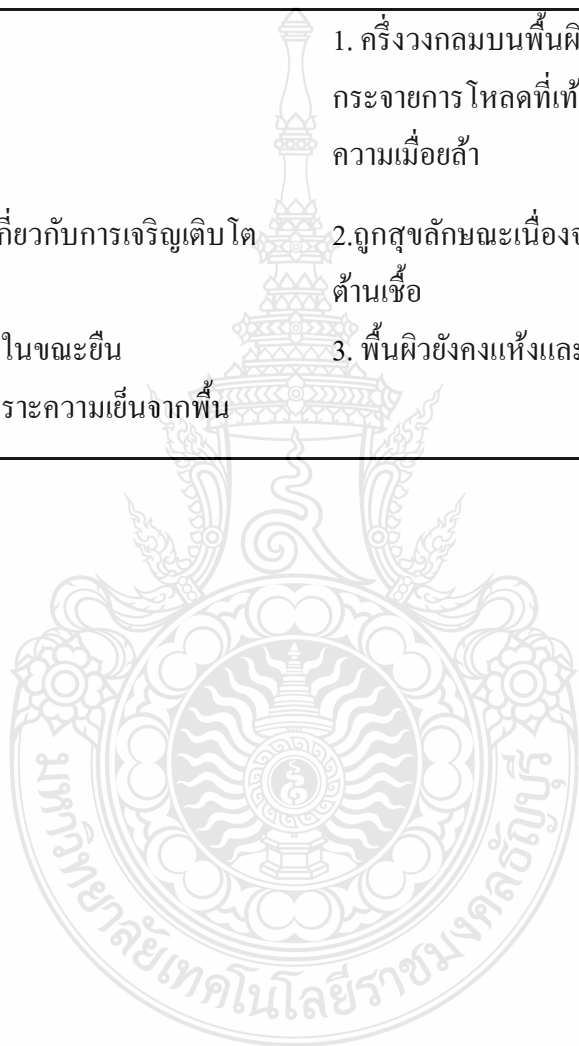


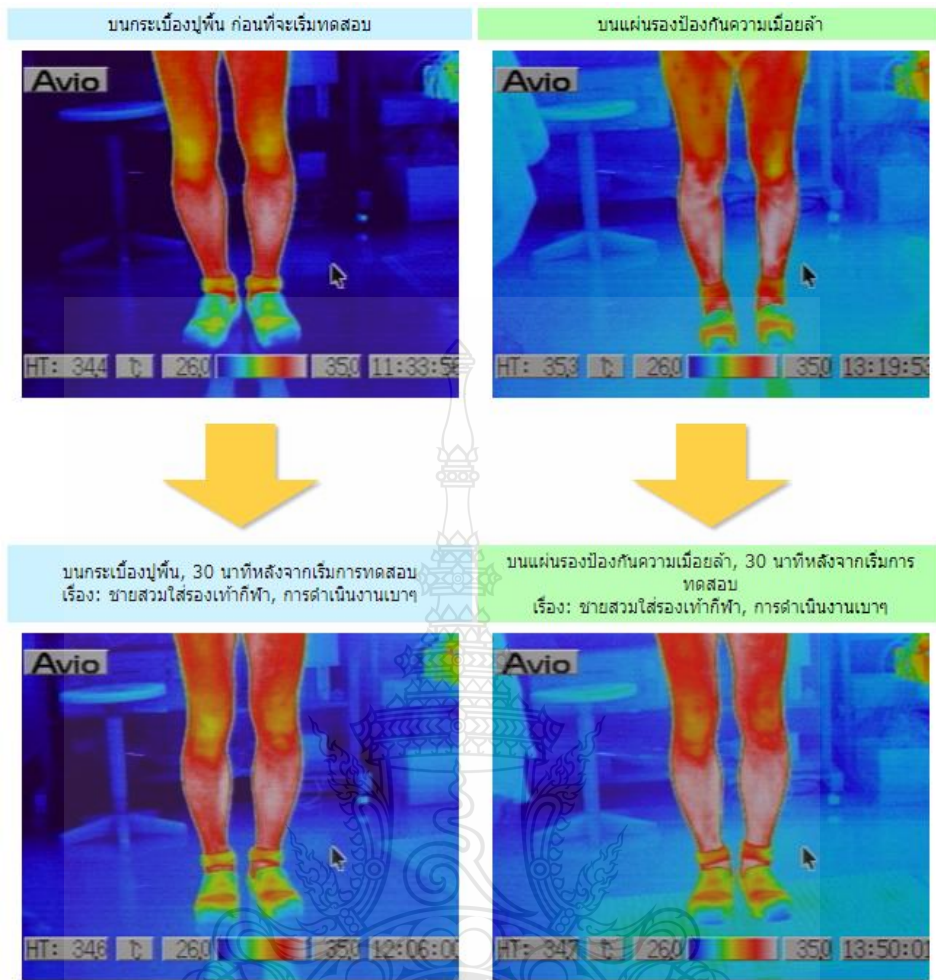
### 2.11.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแผ่นรองป้องกันการเมื่อยล้า [29]

ปัจจัยที่ใช้ในการตัดสินใจในการลดภาระจากการยืนทำงาน

ด้านความคิดเห็นและผลกระทบของแผ่นรอง

ความคิดเห็นภาคสนาม	ผลกระทบของแผ่นรอง
1. ขาของฉันเมื่อยล้า	1. ครั้งวงกลมบนพื้นผิวของแผ่นรองจะช่วยกระจายการไหลคที่เท้าและขาซึ่งจะช่วยลดความเมื่อยล้า
2. ฉันค่อนข้างกังวลเกี่ยวกับการเจริญเติบโตของเชื้อรา	2. ถูกสุขลักษณะเนื่องจากการรวมกันของตัวด้านเชื้อ
3. ฉันไม่อยากทำงานในขณะยืน	3. พื้นผิวยังคงแห้งและเป็นผลทำให้สะอาด
4. ขาของฉันหนาวเพราะความเย็นจากพื้น	





สถานที่ทดสอบ: สถาบันวิจัยเทคโนโลยีเพื่ออุตสาหกรรมแห่งนครมหาโคเกีย	สถานที่ทดสอบ: สถาบันวิจัยเทคโนโลยีเพื่ออุตสาหกรรมแห่งนครมหาโคเกีย
อุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ : AVIO TVS-700	อุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ : AVIO TVS-700
ไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่เห็นได้ในอุณหภูมิพื้นผิวหนังบนกระเบื้องปูพื้น	ใช้แผ่นรองป้องกันการความเมื่อยล้า จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิพื้นผิวหนังได้เพิ่มขึ้น
ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิพื้นผิวดังนั้นจึงสามารถสันนิษฐานได้ว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยในการไหลเวียนของเลือด	เมื่ออุณหภูมิผิวที่เพิ่มขึ้น สามารถสันนิษฐานได้ว่าการไหลเวียนของเลือดดีขึ้นดีขึ้น



## บทที่ 3

### ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

#### 3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

##### 3.1.1 ยางและสารเคมี

3.1.1.1 ยางธรรมชาติ (Natural rubber) ยางธรรมชาติชนิดแผ่นรมควันชั้น 3 (RSS#3) มีลักษณะเป็นแผ่นสีน้ำตาล

3.1.1.2 ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide, ZnO) มีลักษณะเป็นผงสีขาว ใช้เป็นสารกระตุ้นปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์

3.1.1.3 กรดสเตียริก (Stearic acid) มีลักษณะเป็นเกล็ดสีขาวขุ่น ใช้เป็นสารกระตุ้นปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์

3.1.1.4 Mercaptobenzothiazole MBT มีลักษณะเป็นผงสีเหลือง ใช้เป็นสารตัวเร่งปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์

3.1.1.5 กำมะถัน (Sulphur) ลักษณะเป็นผงละเอียดสีเหลือง ทำหน้าที่เป็นสารวัลคาไนซ์

3.1.1.6 น้ำมันพาราฟินิก (Parafinic oil) น้ำมันพาราฟินิกเป็นสารช่วยในกระบวนการแปรรูป ทำให้ยางแปรรูปได้ง่ายขึ้นและช่วยให้สารเคมีกระจายตัวได้ดีขึ้น มีลักษณะเป็นของเหลวใส มีค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 40°C เท่ากับ 19.7 เซนติสโตก และมีค่าความถ่วงจำเพาะที่อุณหภูมิ 15°C เท่ากับ 0.86

3.1.1.7 สารป้องกันการเสื่อม (Antioxidant) Butylated Hydroxytoluene, BHT มีลักษณะเป็นเม็ดเล็กๆ สีขาว ใช้เป็นสารแอนติออกซิแดนท์

3.1.1.8 เส้นใยมะพร้าว (Coir fiber) เป็นของเหลือจากการเกษตร

3.1.1.9 แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ (Magnesium hydroxide, MH) มีลักษณะเป็นผงสีขาว ทำหน้าที่เป็นสารตัวเติมอนินทรีย์เพื่อเพิ่มความสามารถในการทนไฟของพอลิเมอร์ มีความถ่วงจำเพาะประมาณ 2.4 g/cm<sup>3</sup> ไม่ละลายน้ำ มีความเป็นกรด - ด่าง 10.5

## 3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

### 3.2.1 เครื่องบดผสมสองลูกกลิ้ง (Two roll mill)

เครื่องบดผสมสองลูกกลิ้งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้บดผสมยางและสารเคมีเข้าด้วยกัน ซึ่งประกอบด้วยลูกกลิ้ง 2 ลูก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว ความยาวของลูกกลิ้ง 14 นิ้ว ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.1 สามารถควบคุมอุณหภูมิของลูกกลิ้งได้ อัตราส่วนความเร็วของลูกกลิ้งหน้าต่อลูกกลิ้งหลัง (Friction ratio) 1:1:25



### รูปที่ 3.1 เครื่องผสมยางสองลูกกลิ้ง

### 3.2.2 เครื่องทดสอบลักษณะการวัดคาโนซ์ (Oscillating disk rheometer, ODR)

รุ่น ODR 2000 เป็นเครื่องมือที่ใช้หาเวลาสุกของยาง ประกอบด้วยโรเตอร์ (Rotor) แบบ Biconical disk ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.3996 นิ้ว หมุนในยางที่ต้องการหาเวลาการวัดคาโนซ์ โดยการแกว่งกลับไป - มาทำมุม 1 องศา มีความถี่ในการแกว่ง 100 รอบ/นาที ลักษณะของเครื่อง ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.2 (ผลิตโดยบริษัท SPRI Ltd., ประเทศอังกฤษ)



รูปที่ 3.2 เครื่อง Oscillating disk rheometer, ODR 2000

### 3.2.3 เครื่องอัดแป้งไฮโดรลิก (Compression molding machine)

เป็นเครื่องอัดสองชั้นขนาดแผ่นอัด 16x16 ตารางนิ้ว ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.3ให้ความร้อนด้วยระบบไฟฟ้า สามารถปรับอุณหภูมิได้ถึง 399°C ความดันที่ใช้อัดสูงสุด 6000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (ผลิตโดย หจก. ชัยเจริญการช่าง กรุงเทพมหานคร)



รูปที่ 3.3 เครื่องอัดแป้งไฮโดรลิก



3.2.4 เครื่องวัดความแข็ง (Hardness tester) เป็นเครื่องวัดความแข็งแบบ Shore durometer ใช้วัดความแข็งของชิ้นทดสอบ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.4 (ผลิตโดย บริษัท H.W. Wallace & Croydon Company Limited ประเทศอังกฤษ)



รูปที่ 3.4 เครื่องวัดความแข็งแบบ Shore durometer

3.2.5 เครื่องมือการทดสอบความทนทานต่อแรงดึง (Universal testing machine)



รูปที่ 3.5 เครื่องมือการทดสอบความทนทานต่อแรงดึง

### 3.2.6 เครื่องทดสอบลักษณะสัณฐานวิทยา (Scanning electron microscopy, SEM)



รูปที่ 3.6 เครื่องทดสอบลักษณะสัณฐานวิทยา

### 3.2.7 การทดสอบตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันเคมีด้วยเครื่อง (Fourier transform infrared spectroscopy, FTIR)

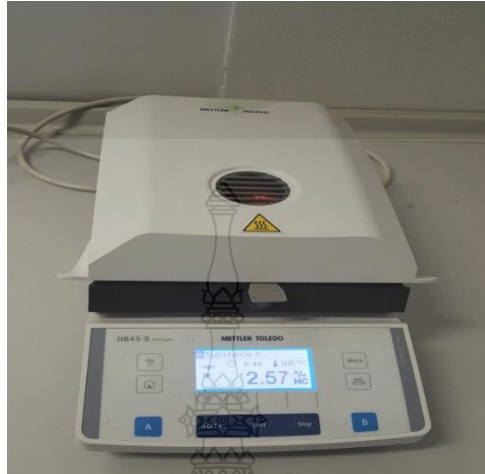
ตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันเคมีด้วยเครื่อง FTIR ทดสอบเส้นใยที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิวและเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงผิว ในช่วงเลขคลื่น (wave number) โดยทำการวิเคราะห์ในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง  $4,000 - 400 \text{ cm}^{-1}$



รูปที่ 3.7 เครื่องทดสอบตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันเคมี



3.2.8 เครื่องวิเคราะห์ความชื้น ของบริษัท METTLER TOLEDO รุ่น : HB43-S Halogen



รูปที่ 3.8 เครื่องวิเคราะห์ความชื้น

3.2.9 เครื่องทดสอบการลามไฟ (Flammable tester) ยี่ห้อ CEAST รุ่น TYPE G151  
SERIAL 12385



รูปที่ 3.9 เครื่องทดสอบการลามไฟ

### 3.2.10 กล้องจับความร้อน ยี่ห้อ JENOPTIK infartec รุ่น Vario CAM

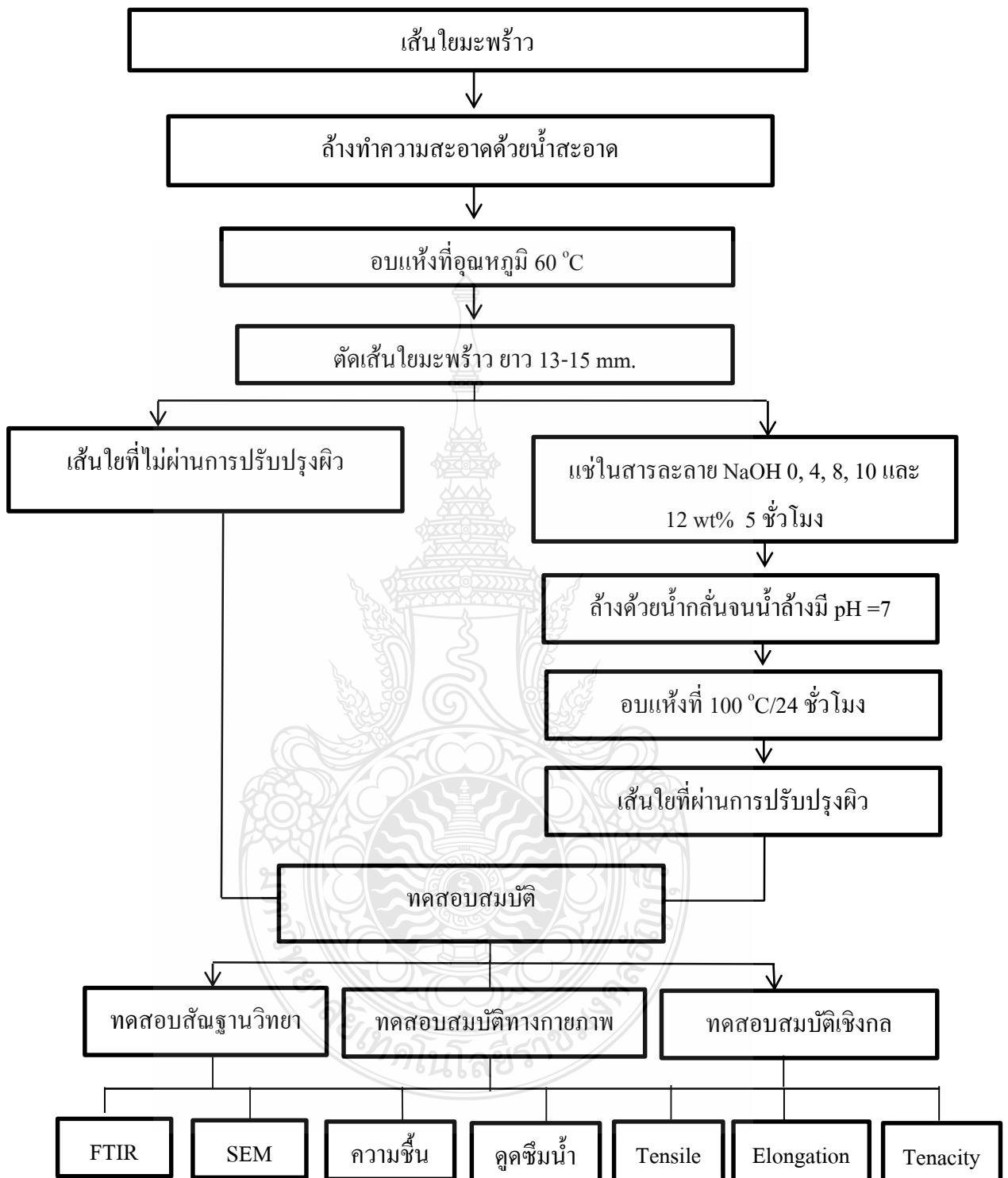


### รูปที่ 3.10 กล้องจับความร้อน

## 3.3 ขั้นตอนในการทดลอง

### 3.3.1 การเตรียมเส้นใยมะพร้าว

ในขั้นตอนแรกล้างเส้นใยมะพร้าวให้สะอาดแช่ในน้ำ 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้องจากนั้นทำความสะอาดโดยการแช่สารละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น 0, 4, 8, 10 และ 12 wt% ที่เวลา 5 ชั่วโมง จากนั้นทำการล้างเส้นใยจนมีค่า pH เป็น 7 แล้วนำเข้าตู้อบเพื่อทำการไล่ความชื้นออกจากเส้นใยที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมาตัดให้มีขนาด 15 mm.



รูปที่ 3.11 ขั้นตอนการเตรียมเส้นใยมะพร้าว

### 3.4 สูตรยางคอมปาวด์ (Rubber compounding formular)

#### 3.4.1 เตรียมยางคอมปาวด์ผสมเส้นใยมะพร้าว

โดยใช้เส้นใยมะพร้าวที่เตรียมจากหัวข้อ 3.3.1 ทำการแปรปริมาณของเส้นใยมะพร้าวที่ 40, 60, 80 และ 100 phr ตามลำดับ โดยใช้สูตรการเตรียมยางคอมปาวด์ ดังแสดงในตารางที่ 3.1

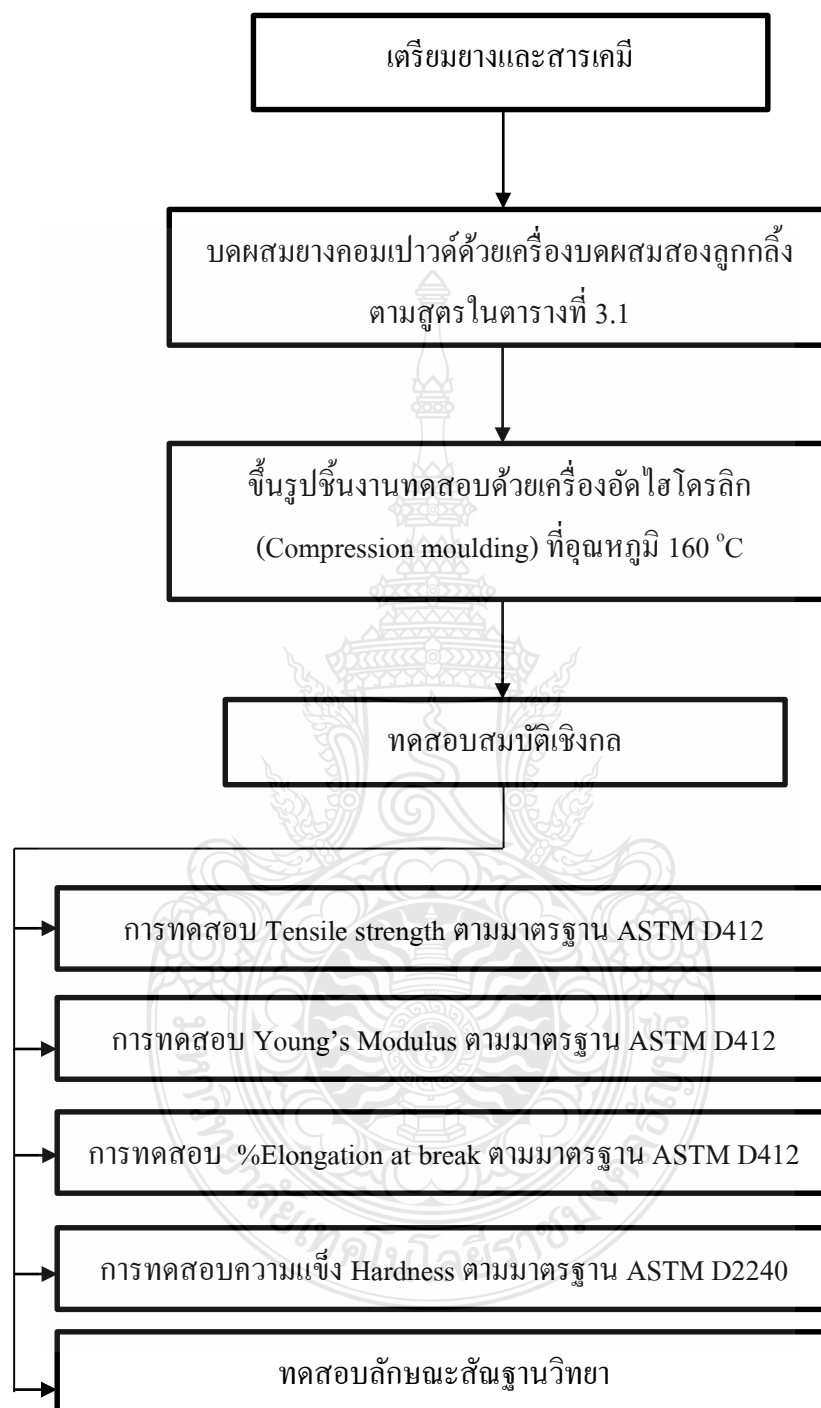
นำยางธรรมชาติ RSS#3 ผสมกับสารเคมีและเส้นใยมะพร้าวตามปริมาณดังนี้ คือ 40, 60, 80 และ 100 phr ตามลำดับ ทำการผสมด้วย เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two roll mill) หลังจากที่ผสมจนเข้ากันแล้ว พักยางไว้ที่อุณหภูมิห้องเวลา 24 ชั่วโมง เตรียมขึ้นรูปแผ่นยางคอมโพสิต นำคอมปาวด์ที่ได้ไปอัดด้วยเครื่องอัดเป่าไฮโดรลิก (Compression molding) ที่อุณหภูมิ 160°C ตามระยะเวลาของ Optimum Cure ( $T_{c90}$ ) ที่ได้จากการทดสอบสมบัติการวัลคาไนซ์ด้วยเครื่อง ODR 2000 ความดันของกระบอกไฮโดรลิกเท่ากับ 1500 psi จากนั้นตั้งยางทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 16 ชั่วโมงก่อนนำไปทดสอบสมบัติต่างๆ

ตารางที่ 3.1 สูตรยางคอมปาวด์ที่ใช้ในการศึกษาอิทธิพลของเส้นใยมะพร้าว

สารเคมี	ปริมาณ (phr)				
	1	2	3	4	5
RSS#3	100	100	100	100	100
ZnO	5	5	5	5	5
Stearic acid	1	1	1	1	1
MBT	1	1	1	1	1
BHT	1	1	1	1	1
Paraffinic oil	5	5	5	5	5
Sulphur	3	3	3	3	3
Coir fiber	-	40	60	80	100

หมายเหตุ คัดเลือกปริมาณเส้นใยมะพร้าวที่เหมาะสม ที่ทำให้ยางแผ่นกันเมื่อมีสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด

ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมยางคอมปาวด์ผสมเส้นใยมะพร้าว



รูปที่ 3.12 การเตรียมยางคอมปาวด์ผสมเส้นใยมะพร้าว

### 3.4.2 เตรียมยางคอมปาวด์ผสมเส้นใยมะพร้าวและสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์

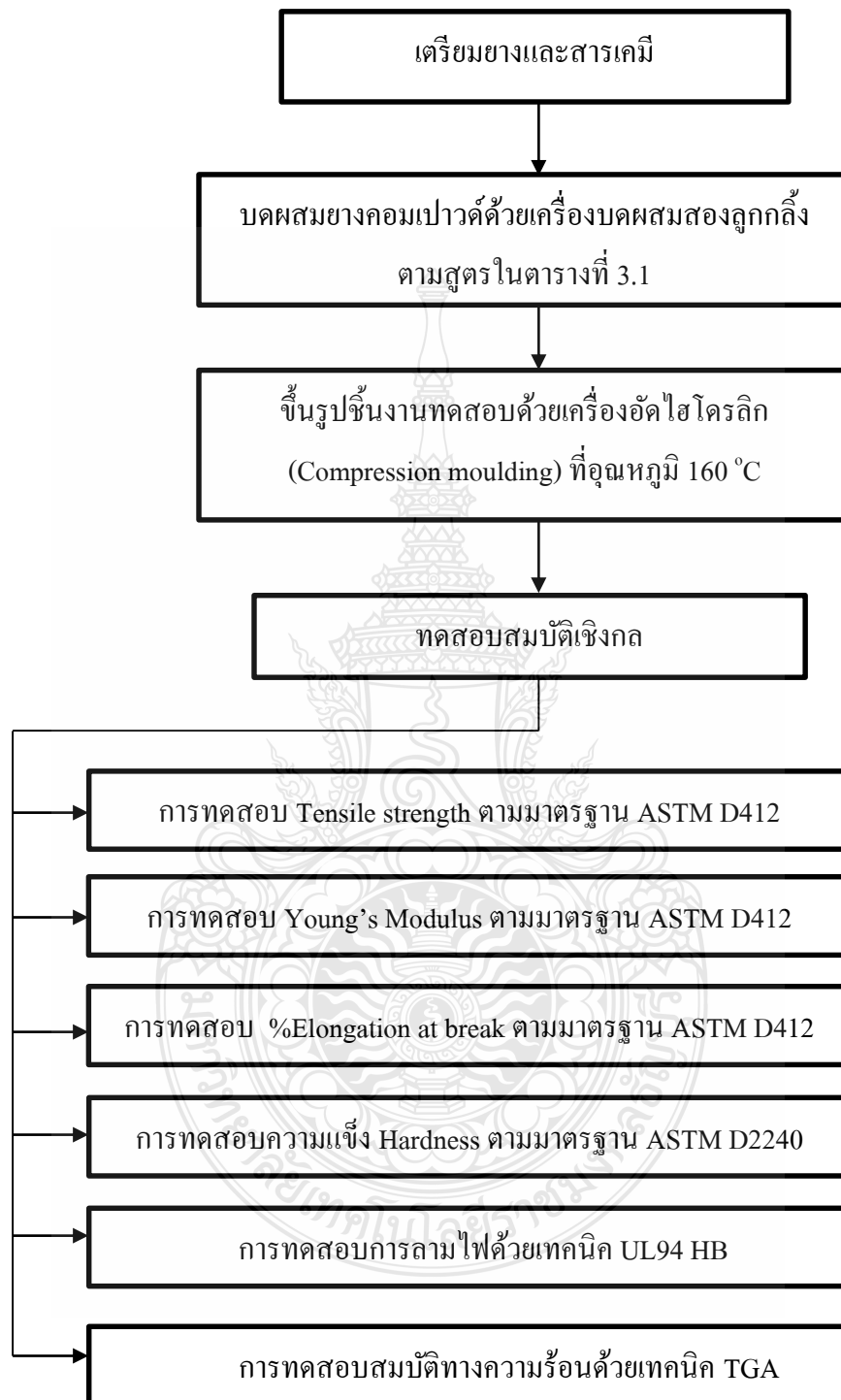
โดยใช้เส้นใยมะพร้าวที่เตรียมจากหัวข้อ 3.3.1 ทำการแปรปริมาณของสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ที่ 30, 60, 90 และ 120 phr ตามลำดับ โดยใช้สูตรการเตรียมยางคอมปาวด์ดังแสดงในตารางที่ 3.2

นำยางธรรมชาติ RSS#3 ผสมกับเส้นใยมะพร้าวและสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ตามปริมาณดังนี้ คือ 30, 60, 90 และ 120 phr ตามลำดับ ทำการผสมด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two roll mill) หลังจากที่ผสมจนเข้ากันแล้ว นำไปขึ้นเป็นแผ่นโดยเครื่องอัดเบ้าแบบไฮดรอลิก (Compression molding) ตามระยะเวลาของ Optimum Cure ( $T_{90}$ ) ที่ได้จากการทดสอบสมบัติ การวัลคาไนซ์ด้วยเครื่อง ODR 2000 ความดันของกระบอกไฮดรอลิกเท่ากับ 1500 psi จากนั้นตั้งยางทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 16 ชั่วโมง ก่อนนำไปทดสอบสมบัติต่างๆ

ตารางที่ 3.2 สูตรยางคอมปาวด์ที่แปรปริมาณแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์

สารเคมี	ปริมาณ (phr)
RSS #3	100
ZnO	5
Stearic acid	1
MBT	1
BHT	1
Paraffinic oil	5
MH	0, 30, 60, 90 และ 120
Sulphur	3
Coir fiber	60

ขั้นตอนที่ 2 การผสมยางคอมปาวด์ผสมเส้นใยมะพร้าวและสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์



รูปที่ 3.13 การเตรียมยางคอมปาวด์ผสมเส้นใยมะพร้าวและสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์

### 3.5 วิธีการขึ้นรูปและทดสอบ

#### 3.5.1 การทดสอบแรงดึงเส้นใย

##### 3.5.1.1 วัสดุและอุปกรณ์

- เครื่องทดสอบการทนแรงดึงเส้นใย
- เส้นใยที่มีความยาวประมาณ 45 เซนติเมตร

##### 3.5.5.2 วิธีการทดลอง

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

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

การคำนวณค่าความเหนียวของเส้นใย

สูตรการคำนวณค่าความเหนียวของเส้นใย คือ

$$\text{Tenacity} = \frac{\text{Max. load}}{\text{Yarn number}} \quad (3.1)$$

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

#### 3.5.2 การวิเคราะห์ความชื้นของเส้นใย

##### 3.5.2.1 วัสดุและอุปกรณ์

- เครื่องวิเคราะห์ความชื้น
- เส้นใย 2.6-3.5 กรัมต่อ การทดสอบ 1 ครั้ง



### 3.5.2.2 วิธีการทดลอง

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

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

### 3.5.3 การวิเคราะห์การดูดซึมน้ำของเส้นใย

#### 3.5.3.1 วัสดุและอุปกรณ์

- เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
- เส้นใย
- ขวดใส่ตัวอย่าง

#### 3.5.3.2 วิธีการทดลอง

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

$$\% \text{ การดูดซึมน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักหลังจุ่มน้ำ} - \text{น้ำหนักก่อนจุ่มน้ำ}}{\text{น้ำหนักก่อนจุ่มน้ำ}} \times 100 \quad (3.2)$$

### 3.5.4 การทดสอบสมบัติทางกายภาพสัณฐานวิทยา (Scanning Electron Microscopy, SEM)

#### 3.5.4.1 วัสดุอุปกรณ์

- เครื่องเคลือบตัวอย่างทดสอบด้วยทอง
- เครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
- ชั่งงานทดสอบ

#### 3.5.4.2 วิธีการทดลอง

- เคลือบชิ้นงานด้วยเครื่องเคลือบตัวอย่างทดสอบ
  - นำชิ้นงานที่เคลือบทองแล้วใส่ในช่องใส่ตัวอย่างของเครื่อง – ตั้งค่ากำลังขยาย แรงดันไฟฟ้า
  - เลือกตำแหน่งที่ต้องการถ่ายพร้อมปรับความคมชัดของภาพแล้ว
- กดถ่ายในการศึกษาครั้งนี้จะใช้กำลังการขยายภาพที่ 100, 500, 2000, 4000 เท่า

### 3.5.5 สมบัติการวัลคาไนซ์ และการเตรียมชิ้นทดสอบ

ทดสอบสมบัติการวัลคาไนซ์อย่างผสมสารเคมีด้วยเครื่อง ODR 2000 ที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นนำยางคอมปาวด์ที่เตรียมได้ มารีดผ่านลูกกลิ้งให้ความหนาเท่ากับช่องว่างของแม่พิมพ์ โดยทำเครื่องหมายแนวทางการรีดออกจากลูกกลิ้ง (Grain) แล้วตัดยางคอมปาวด์ให้ได้ตามขนาดของช่องว่างของแม่พิมพ์ นำไปอัดเป็นชิ้นทดสอบด้วยเครื่องไฮดรอลิกที่อุณหภูมิ 150°C ใช้ความดันกระทำต่อแม่พิมพ์เท่ากับ 1500 psi ใช้เวลาในการวัลคาไนซ์ที่ได้จากข้อมูลของเครื่อง ODR 2000 หลังจากนั้นตั้งขึ้นทดสอบให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

$$\text{Cure time} = \text{ML} + 90[\text{ML} - \text{MH}]/100 \quad (3.3)$$

$$\text{Cure Rate Index (CRI)} = 100 / (\text{Cure time} - \text{Scorch time}) \quad (3.4)$$

โดยที่

$T_{s_1}$  = เวลาที่ค่าแรงบิด สูงกว่าค่าต่ำสุด 1 หน่วย (ใช้มุมในการบิด 1 องศา)

ML = ค่าแรงบิดต่ำสุด

MH = ค่าแรงบิดสูงสุด

### 3.5.6 การทดสอบสมบัติด้านการต้านทานต่อแรงดึง (Tensile properties)

นำชิ้นตัวอย่างตัดเป็นชิ้นทดสอบรูปดัมเบล โดยใช้หัวตัด (die) ชนิด C ตามมาตรฐาน ASTM D 412 นำชิ้นทดสอบวัดความหนาและความกว้าง ทำเครื่องหมาย 2 ตำแหน่งบนส่วนที่แคบที่สุดของชิ้นทดสอบ โดยให้มีระยะห่างเท่ากับ 2.00 cm. ดึงด้วยเครื่องเทนโซมิเตอร์ (Tensometer) ด้วยความเร็ว 500 mm/min คำนวณค่าความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile strength) และความสามารถในการยืดจนขาด (Elongation at break) ดังสมการ 3.5, 3.6, และ 3.7

$$\% \text{ Modulus} = F/A \quad (3.5)$$

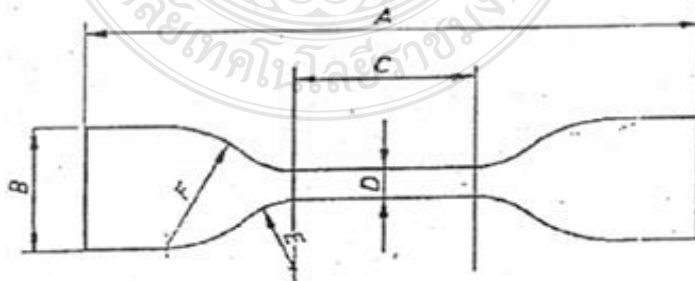
เมื่อ  $F$  = แรงดึงที่ใช้ในการดึงยางให้ยืดออกเป็นระยะต่างๆกัน  
 $A$  = พื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบ (ตารางมิลลิเมตร)

$$\text{Tensile strength (MPa)} = F/A \quad (3.6)$$

เมื่อ  $F$  = แรงดึงที่ใช้ในการดึงยางจนขาด  
 $A$  = พื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบ (ตารางมิลลิเมตร)

$$\text{Elongation at break (\%)} = (L-L_0)/L_0 \times 100 \quad (3.7)$$

เมื่อ  $L_0$  = ระยะก่อนยืด (เซนติเมตร)  
 $L$  = ระยะยืดที่ชิ้นทดสอบขาด (เซนติเมตร)

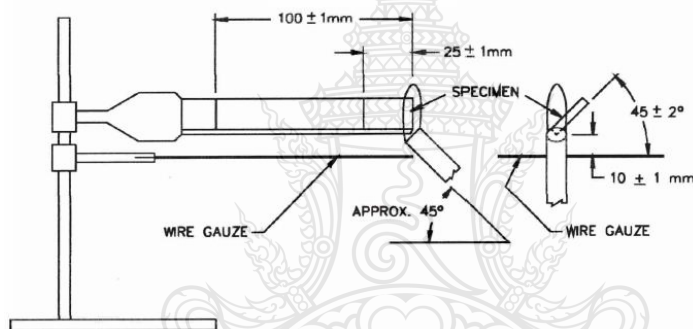


รูปที่ 3.14 ชิ้นทดสอบรูปดัมเบล (die) ชนิด C

### 3.5.7 การทดสอบความแข็ง (Hardness)

ทดสอบสมบัติด้านความแข็งแบบ Shore A ตามมาตรฐาน ASTM D2240 - 86 โดยใช้  
ชิ้นทดสอบรูปทรงกระบอกที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร หนา 10 เซนติเมตร กดยางให้  
เป็นสัมผัสหน้ายางแบบสนิท โดยกดเป็นเวลานาน 30 วินาที อ่านค่าที่ความแข็งที่วัดได้ รายงานผล  
เป็นหน่วย Shore A

3.5.8 วิธีการทดสอบอัตราการเผาไหม้ (Rate of burning test) (ASTM D 635) โดยใช้เครื่อง  
ทดสอบ Horizontal burning tester (ATLAS) ชิ้นงานจะถูกวางในแนวนอนและทำการเผาชิ้นงานด้วย  
ไฟ เริ่มจับเวลาของการทดสอบเมื่อเปลวไฟไหม้จนถึงตำแหน่ง 25 มิลลิเมตรจากปลายของชิ้นงาน  
ทดสอบ และสิ้นสุดการจับเวลาเมื่อท้องของเปลวไฟไหม้จนถึงตำแหน่ง 100 มิลลิเมตร จากปลายของ  
ชิ้นงาน



จากนั้นนำเวลาที่วัดได้ไปคำนวณเพื่ออัตราการเผาไหม้ โดยใช้สมการ

$$V = 60L/t$$

(3.8)

โดยที่ V คืออัตราการเผาไหม้ (มิลลิเมตรต่อวินาที)

L คือระยะเวลาการเผาไหม้ (มิลลิเมตร)

t คือเวลาการเผาไหม้ (วินาที)

ถ้าชิ้นงานเกิดการลามไฟหากชิ้นงานลามไฟหมดให้ใช้สูตรคำนวณเวลาในการเผาไหม้

หาค่า Average Time of Burning (ATB) :

$$ATB = \frac{\sum(t-30s)}{\text{Number of specimen}} \quad (3.9)$$

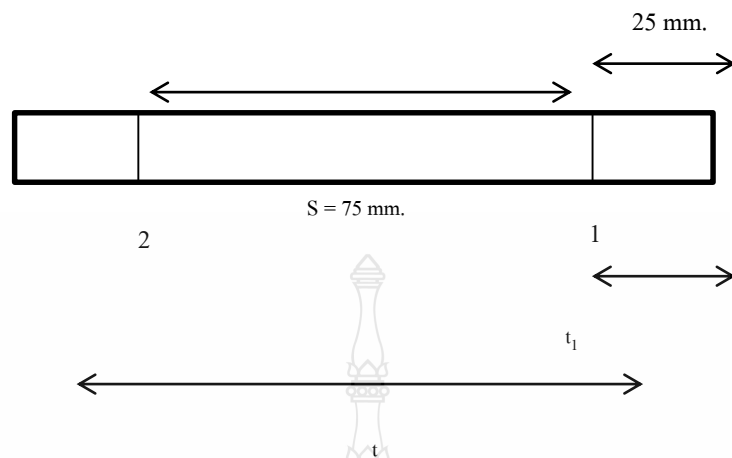
ถ้าชิ้นงานเกิดการลามไฟหากชิ้นงานลามไฟไม่หมดให้ใช้สูตรคำนวณเวลาในการเผาไหม้

หาค่า Average Extent of burning (AEB)

$$AEB = \frac{\sum(100 \text{ mm} - \text{unburned length})}{\text{Number of specimen}} \quad (3.10)$$

ขั้นตอนการปฏิบัติ :

1. เตรียมชิ้นงานขนาด 125 x12.5 x6 mm.
2. เสียบปลั๊กมอเตอร์ดูดความชื้น
3. เปิดวาล์วแก๊ส
4. จุดไฟที่หัวด้วยไฟแช็กปรับเปลวไฟตามความต้องการ หรือประมาณ 25 mm. และหัว burner เอียงทำมุม 45 องศา
5. เอาชิ้นงาน ไปยึดไว้ที่หัวจับชิ้นงานและเอาแผ่นอะลูมิเนียมรองไว้ตามชิ้นงาน
6. ทำการเผาโดยเลื่อนหัว burner ไปจ่อที่ปลายชิ้นงานเป็นเวลา 30 วินาทีเมื่อครบ 30 วินาที เลื่อนไฟออกจากชิ้นงานแล้วสังเกตการติดไฟ
7. เมื่อเผาเสร็จก็สวมถุงมือหยิบชิ้นงานออกและทำความสะอาดทุกครั้ง



รูปที่ 3.15 แสดงชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบอัตราการเผาไหม้

### 3.5.9 การทดสอบสมบัติทางความร้อน Differential Scanning Calorimetry (DSC)

การทดสอบนี้จะทำการวัดความแตกต่างของพลังงานที่ให้ไปเพื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิเมื่อเทียบกับตัวอ้างอิง ด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimetry (DSC) โดยใช้อุณหภูมิในการทดสอบอยู่ในช่วงตั้งแต่ 20-180°C ที่อัตราเร็วในการให้ความร้อน 3°C/min น้ำหนักของชิ้นงานที่ทดสอบอยู่ที่ประมาณ 3-5 mg ใช้การทดสอบด้วยระบบ Heat-Cool-Reheat ภายใต้บรรยากาศแก๊สไนโตรเจน ซึ่งจะได้ข้อมูลพล็อตเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานที่ใช้ (J) กับอุณหภูมิ (°C)

### 3.5.10 การศึกษาเสถียรภาพทางความร้อนด้วย Thermal Gravimetric Analyze (TGA)

การทดสอบนี้จะทำการวัดน้ำหนักตัวอย่างที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อทำการให้ความร้อนด้วยเครื่อง Thermal Gravimetric Analyzer (TGA) โดยใช้อุณหภูมิในการทดสอบอยู่ในช่วงตั้งแต่ 50-600°C ที่อัตราเร็วในการให้ความร้อน 10°C/min น้ำหนักของชิ้นงานที่ทดสอบอยู่ที่ประมาณ 3-5 mg ใช้การทดสอบด้วยระบบ Temperature Scan ภายใต้บรรยากาศแก๊สไนโตรเจน ซึ่งจะได้ข้อมูลพล็อตเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของสารที่สลายตัวไป (%Weight loss) กับอุณหภูมิ (°C)

### 3.5.11 การทดสอบสมบัติการใช้งานของแผ่นยางลดความเมื่อยล้า

อ้างอิงวิธีการทดสอบและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบจากการศึกษางานวิจัย บริษัท Showa rubber [29] ประกอบด้วยอุปกรณ์ ดังนี้

#### 3.5.11.1 วัสดุอุปกรณ์

- เครื่องจับความร้อน ยี่ห้อ JENOPTIK infartec รุ่น Vario CAM
- ขาดึงเครื่องจับความร้อน
- แผ่นยางลดความเมื่อยล้าขนาด 10x10 นิ้วหนา 10 มม.

#### 3.5.11.2 การทดสอบ

- ติดตั้งอุปกรณ์เครื่องจับความร้อน
- กลุ่มตัวอย่างทดสอบการขึ้น โดยแบ่งการทดสอบเป็น 2 ส่วน คือขึ้นบนกระเบื้องปูพื้นเป็นเวลา 30 นาที และทดสอบการขึ้นบนแผ่นยางลดความเมื่อยล้าเป็นเวลา 30 นาที
- สังเกตการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิพื้นผิวนองโดยเครื่องจับความร้อน



## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้แบ่งการรายงานผลออกเป็น 4 ส่วน โดยงานส่วนที่ 1 เป็นการหาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงผิวของเส้นใยมะพร้าวโดยใช้วิธีการปรับปรุงทางเคมี การปรับปรุงทางเคมีคือการปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และทดสอบสมบัติทางกลและลักษณะพื้นผิวของเส้นใยก่อนและหลังปรับปรุงพื้นผิว งานส่วนที่ 2 การศึกษาผลของปริมาณของเส้นใยมะพร้าวที่แปรปริมาณ 40, 60, 80 และ 100 phr ต่อสมบัติทางกลและสมบัติทางสัณฐานวิทยาของคอมโพสิตระหว่างเส้นใยมะพร้าวและยางธรรมชาติ งานส่วนที่ 3 การศึกษาผลของปริมาณสารทนไฟที่แปรปริมาณ 30, 60, 90 และ 120 phr ต่อสมบัติทางกล สมบัติทางสัณฐานวิทยา สมบัติการทนไฟและสมบัติทางความร้อนของยางคอมโพสิตและส่วนที่ 4 การทดสอบการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิพื้นผิวนองของแผ่นยางลดความเมื่อยล้าด้วยเครื่องจับความร้อนและศึกษาความพึงพอใจของการใช้แผ่นยางลดความเมื่อยล้า

#### ตอนที่ 1: การหาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงผิวของเส้นใยมะพร้าว

เป็นการหาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงผิวของเส้นใยมะพร้าวโดยใช้วิธีการปรับปรุงทางเคมี โดยการปรับปรุงทางเคมีคือการปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และลักษณะพื้นผิวของเส้นใยมะพร้าวก่อนและหลังปรับปรุงพื้นผิว

#### 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยมะพร้าว

##### ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยมะพร้าว

องค์ประกอบทางเคมี	เส้นใยมะพร้าว
ปริมาณเถ้า (%)	2.65
การละลายในแอลกอฮอล์-เบนซีน (%)	9.32
การละลายในน้ำร้อน (%)	9.34
การละลายในสารละลาย 1% NaOH (%)	38.50
ลิกนิน (Lignin) (%)	29.8
โฮโลเซลลูโลส (Holocellulose) (%)	56.8
อัลฟาเซลลูโลส (Alpha-cellulose) (%)	34.9
เพนโตซาน (Pentosan) (%)	14.4



## 4.2 ผลการทดสอบความชื้นและการดูดซึมน้ำของเส้นใยมะพร้าว

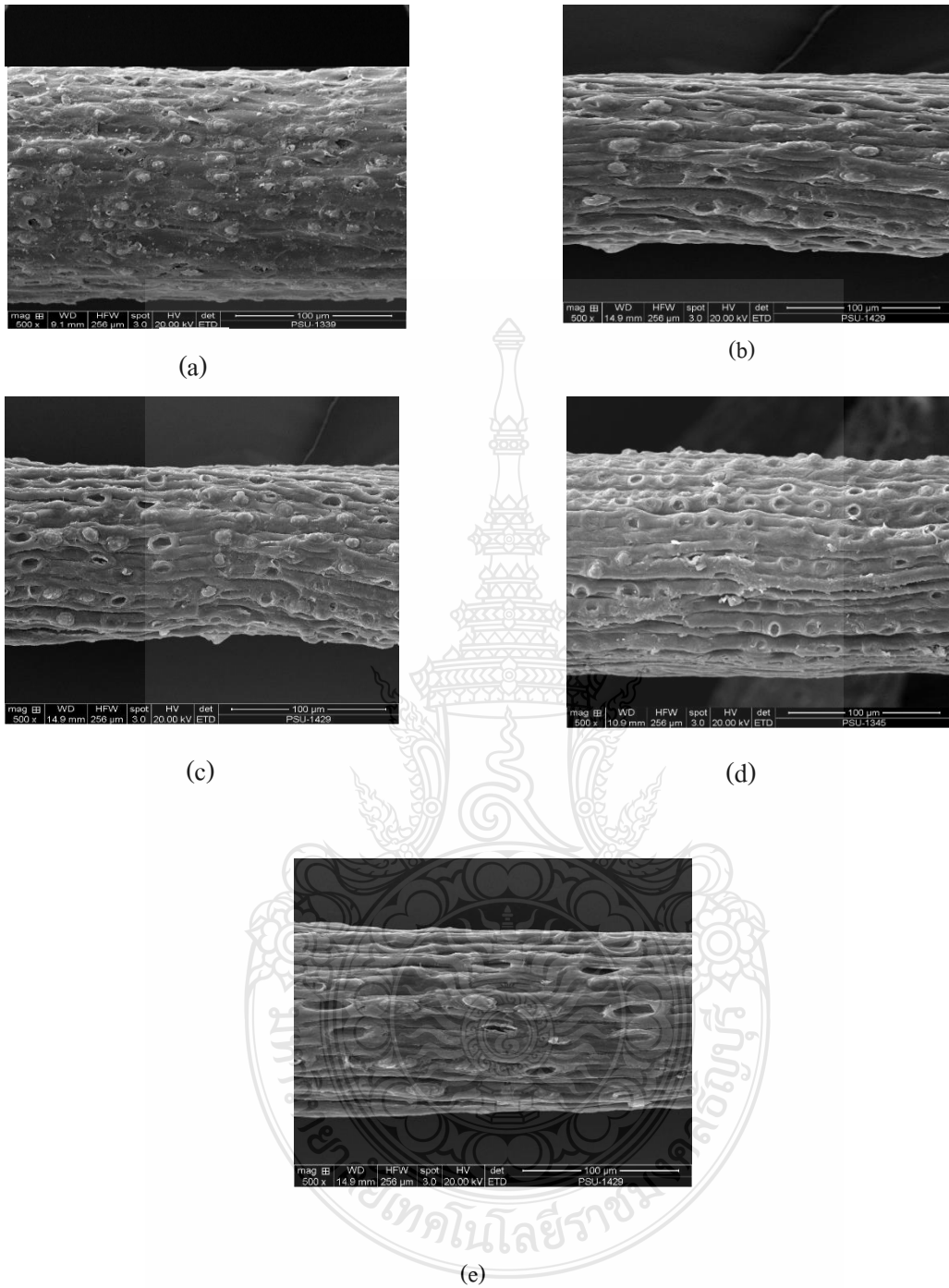
การดูดซึมน้ำ เป็นการหาน้ำหนักน้ำที่เพิ่มขึ้นในเส้นใยหลังจากการแช่น้ำ ซึ่งมีสาเหตุหลัก 2 ข้อ ข้อแรกน้ำเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างช่องว่างผิวสัมผัสของเส้นใย ข้อที่สองเกิดจากการดูดน้ำของเส้นใยเนื่องจากเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลักโดยเซลลูโลสมีหมู่ไฮดรอกซิล(-OH) เป็นหมู่มีขั้วสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้ [10,11] ผลการทดลองจากตารางที่ 4.2 แสดงค่าการดูดความชื้นและการดูดซึมน้ำของเส้นใยมะพร้าวก่อนและหลังการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ปริมาณความเข้มข้น 4, 8, 10 และ 12 wt% พบว่าการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ส่งผลให้ค่าการดูดความชื้นเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบค่าความชื้นของเส้นใยที่ยังไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีค่าความชื้นจาก 16.06% เป็น 26.54% ส่วนค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นจากเดิมเป็น 2 เท่า เนื่องจากการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นการทำความสะอาดผิวของเส้นใยมะพร้าวทำให้เกิดช่องว่างบนผิวของเส้นใยมะพร้าว และจากข้อมูล [11] ลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใยมะพร้าวมีเส้นใยกลมและพื้นผิวค่อนข้างเรียบซึ่งสอดคล้องกับสัณฐานวิทยาของเส้นใยมะพร้าว จึงส่งผลทำให้เส้นใยมะพร้าวสามารถดูดความชื้นได้เช่นเดียวกับค่าการดูดซึมน้ำ

ตารางที่ 4.2 ค่าการดูดความชื้นและการดูดซึมน้ำของเส้นใยมะพร้าวก่อนและหลังปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ

ตัวอย่าง	ความชื้น (ร้อยละ)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)
Fiber-Untreated	16.06±0.843	24.40±1.382
Fiber -4% NaOH	18.56±0.892	30.26±1.043
Fiber -8% NaOH	22.12±0.513	34.14±1.394
Fiber -10% NaOH	23.79±0.637	41.65±1.297
Fiber -12% NaOH	26.54±0.478	47.69±1.796

### 4.3 สันฐานวิทยาของเส้นใยมะพร้าว

การปรับสภาพผิวด้วยอัลคาไลน์ (Alkaline Treatment) เป็นหนึ่งในวิธีการดัดแปรเส้นใยทางเคมีที่นิยมใช้ โดยสารอัลคาไลน์ที่ใช้ในการปรับปรุงเส้นใยนั้นจะช่วยเข้าไปทำลาย (Disruption) พันธะไฮโดรเจนในโครงสร้างโครงข่าย (Network Structure) ทำให้ความหยาบของพื้นผิวเพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในรูป 4.1 ซึ่งเป็นภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM) ของเส้นใยมะพร้าวที่แปรปริมาณความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 0, 4, 8, 10 และ 12 %wt โดยรูป (a) คือรูปของเส้นใยที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงพื้นผิว และรูป (b-e) คือรูปของเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ จากการทดสอบลักษณะสันฐานวิทยาของเส้นใยมะพร้าวพบว่าเส้นใยที่ไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์มีสิ่งสกปรกเจือปน และหลังจากผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ในรูปที่ 4.1 (b-e) พบว่าเมื่อความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์มากขึ้นพื้นผิวของเส้นใยจะมีความสะอาดขึ้น มีความหยาบของพื้นผิวและพื้นผิวของเส้นใยมีช่องว่างระหว่างเซลล์เพิ่มขึ้นมากกว่าเส้นใยที่ยังไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิว ซึ่งเกิดจากการกำจัดพวกกรดไขมัน ลิกนินและพวกเฮมิเซลลูโลสออกจากพื้นผิวของเส้นใยมะพร้าว ซึ่งช่องว่างที่เกิดขึ้นสามารถเพิ่มความสามารถในการยึดเกาะระหว่างเมทริกซ์และเส้นใยได้ โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ Huang Gu.2009 [22], Asasutjarit C.et.al 2009 [31] และ L.Y. Mwaikambo, M.P. Ansell 2002 [32] การทดสอบทางสันฐานวิทยาในครั้งนี้พบว่าเส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชันด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 12 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสิ่งเจือปนที่พื้นผิวได้สะอาดที่สุด

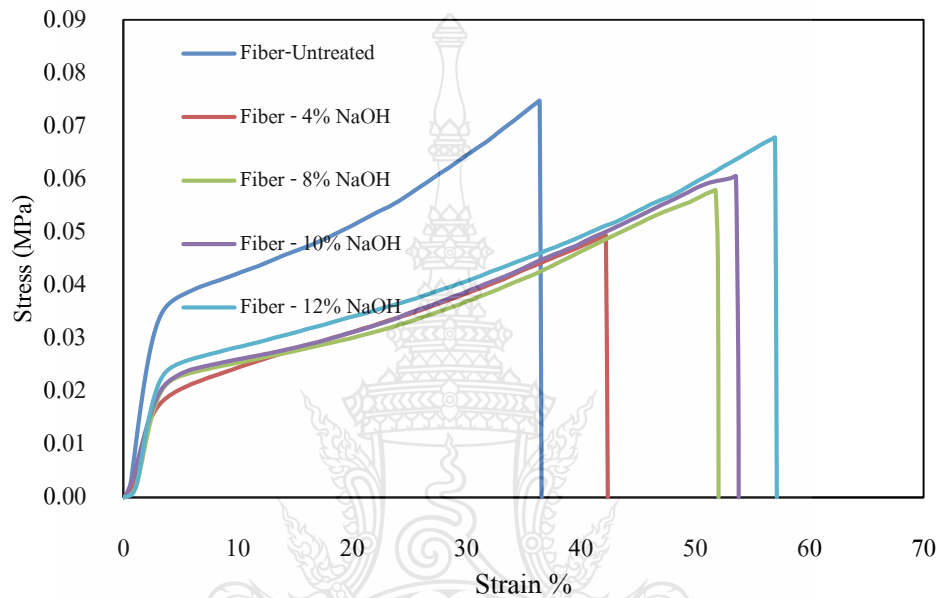


รูปที่ 4.1 ลักษณะพื้นผิวของเส้นใยมะพร้าวที่กำลังขยาย 500 เท่า

- (a) เส้นใยไม่ได้รับการปรับปรุง                      (b) เส้นใยปรับปรุงด้วย NaOH 4%wt  
 (c) เส้นใยปรับปรุงด้วย NaOH 8%wt                      (d) เส้นใยปรับปรุงด้วย NaOH 10% wt  
 (e) เส้นใยปรับปรุงด้วย NaOH 12%wt

#### 4.4 สมบัติทางกลของเส้นใย

ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของเส้นใยมะพร้าวก่อนและหลังจากการปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่แปรปริมาณความเข้มข้น 4, 8, 10 และ 12%wt แสดงอยู่ในรูปที่ 4.2 และตารางที่ 4.3



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้น-ความเครียดของเส้นใยที่ปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0, 4, 8, 10 และ 12 wt%

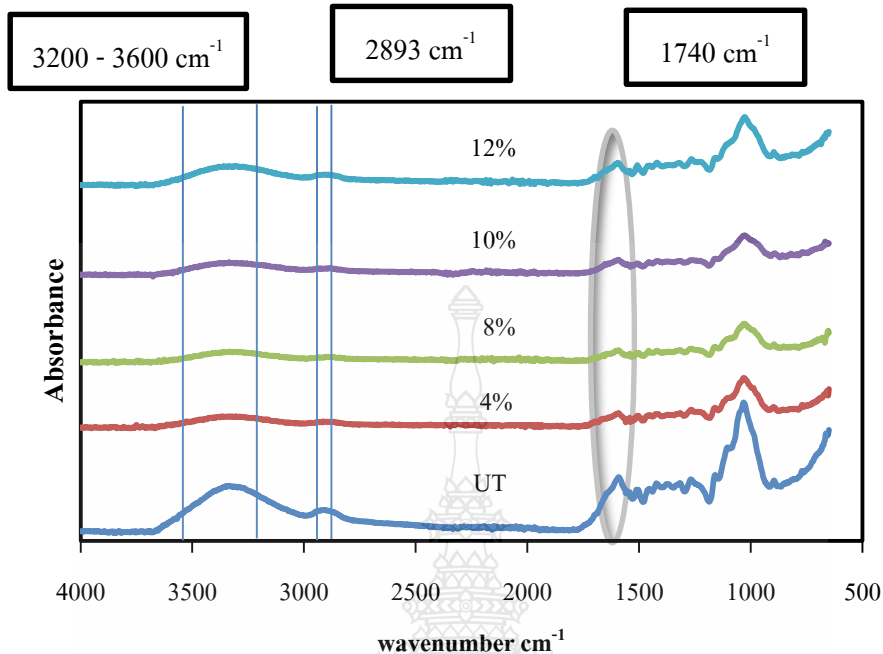
ตารางที่ 4.3 ค่าสมบัติเชิงกลของเส้นใยมะพร้าวที่ปรับปรุงด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

Sample	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Tenacity (gf/den)
Fiber-Untreated	0.067±0.04	39.07±4.32	361.11±10.22
Fiber -4% NaOH	0.060±0.06	40.89±3.01	344.78±7.05
Fiber -8% NaOH	0.056±0.02	50.40±2.77	327.20±3.63
Fiber -10% NaOH	0.058±0.07	50.20±4.03	310.60±8.56
Fiber -12% NaOH	0.050±0.13	51.22±5.11	283.31±5.57

จากตารางที่ 4.3 แสดงค่าสมบัติเชิงกลของเส้นใยมะพร้าวก่อนและหลังการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่แปรปริมาณความเข้มข้น 4, 8, 10 และ 12%wt ตามลำดับ พบว่า ค่าความต้านทานต่อแรงดึงและค่าความเหนียวมีแนวโน้มลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยที่ไม่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิว เนื่องจากการที่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการปรับปรุงพื้นผิวนั้นมีความจำเพาะเจาะจงในการเข้าทำปฏิกิริยากับโครงสร้างพวกลูโลสที่ต่ำ เพราะสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้อيون  $\text{Na}^+$  และ  $\text{OH}^-$  ออกมาซึ่งจะทำปฏิกิริยากับสารที่มีอยู่ในเส้นใย [22] ดังนั้นนอกจากโซเดียมไฮดรอกไซด์จะไปขจัด non-cellulosic ที่ปกคลุมเซลลูโลสอยู่ให้ออกไปจากพื้นผิวของเส้นใยแล้ว ยังเข้าไปทำลายโครงสร้างเซลลูโลสที่มีอยู่ในเส้นใยทำให้เส้นใยเกิดความเสียหายจึงส่งผลให้ความแข็งแรงของเส้นใยลดลงจาก 0.067 MPa เป็น 0.05 MPa แต่ในขณะเดียวกันค่าความสามารถในการยืดจนขาดมีค่าเพิ่มขึ้น Fiber -12% NaOH มีระยะยืดเท่ากับ 51.22 % โดยเส้นใยมะพร้าวที่ไม่ได้รับการปรับปรุงพื้นผิวมีระยะยืด 39.07% เนื่องจากการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นการกำจัดสิ่งสกปรกให้ออกไปซึ่งจะส่งผลให้เส้นใยมะพร้าวมีลักษณะที่นุ่มและยืดมากขึ้น แสดงอยู่ในตารางที่ 4.3 ดังนั้นจึงส่งผลให้ค่าความสามารถในการยืดจนขาดมีค่ามากขึ้น ซึ่งพบผลที่คล้ายกัน H. Gu 2009 [22] และพลุดิพงศ์ พันธมนัส โสภากา 2557 [10] จากผลทดลองการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 0, 4, 8, 10 และ 12 %wt พบว่าการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นมากขึ้นไม่ได้ส่งผลต่อค่าความทนทานต่อแรงดึงที่ดีที่สุด โดยจากการศึกษาที่ผ่านมาของ A.Oushabi et. al. 2017 [33] ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 2, 5, 10 wt% พบว่าการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 10 wt% ทำให้เกิดความเสียหายต่อเส้นใยเนื่องจากได้รับผลกระทบจากความเข้มข้นของสารอัลคาไลน์สูง โดยความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ให้ค่าความทนทานต่อแรงดึงของเส้นใยสูงที่สุดคือ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและในงานวิจัยของ Lifang Liu et.al. 2009 [39] พบผลที่คล้ายกัน

#### 4.5 ผลการทดสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมี

ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FT-IR) ใช้ในการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน (Functional group) ของสารโดยพิจารณาจากพลังงานที่สารดูดกลืน (Absorption) หรือปลดปล่อยออกมา (Vibration) ของโมเลกุลในรูปแบบต่างๆ ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาการลดลงของลิกนิน โดยพิจารณาถึงการลดลงหรือหายไปของพีคที่แสดงลักษณะเฉพาะของหมู่ฟังก์ชันที่เป็นองค์ประกอบในโครงสร้างทางเคมีของลิกนินที่เลขคลื่นต่างๆ เปรียบเทียบกับสเปกตรัม FT-IR ของเยื่อเซลลูโลสก่อนการขจัดลิกนิน



รูปที่ 4.3 สเปกตรัมของเส้นใยมะพร้าวที่ยังไม่ผ่านการปรับปรุงผิวและเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงผิวที่ 0,4,8,10 และ 12 %wt

การศึกษาหมู่ฟังก์ชันทางเคมีของเส้นใยมะพร้าวที่ไม่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิว และผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ แสดงดังรูปที่ 4.3 พบว่า การกำจัดสิ่งสกปรกบนพื้นผิวจะเป็นประโยชน์ในการยึดติด นอกจากนี้การปรับพื้นผิวยังสามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยมะพร้าว จากผลการทดสอบเมื่อแช่เส้นใยมะพร้าวในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ พบว่า เส้นใยมะพร้าวที่ไม่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิว (Untreated) แสดงค่าการดูดกลืนในช่วงความยาวคลื่น  $3600 - 3200 \text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นค่าการดูดกลืนแสงของหมู่ไฮดรอกซิลของเส้นใย (O-H stretch) และปรากฏพีคที่  $2893 \text{ cm}^{-1}$  เป็นหมู่ C-H stretch และ  $1740 \text{ cm}^{-1}$  แสดงลักษณะเฉพาะของหมู่คาร์บอนิล (Carbonyl group) หมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl group) และหมู่เอสเตอร์ (Ester group) ของหมู่ เฮมิเซลลูโลส เลขคลื่นที่  $1515 \text{ cm}^{-1}$  แสดงลักษณะเฉพาะของวงแหวนเบนซีนของลิกนิน จากการปรับสภาพผิวของเส้นใยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ปรากฏว่าพีคบริเวณ  $2893 \text{ cm}^{-1}$  เป็นหมู่ C-H stretch เลขคลื่นที่  $1740 \text{ cm}^{-1}$  เป็นหมู่ C=O ของหมู่ เฮมิเซลลูโลส และเลขคลื่นที่  $1515 \text{ cm}^{-1}$  แสดงลักษณะเฉพาะของวงแหวนเบนซีนของลิกนิน หายไปแสดงว่าการปรับสภาพผิวเส้นใยส่งผลให้เฮมิเซลลูโลส และลิกนินซึ่งเคลือบอยู่บนเส้นใยอยู่ได้ถูกกำจัดออกไป

จากการพิจารณาผลของการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยมะพร้าวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุด ในการเตรียมเส้นใยมะพร้าวก่อนนำมาผสมกับยางธรรมชาติคือความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 8 %wt

**ตอนที่ 2: การศึกษาผลของปริมาณของเส้นใยมะพร้าวต่อสมบัติทางกลและสมบัติทางลัษฐานวิทยาของยางคอมโพสิตระหว่างเส้นใยมะพร้าวและยางธรรมชาติ**

**4.6 ศึกษาสมบัติเชิงกลของยางคอมโพสิต**

**4.6.1 สมบัติการวัลคาไนซ์**

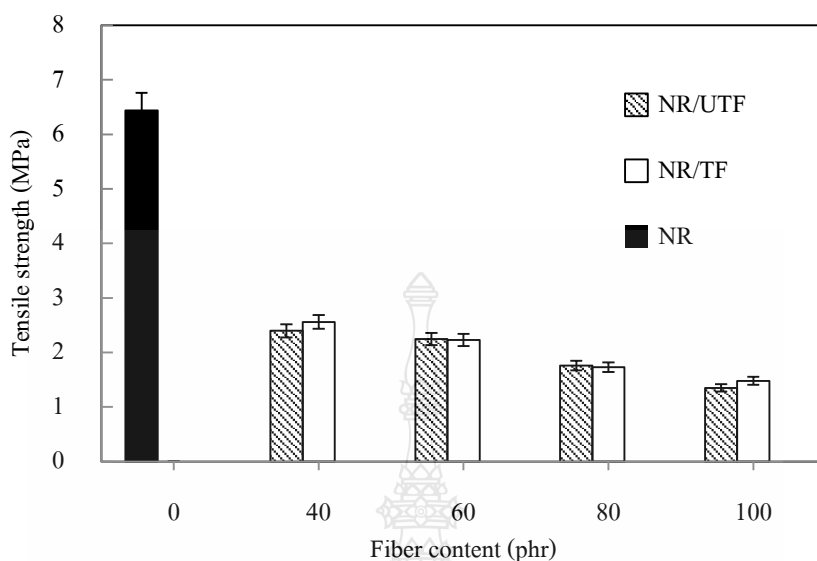
ผลการทดสอบสมบัติการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติผสมเส้นใยมะพร้าวที่ยังไม่ได้ปรับปรุงและปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยที่ 8%wt ด้วยเครื่องทดสอบ ODR 2000 ที่อุณหภูมิ 160°C

จากตาราง 4.4 แสดงสมบัติการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติผสมเส้นใยมะพร้าวที่ยังไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิวและปรับปรุงพื้นผิวเส้นใย ด้วยเครื่องทดสอบ ODR 2000 ที่อุณหภูมิ 160 °C จะเห็นได้ว่า ค่า scorch time,  $t_{s1}$  และ cure time,  $t_{c90}$  มีค่าลดลง เนื่องจากเส้นใยได้ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์จึงทำให้มีค่า pH เป็นด่าง แต่ในงานวิจัยได้นำเส้นใยที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์มาล้างจนมี pH เป็นกลาง ดังนั้นการปรับปรุงพื้นผิวจึงไม่ส่งผลต่อค่าเวลาในการคงรูปของคอมโพสิตมากนัก [21]

**ตารางที่ 4.4** แสดงสมบัติการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติ ยางธรรมชาติที่เสริมแรงด้วยเส้นใยที่ไม่ได้ปรับปรุงและยางธรรมชาติที่เสริมแรงด้วยเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงที่ปริมาณเส้นใยต่างๆ

Sample	ML (dN-m)	MH (dN-m)	Time (min)	
			Ts <sub>1</sub> (mins)	Tc <sub>90</sub> (mins)
NR	1.06	3.93	2.17	8.12
NR/40UTF	0.76	4.55	3.13	12.12
NR/60UTF	0.91	6.08	2.96	11.58
NR/80UTF	0.97	5.75	2.80	12.60
NR/100UTF	1.28	6.56	2.35	9.45
NR/40TF	0.81	5.58	2.93	11.33
NR/60TF	1.98	8.27	2.90	11.09
NR/80TF	2.12	8.35	2.71	11.08
NR/100TF	2.60	13.77	2.29	8.03

#### 4.6.2 อิทธิพลของปริมาณเส้นใยมะพร้าวต่อสมบัติเชิงกลของแผ่นยางคอมพอลิซิด



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการทนแรงดึงต่อปริมาณเส้นใยก่อนและหลังปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

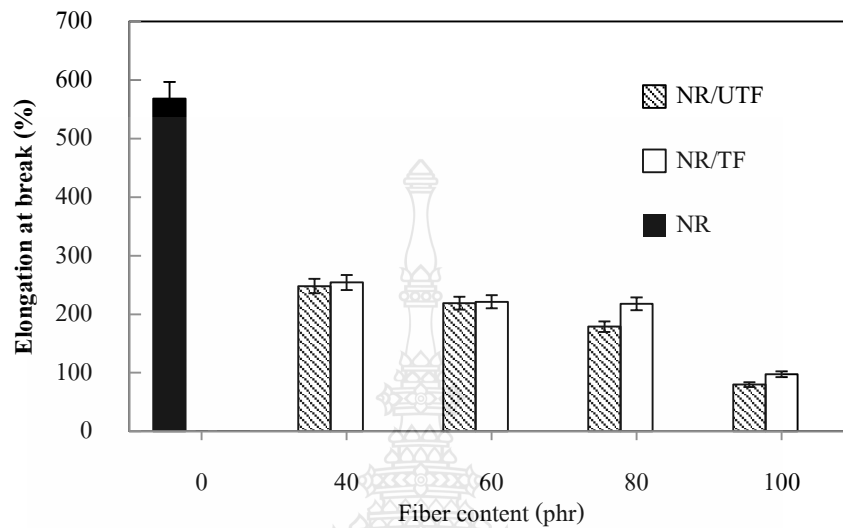
##### 4.6.2.1 ทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile Strength)

สมบัติทางกลของยางธรรมชาติที่เสริมแรงด้วยเส้นใยที่ไม่ได้ปรับปรุงและยางธรรมชาติที่เสริมแรงด้วยเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

จากรูปที่ 4.4 ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของยางธรรมชาติมีค่าสูงกว่ายางคอมพอลิซิดในทุกอัตราส่วน เนื่องจากยางธรรมชาติมีความเป็นระเบียบสูงทำให้สามารถดกผลึกได้ง่ายเมื่อถูกดึงยืด ส่งผลให้มีความทนต่อแรงดึงมากกว่าคอมพอลิซิดทุกอัตราส่วน นอกจากนั้นการเติมเส้นใยมะพร้าว ในปริมาณมากขึ้นทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ลงไปในยางคอมพอลิซิดทำให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากการเพิ่มปริมาณเส้นใยมากขึ้นส่งผลให้เกิดการรวมกลุ่มกันของเส้นใยทำให้การถ่ายเทความเค้นเกิดได้ยากขึ้นและยังเป็นการรบกวนความสม่ำเสมอของเมตริกซ์จึงส่งผลให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของคอมพอลิซิดมีค่าลดลง แต่อย่างไรก็ตามคอมพอลิซิดที่ได้รับการปรับปรุงพื้นผิวจะให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงสูงกว่าคอมพอลิซิดของเส้นใยที่ยังไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิว เนื่องจากการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยเป็นการกำจัดพวกเฮมิเซลลูโลส และสารปนเปื้อนต่างๆที่เกาะตามผิวของเส้นใยให้ออกไป ส่งผลให้พื้นผิวของเส้นใยมีความขรุขระ และเป็นร่องรูเพิ่มมากขึ้นซึ่งเป็นการเพิ่มแรงยึดติดระหว่างเส้นใยและยางธรรมชาติ



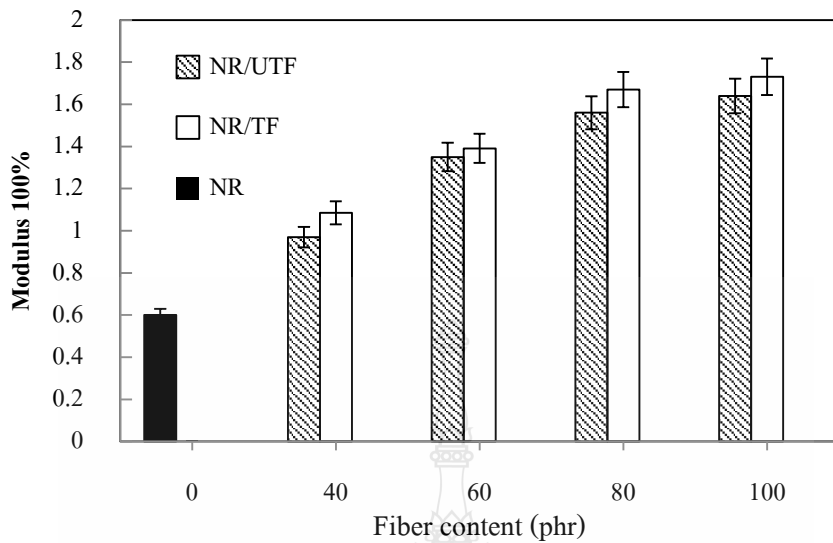
ผ่านกลไกแบบการเชื่อมต่อกันทางกล ทำให้ความสามารถในการถ่ายเทความเค้นที่บริเวณอินเตอร์เฟซระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์ให้ดีขึ้น [12]



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืด ณ จุดขาดต่อปริมาณเส้นใยก่อนและหลังปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

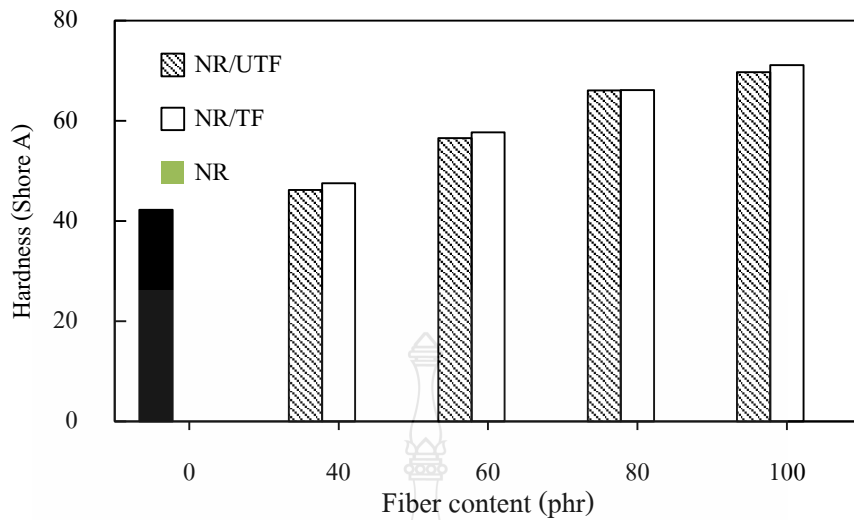
#### 4.6.2.2 ความสามารถในการยืดจนขาด (Elongation at break)

จากรูปที่ 4.5 สมบัติระยะยืด ณ จุดขาดของยางธรรมชาติที่เสริมแรงด้วยเส้นใย ทั้งที่ไม่ปรับปรุงพื้นผิวและปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณของเส้นใย เนื่องจากเมื่อใส่เส้นใยมากขึ้น ทำให้คอมโพสิตแข็งขึ้นและมีความยืดหยุ่นของยางลดลง ความสามารถในการยืด การกระจายแรงที่มากกระทำเกิดได้ลดลง ส่งผลให้ความสามารถในการยืดจนขาดลดลงเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดูลัสที่ 100 เปอร์เซ็นต์ต่อปริมาณเส้นใยก่อนและหลังปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

จากรูปที่ 4.6 แสดงค่าค่ามอดูลัสที่ 100 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดลองพบว่าการใส่เส้นใยมะพร้าวที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงไปอย่างคอมโพสิตระหว่างยางธรรมชาติ/เส้นใยมะพร้าว ทำให้ค่ามอดูลัสที่ 100 เปอร์เซ็นต์ของคอมโพสิตมีค่าเพิ่มขึ้นในทุกอัตราส่วน เนื่องมาจากการปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์พวกสาร non-cellulosic ต่างๆ จะถูกขจัดออกจากพื้นผิวของเส้นใย ซึ่งจะทำให้เส้นใยเซลลูโลสถูกแยกออกเป็นเส้นเล็กๆ ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์ ทำให้การส่งผ่านแรงจากพอลิเมอร์ไปยังเส้นใยเกิดขึ้นได้ดีขึ้น นอกจากนี้การขจัดพวกสาร non-cellulosic ส่งผลให้พื้นที่ผิวของเส้นใยเกิดความขรุขระขึ้น ทำให้สามารถเกิด Physical Interlocking ขึ้นในระหว่างที่วัสดุคอมโพสิตได้รับแรง ช่วยให้การกระจายตัวของเส้นใยและการรับแรงเกิดขึ้นได้ดีขึ้น [39] พบผลที่คล้ายกัน Mathew L. and Joseph R. 2007 [34] เมื่อปริมาณของเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวในยางธรรมชาติเพิ่มขึ้นพบว่าค่ามอดูลัส 100 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าคอมโพสิตของเส้นใยที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงพื้นผิว



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งต่อปริมาณเส้นใยก่อนและหลังปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

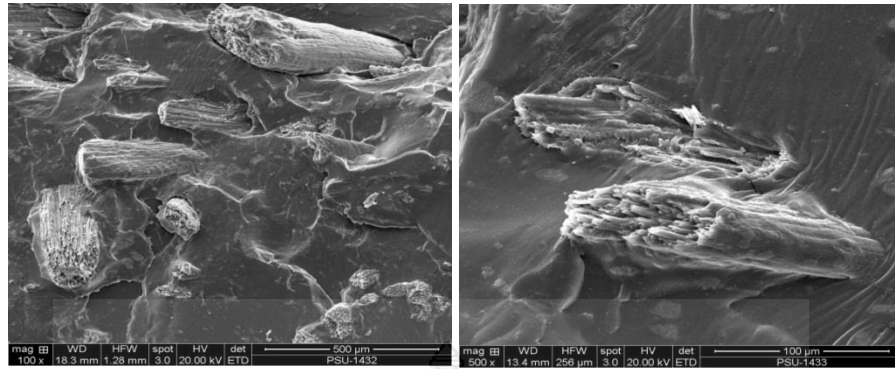
#### 4.6.2.3 สมบัติด้านความแข็ง (Hardness)

จากรูปที่ 4.7 ค่าความแข็งของยางธรรมชาติและยางคอมพอสิตระหว่างเส้นใยที่ไม่ได้ปรับปรุงผิวและปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยมากขึ้น เนื่องจากเกิดการรวมตัวและการอัดตัวของเส้นใยทำให้ค่าความแข็งสูงขึ้นตามปริมาณของเส้นใยที่เพิ่มขึ้น การใส่เส้นใยที่ไม่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวและผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ไม่ส่งผลกระทบต่อค่าความแข็งมากนัก

### 4.7 ลักษณะวิทยาของยางคอมพอสิต

ลักษณะทางลักษณะวิทยาของคอมพอสิตเป็นการศึกษาเพื่อดูลักษณะการกระจายตัวของเส้นใยในคอมพอสิต ช่องว่างระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์ซึ่งส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของคอมพอสิต

จากรูปที่ 4.8 เป็นการศึกษาลักษณะทางลักษณะวิทยาของยางและเส้นใยที่ได้รับการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเพื่อดูลักษณะของการกระจายตัวของเส้นใยในยางและช่องว่างระหว่างเส้นใยเมื่เปรียบเทียบกับยางพบว่าหลังจากที่เส้นใยได้มีการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ช่องว่างระหว่างเส้นใยกับยางมีขนาดที่แคบเป็นผลมาจากการทำความสะอาดพื้นผิวของเส้นใยได้ช่วยเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยกับยางได้มากยิ่งขึ้น [15]



(a)

(b)

#### รูปที่ 4.8 คอมโพลีเมอร์เสริมแรงด้วยเส้นใยมะพร้าวที่ปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

(a) คอมโพลีเมอร์เสริมแรงด้วยเส้นใยมะพร้าว 8%wt NaOH กำลังขยาย 100 เท่า

(b) คอมโพลีเมอร์เสริมแรงด้วยเส้นใยมะพร้าว 8%wt NaOH กำลังขยาย 500 เท่า

#### 4.8 ลักษณะทางกายภาพของชิ้นงาน

จากการศึกษาการนำเส้นใยมะพร้าวและสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์มาทำการผสมลงในยางธรรมชาติที่ และทำการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่อง Compression Molding ที่อุณหภูมิ 160 °C ได้ชิ้นงานที่มีลักษณะแข็ง มีความยืดหยุ่น สีเปลี่ยนแปลงตามปริมาณ เส้นใยมะพร้าวที่ใส่ลงไป ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานของยางธรรมชาติผสมเส้นใยมะพร้าวที่ปริมาณต่างๆ

Sample NR/ Fiber	ชิ้นงาน	รายละเอียด
NR		สีน้ำตาลอ่อน ยืดหยุ่น

ตารางที่ 4.5 ลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานของยางธรรมชาติผสมเส้นใยมะพร้าวที่ปริมาณต่างๆ (ต่อ)

Sample NR/ Fiber	ชิ้นงาน	รายละเอียด
NR -F40		สีน้ำตาลเข้ม แข็งแต่ยังยืดหยุ่น
NR- F60		สีน้ำตาลเข้ม แข็งแต่ยังยืดหยุ่น เล็กน้อย
NR- F80		สีน้ำตาลเข้ม แข็ง
NR- F100		สีน้ำตาลเข้ม แข็ง

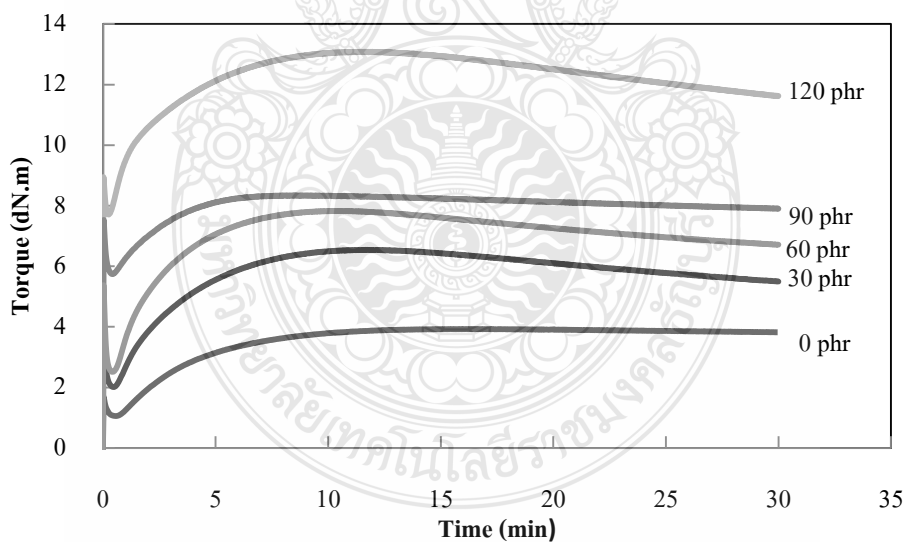
ตอนที่ 3: การศึกษาผลของปริมาณสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ (*Magnesium Hydroxide, MH*)

4.9 การศึกษาอิทธิพลของปริมาณสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ (*Magnesium Hydroxide, MH*) ต่อสมบัติของยางทนไฟจากการผสมระหว่างยางธรรมชาติกับเส้นใยมะพร้าว

เตรียมยางระหว่างยางธรรมชาติกับเส้นใยมะพร้าว โดยใช้อัตราส่วนเท่ากับ 100/60 phr ทำการแปรปริมาณของ MH เท่ากับ 0, 30, 60, 90, และ 120 phr ตามลำดับ ตามวิธีการทดลอง จากนั้นจึงนำไปทดสอบ สมบัติการทนไฟ ได้ผลการทดลองดังนี้

4.9.1 สมบัติการวัลคาไนซ์

ผลการทดสอบสมบัติการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติผสมเส้นใยมะพร้าวที่แปรปริมาณสารทนไฟ แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ด้วยเครื่องทดสอบ ODR 2000 ที่ 160°C แสดงดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าทอร์ก (Torque) และเวลา (Time) ของยางธรรมชาติผสมเส้นใยมะพร้าวที่แปรปริมาณสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ 0 – 120 phr

ตารางที่ 4.6 สมบัติการวัลคาไนซ์ของยางคอมโพสิตระหว่างยางธรรมชาติกับเส้นใยมะพร้าวที่แปรปริมาณสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์

Sample	ML (dN-m)	MH (dN-m)	Time (mins)	
			Ts <sub>1</sub> (mins)	Tc <sub>90</sub> (mins)
NR-MH0-F60	1.26	3.87	2.85	11.35
NR-MH30-F60	2.59	6.24	1.45	10.18
NR-MH60-F60	2.88	7.44	1.76	8.18
NR-MH90-F60	5.38	8.13	1.31	7.55
NR-MH120-F60	7.53	12.95	0.72	7.16


รูปที่ 4.9 แสดงลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางคอมโพสิต ที่แปรปริมาณสารทนไฟ MH จากรูปจะสังเกตเห็นว่าที่กราฟช่วงเริ่มต้นจะมีค่าทอร์กที่ลดต่ำลง เนื่องจากความหนืดของยางคอมโพสิตลดลงจากแรงบิดของโรเตอร์ที่อุณหภูมิสูง ซึ่งโมเลกุลยางยังคงไม่เกิดการเชื่อมโยงจึงสามารถไหลได้ จากนั้นยางคอมโพสิตเริ่มเกิดการวัลคาไนซ์ส่งผลให้ค่าทอร์กเพิ่มขึ้นและเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารทนไฟ MH ที่เติมเข้าไป ค่าทอร์กจะเพิ่มขึ้นสูงสุดและเริ่มคงที่

จากรูปที่ 4.9 และตารางที่ 4.6 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณสารทนไฟ MH ส่งผลให้เวลาสกอรัซและเวลาการวัลคาไนซ์ของยางคอมโพสิตมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากเมื่อสารทนไฟในยางคอมโพสิตมีปริมาณมากขึ้นอนุภาคสารทนไฟในระหว่างการบดผสมจะเกิดการเสียดสีกันและเกิดความร้อนขึ้นส่งผลให้อุณหภูมิของยางหลังการผสมเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณสารทนไฟ นอกจากนี้พบว่า การเพิ่มปริมาณสารทนไฟ MH ส่งผลให้ค่าแรงบิดต่ำสุด ( $M_L$ ) ซึ่งแสดงถึงความหนืดต่ำสุดของยางและค่าแรงบิดสูงสุด ( $M_H$ ) ซึ่งแสดงถึงความหนืดสูงสุดของยางคอมโพสิตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเติมสารทนไฟ MH ซึ่งเป็นของแข็งลงในยางนั่นเอง [21]

#### 4.10 สมบัติการทนไฟ

การทดสอบการติดไฟและลามไฟแนวนอน (Horizontal Burning Test, HB) เป็นการทดสอบการติดไฟโดยการจุดไฟเป็นเวลา 30 วินาที หรือจนกว่าเปลวไฟจะไปถึงเส้นระยะ 25 มิลลิเมตรของยางคอมโพสิตที่แปรปริมาณสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์

ตารางที่ 4.7 อัตราการเผาไหม้ของยางคอมโพสิตที่แปรปริมาณสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ที่ปริมาณต่างๆ

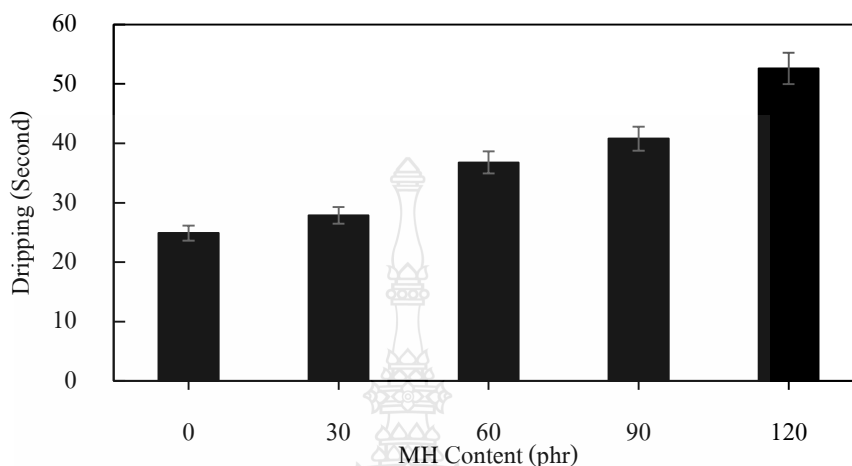
Sample	burning rate (mm./min)	ลักษณะชิ้นงานจากการเผาไหม้
NR-MH0-F60	$43.81 \pm 1.31$	
NR-MH30-F60	$22.20 \pm 0.27$	
NR-MH60-F60	$18.40 \pm 0.48$	
NR-MH90-F60	$14.63 \pm 0.38$	
NR-MH120-F60	$13.17 \pm 0.76$	

หมายเหตุ ตามมาตรฐาน Burning Rate อยู่ในช่วงไม่เกิน 40 mm/min ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ดีสำหรับวัสดุป้องกันการลามติดไฟ ที่ความหนาชิ้นงาน 3-13 mm

จากตารางที่ 4.7 การทดสอบอัตราการเผาไหม้ (Horizontal Burning Rate) ของยางคอมโพสิตที่แปรปริมาณสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ จากผลการทดลองพบว่า เมื่อใส่เส้นใยมะพร้าวลงไปยางคอมเปาวด์ จะส่งผลต่ออัตราการเผาไหม้ (สูตรที่ 1) เนื่องจากยางธรรมชาติและเส้นใยมะพร้าวมีคุณสมบัติเป็นเชื้อเพลิงอย่างดีที่ติดไฟได้จึงทำให้มีอัตราการเผาไหม้ที่สูงเกินมาตรฐานการทดสอบแบบ Horizontal Burning Rate อย่างไรก็ตามอัตราการเผาไหม้ของยางคอมโพสิตระหว่างยางธรรมชาติกับเส้นใยมะพร้าวมีอัตราการเผาไหม้ลดลงเมื่อเติมแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ ( $Mg(OH)_2$ ) ลงไป ยางคอมโพสิตที่ใส่แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ในปริมาณที่มากขึ้นจะส่งผลให้มีอัตราการเผาไหม้ที่ลดลงเนื่องจากแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ ( $Mg(OH)_2$ ) ทำหน้าที่เป็นฉนวนกันความร้อนจากภายนอก [9,11]



ผลการทดสอบสมบัติทนไฟตามมาตรฐาน UL94 ของยางคอมโพสิตระหว่างยางธรรมชาติ และเส้นใยมะพร้าวที่แปรปริมาณสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ตั้งแต่ 0 – 120 phr แสดงรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 เวลาการเกิดหยดของเปลวไฟ (Dripping time) ของยางคอมโพสิตที่แปรปริมาณสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งทดสอบตามมาตรฐาน UL94

การทดสอบสมบัติทนไฟตามมาตรฐาน UL94 ระหว่างยางธรรมชาติและเส้นใยมะพร้าวที่แปรปริมาณสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ รูปที่ 4.10 แสดงค่าเวลาการหยดของเปลวไฟที่เกิดจากการลุกไหม้ของชิ้นทดสอบเมื่อทดสอบด้วยเทคนิค UL94 จะเห็นได้ว่าเมื่อปริมาณสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์เพิ่มมากขึ้น เวลาที่ใช้ในการหยดของเปลวไฟมีแนวโน้มมากขึ้นแสดงว่ายังสามารถทนต่อการลามไฟได้ดีขึ้น เนื่องจากการมีสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ ในยางทำให้ยางมีการสลายตัวที่ช้าลงเมื่อได้รับความร้อน เพราะสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ เมื่อได้รับความร้อนจะปลดปล่อยผลิตภัณฑ์ออกมา ทำให้ระบบเย็นลง ดังสมการที่ (4.1)



ดังนั้นจึงเท่ากับเป็นการเพิ่มปริมาณน้ำในระบบและยังเป็นการเจือจางเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้ของยาง ส่งผลให้สามารถหน่วงการจุดติดไฟและทำให้การลามไฟได้ช้าลง จึงทำให้เวลาหยดของเปลวไฟเพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Cross et al. 2003 [35] และ Sain et al. 2004 [26]

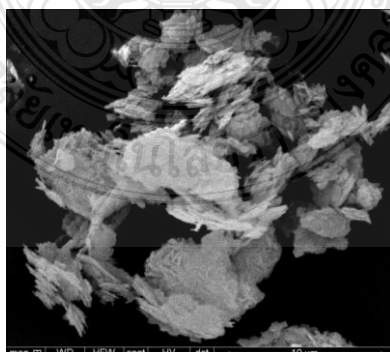
#### 4.11 ศึกษาสมบัติเชิงกลของยางคอมโพสิตผสมสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์

ผลการทดสอบสมบัติของยางคอมโพสิตที่แปรปริมาณสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ต่างๆแสดงดังตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.11

ตารางที่ 4.8 สมบัติเชิงกลของยางคอมโพสิตที่แปรปริมาณสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์

Sample (phr)	100 % Modulus	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	Hardness (Shore A)
NR-MH0-F60	1.39±0.16	2.23±0.28	221.30±2.16	57.70±1.29
NR-MH30-F60	1.41±0.03	1.67±0.30	148.30±0.83	73.80±0.31
NR-MH60-F60	1.61±0.11	1.38±0.13	135.78±1.54	75.73±0.38
NR-MH90-F60	1.75± 0.11	1.24±0.31	114.78±0.093	76.39±0.63
NR-MH120-F60	2.08± 0.21	1.21±0.14	43.43±0.143	80.72±0.62

จากตารางที่ 4.8 ค่าความต้านทานต่อแรงดึงมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณของแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์เป็นสารตัวเติมที่มีโครงสร้างเป็นแผ่นและมีการเกาะกลุ่มกันเอง (แสดงดังรูปที่ 4.11) จึงส่งผลให้สารทนไฟกระจายตัวได้ไม่ดีในเนื้อเมทริกซ์กลายเป็นจุดอ่อนแอในเนื้อเมทริกซ์ ทำให้การรับแรงและกระจายแรงกระทำเกิดขึ้นได้น้อยลง



รูปที่ 4.11 ภาพถ่าย SEM ของอนุภาคสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์

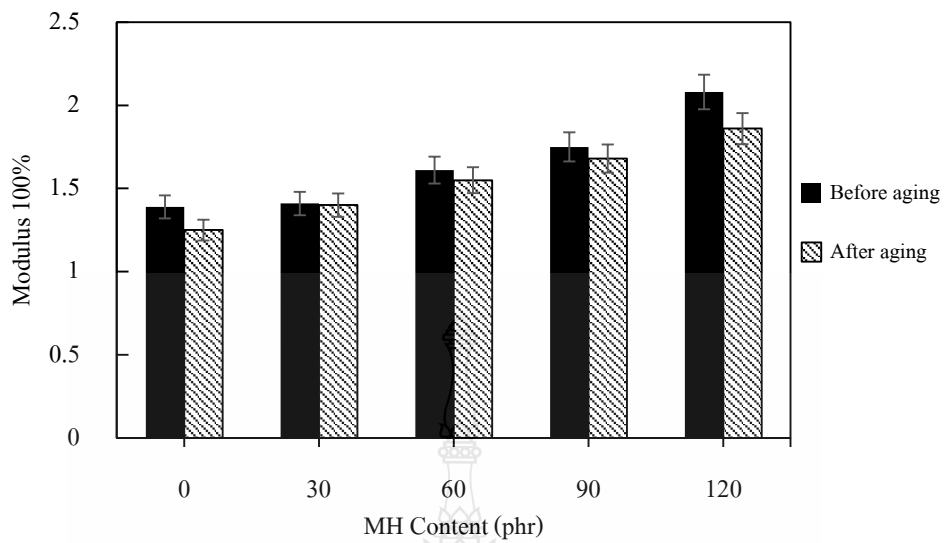
#### 4.12 สมบัติเชิงกลหลังการบ่มเร่ง (Ageing Property)

ผลการทดสอบสมบัติหลังการบ่มเร่งของยางคอมพอสิตที่แปรปริมาณสารแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์

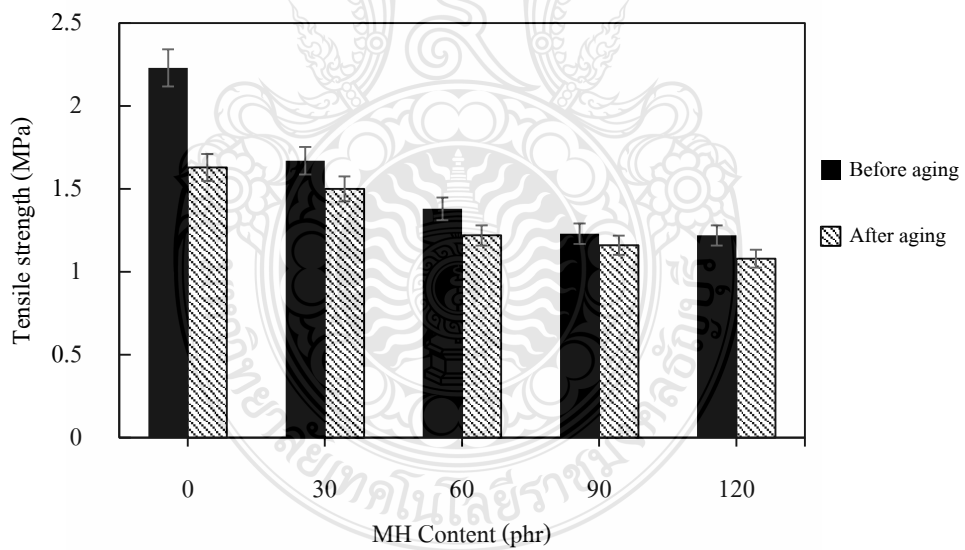
ตารางที่ 4.9 สมบัติความต้านทานต่อแรงดึง โมดูลัส และความสามารถในการยืดจนขาดของยางคอมพอสิตที่แปรปริมาณสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์หลังการบ่มเร่ง (Ageing Property)

Sample	100% Modulus	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)
NR-MH0-F60	1.25± 0.44	1.62±0.14	179.70±1.01
NR-MH30-F60	1.40± 0.08	1.49±0.09	111.20±3.17
NR-MH60-F60	1.55± 0.10	1.22±0.10	87.73±7.13
NR-MH90-F60	1.68± 0.09	1.16±0.05	88.66±1.13
NR-MH120-F60	1.86± 0.21	1.08±0.08	59.65±3.07

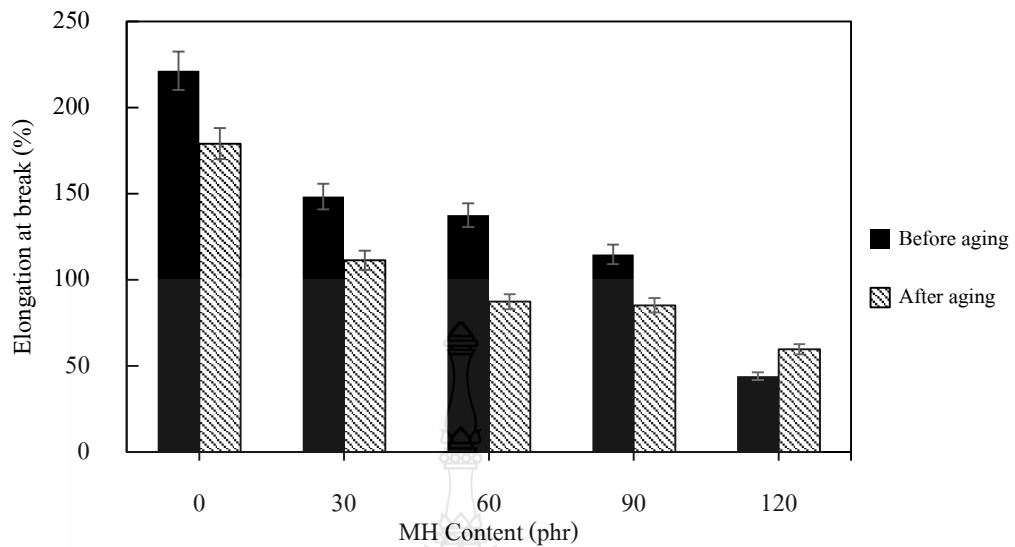
เมื่อพิจารณาสมบัติความต้านทานต่อแรงดึง โมดูลัส และระยะยืด ณ จุดขาดภายหลังการบ่มเร่ง พบว่าสมบัติทั้งสามมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการบ่มเร่ง ซึ่งเป็นผลมาจากการเกิดการตัดสายโซ่ของโมเลกุลยางธรรมชาติในขณะบ่มเร่งด้วยความร้อน เมื่อพิจารณาผลของการแปรปริมาณสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ต่อการรักษาสมบัติทั้งสามภายหลังการบ่มเร่ง พบว่าการเพิ่มปริมาณสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ส่งผลต่อสมบัติความต้านทานต่อแรงดึง สมบัติความสามารถในการยืดจนขาดหลังการบ่มเร่งลดลงอย่างซึ่งเป็นผลมาจากสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ (MH) สามารถเหนี่ยวนำให้เกิดการตัดสายโซ่ของพอลิเมอร์ผ่านกระบวนการเสื่อมสภาพแบบออกซิเดชันด้วยความร้อน [37] จึงทำให้สายโซ่พอลิเมอร์ถูกตัดขาด ส่งผลให้สมบัติความต้านทานต่อแรงดึงความสามารถในการยืดจนขาดลดลง



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดูลัสที่ 100 เปอร์เซ็นต์ของยางที่แปรปริมาณสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ก่อนและหลังการบ่มเร่ง



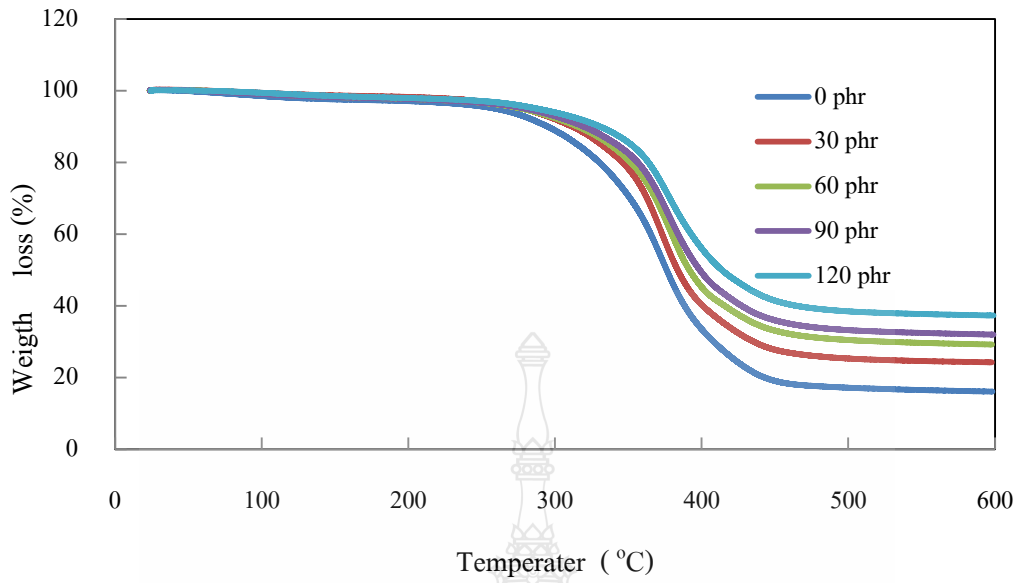
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานต่อแรงดึงของยางที่แปรปริมาณสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ก่อนและหลังการบ่มเร่ง



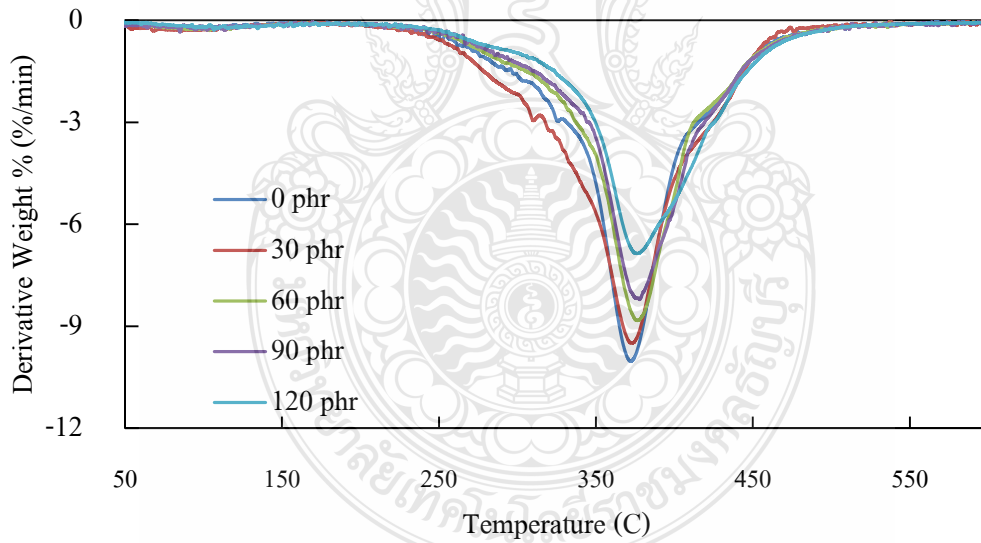
รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืด ณ จุดขาดของยางที่แปรปริมาณสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ก่อนและหลังการบ่มเร่ง

#### 4.13 สมบัติการทนความร้อน

ผลการทดสอบการสลายตัวด้วยความร้อนของยางคอมพอสิตที่แปรปริมาณสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ด้วยเทคนิค TGA ให้เทอร์โมแกรม TGA แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของน้ำหนักกับอุณหภูมิ และเทอร์โมแกรม DTG แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักกับอุณหภูมิ แสดงดังรูปที่ 4.15 และ 4.16 ตามลำดับ และค่าอุณหภูมิการสลายตัวของคอมพอสิตสรุปได้ดังตารางที่ 4.10



รูปที่ 4.15 เทอร์โมแกรม TGA แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของน้ำหนักกับอุณหภูมิของยางคอมพอสิตที่แปรปริมาณสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์



รูปที่ 4.16 เทอร์โมแกรม DTG แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักกับอุณหภูมิของยางคอมพอสิตที่แปรปริมาณสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์

ตารางที่ 4.10 อุณหภูมิการสลายตัว ( $T_d$ ) อัตราการสลายตัว (Rate of Decomposition) และน้ำหนักที่เหลืออยู่ (Residual weight) ของยางคอมโพสิตที่แปรปริมาณสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์

MH content	$T_{d_{max}}$ (°C)	$T_{d_{onset}}$ (°C)	$T_{d_{offset}}$ (°C)	Residue (%) at 600 °C
NR-MH0-F60	372.21	325.07	413.23	15.98
NR-MH30-F60	373.01	330.61	416.01	24.01
NR-MH60-F60	376.45	334.43	419.56	29.99
NR-MH90-F60	377.90	336.41	426.78	33.00
NR-MH120-F60	376.14	345.78	429.65	38.05

จากรูปที่ 4.15 แสดงเทอร์โมแกรม TGA ของยางคอมโพสิตที่ใส่ปริมาณสารทนไฟ (MH) 0-120 phr ซึ่งพบว่ายางธรรมชาติ (NR) จะมีการสลายตัวในขั้นเดียว (one - step decomposition) โดยที่ยางธรรมชาติจะมีการสลายตัวที่ 250 - 300 °C โดยเมื่อพิจารณาเทอร์โมแกรม DTG จากรูปที่ 4.16 จะเห็นว่าเกิดการสลายตัวอย่างชัดเจน ซึ่งพีคจะเกิดการสลายตัวสูงสุดที่อุณหภูมิประมาณ 372-376 °C เป็นการสลายตัวของยางธรรมชาติพร้อมกับสารทนไฟ MH โดยอุณหภูมิการสลายตัวจะสูงขึ้นตามปริมาณของสารทนไฟ (MH) ที่เพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 4.10 เนื่องจากสารทนไฟ MH มีอุณหภูมิการสลายตัวสูงกว่ายางธรรมชาติ เมื่อยางคอมโพสิตได้รับความร้อนส่วนของสารทนไฟ MH เป็นสารอินทรีย์ที่สามารถดูดซับความร้อนได้ก่อนที่จะสลายตัวที่อุณหภูมิกำหนดหนึ่ง (300-320°C) [40] ทำให้อุณหภูมิการสลายตัวเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ที่เกิดขึ้นยังทำหน้าที่เป็นฉนวนป้องกันความร้อนจากภายนอกจึงช่วยลดการเสื่อมสภาพของชิ้นงานอีกด้วย [10] ดังนั้นการเติมสารทนไฟ MH ในปริมาณที่มากพอ นั้นอาจส่งผลให้ความร้อนที่อาจจะกระจายสู่เนื้อพอลิเมอร์ลดลง ยางคอมโพสิตมีความเสถียรเชิงความร้อนดีขึ้น และเมื่อพิจารณาอุณหภูมิการสลายตัวสูงสุด ( $T_{d_{max}}$ ) และอัตราการสลายตัวของเฟสยาง พบว่าการเติมสารทนไฟในปริมาณที่มากกว่า 30 phr ทำให้อุณหภูมิการสลายตัวสูงสุดของเฟสยางเพิ่มขึ้น [14,38]

#### ตอนที่ 4: การทดสอบการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิพื้นผิวนองของแผ่นยางคอมโพสิต และศึกษาความพึงพอใจของการใช้แผ่นยางคอมโพสิต

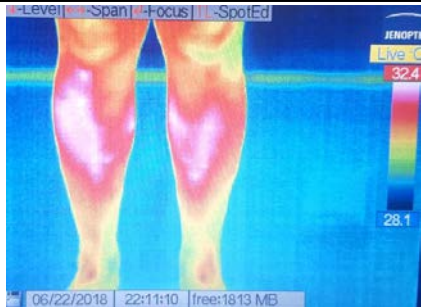
##### 4.14 การศึกษาสมบัติของแผ่นยางคอมโพสิตด้วยเครื่องจับความร้อน (Infrared Camera)

การทดสอบการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิพื้นผิวนองบนกระเบื้องปูพื้นและบนแผ่นรองป้องกันความเมื่อยล้าด้วยกล้องจับความร้อน Infrared Camera รุ่น Vario CAM โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 4 การทดสอบ คือการขึ้นบนกระเบื้องปูพื้นก่อนการทดสอบ ขึ้นบนกระเบื้องปูพื้น 30 นาที ก่อนการทดสอบ การขึ้นแผ่นรองป้องกันความเมื่อยล้าและแผ่นรองป้องกันความเมื่อยล้า 30 นาที

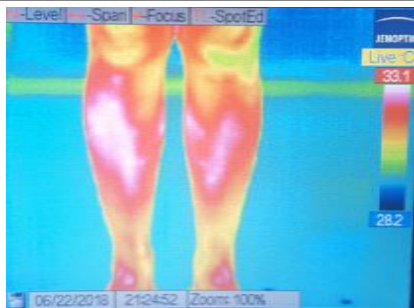
จากการทดสอบการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิพื้นผิวนองบนกระเบื้องปูพื้นและบนแผ่นรองป้องกันความเมื่อยล้าด้วยกล้องจับความร้อน Infrared Camera รุ่น Vario CAM พบว่าจากตารางที่ 4.11 สูตรที่ 1-5 มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิพื้นผิวนองบนแผ่นรองป้องกันความเมื่อยล้า เมื่อเทียบกับการขึ้นบนแผ่นกระเบื้องปูพื้น ซึ่งสามารถสันนิษฐานได้ว่าเกิดการไหลเวียนโลหิตดีขึ้น ซึ่งจากการทดสอบสูตรที่ 1 สูตรที่ 2 และสูตรที่ 3 อุณหภูมิพื้นผิวนองเกิดขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากแผ่นยางมีความยืดหยุ่นซึ่งมาจากเฟสของยางธรรมชาติที่มากกว่าปริมาณเส้นใยเกิดการถ่ายเทพลังงานทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิพื้นผิว [29] ส่วนสูตรที่ 4 และ 5 พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงที่เห็นได้ในอุณหภูมิพื้นผิวนองที่ไม่แตกต่างกัน เนื่องจากสูตรที่ 4 และสูตรที่ 5 แผ่นยางมีความแข็ง เหนียวไม่ยืดหยุ่นทำให้การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิพื้นผิวนองเกิดขึ้นน้อย ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับแถบสี แถบสีที่สว่างบ่งบอกถึงอุณหภูมิสูงมีความร้อนเกิดขึ้น และแถบสีเข้มบ่งบอกถึงอุณหภูมิต่ำเกิดความร้อนได้น้อยหรือไม่เกิดความร้อน



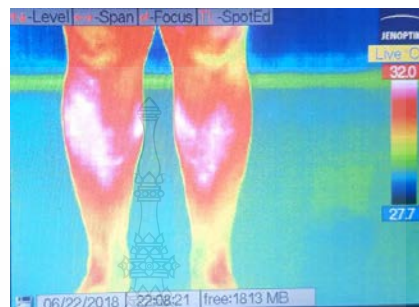
บนกระเบื้องปูพื้น ก่อนที่จะเริ่มทำการทดสอบ



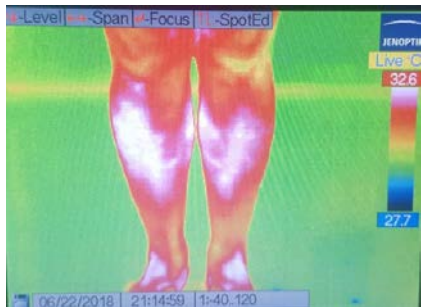
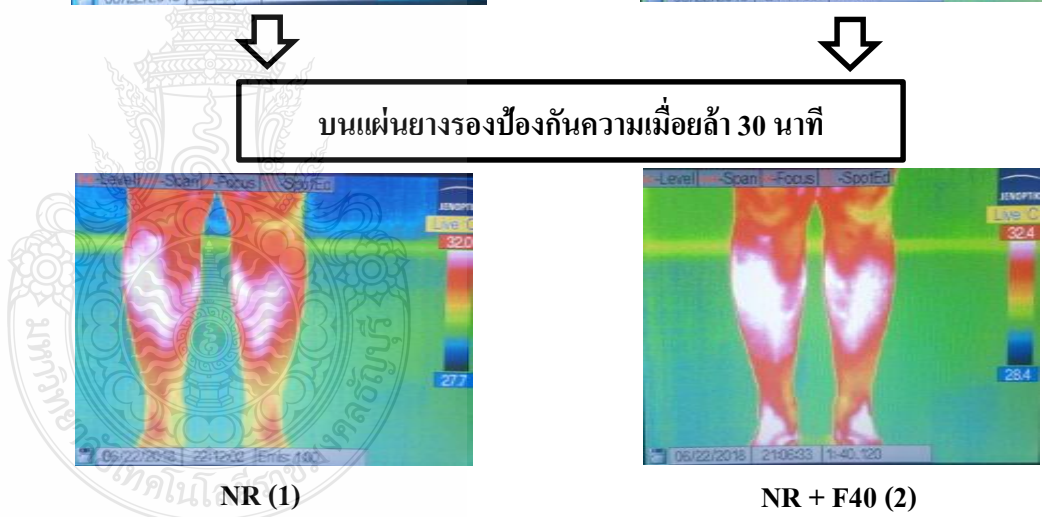
บนพื้นแผ่นกระเบื้อง 30 นาที



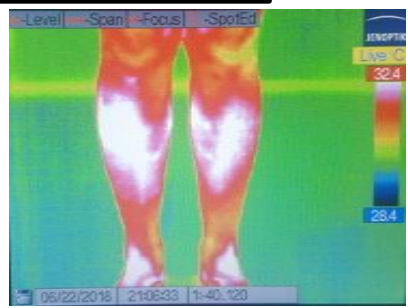
บนแผ่นยางรองป้องกันความเมื่อยล้า



บนแผ่นยางรองป้องกันความเมื่อยล้า 30 นาที

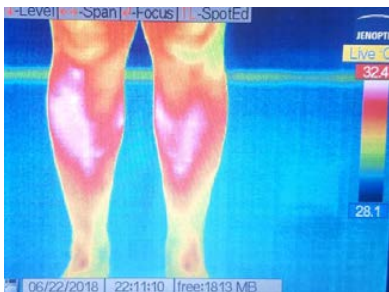


NR + F40 (2)

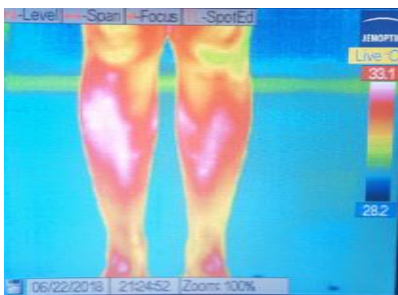


รูปที่ 4.17 การทดสอบการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิพื้นน่องบนกระเบื้องปูพื้นและบนแผ่นยางลดความเมื่อยล้าด้วยกล้องจับความร้อน Infrared Camera รุ่น Vario CAM

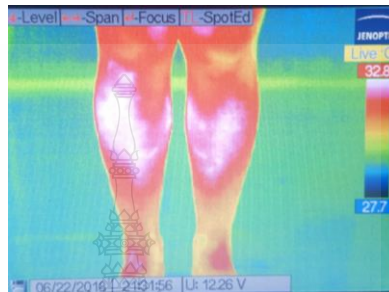
บนกระเบื้องปูพื้น ก่อนที่จะเริ่มทำการทดสอบ



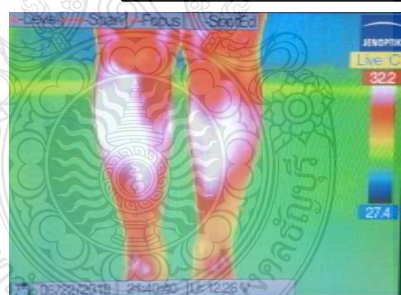
บนพื้นแผ่นกระเบื้อง 30 นาที



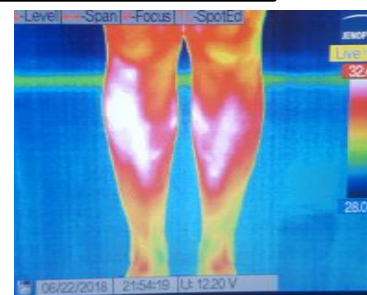
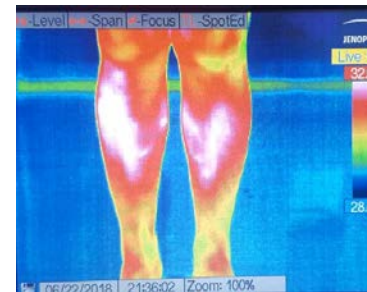
บนแผ่นยางรองป้องกันความเมื่อยล้า



บนแผ่นยางรองป้องกันความเมื่อยล้า 30 นาที



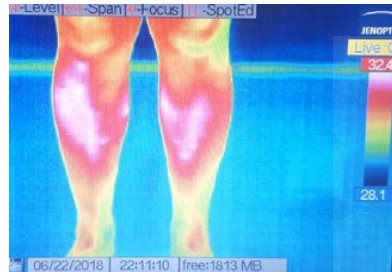
NR + F60 (3)



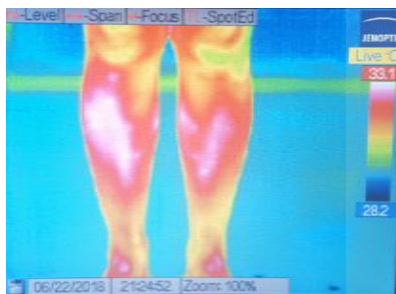
NR + F80 (4)

รูปที่ 4.17 การทดสอบการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิพื้นน่องบนกระเบื้องปูพื้นและบนแผ่นยางลดความเมื่อยล้าด้วยกล้องจับความร้อน Infrared Camera รุ่น Vario CAM

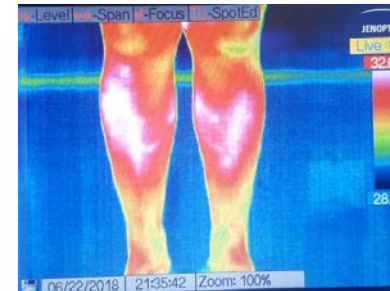
บนกระเบื้องปูพื้น ก่อนที่จะเริ่มทำการทดสอบ



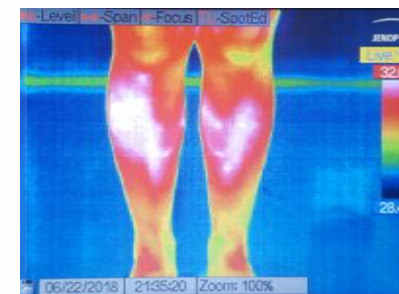
บนพื้นแผ่นกระเบื้อง 30 นาที



บนแผ่นยางรองป้องกันความเมื่อยล้า



บนแผ่นยางรองป้องกันความเมื่อยล้า 30 นาที



NR + F100 (5)

รูปที่ 4.17 การทดสอบการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิพื้นน่องบนกระเบื้องปูพื้นและบนแผ่นยางลดความเมื่อยล้าด้วยกล้องจับความร้อน Infrared Camera รุ่น Vario CAM

หมายเหตุ สีขาว สันนิษฐานการเกิดการไหลเวียนเลือด

สถานที่ทดสอบ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

อุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ : กล้องจับความร้อน Infrared Camera รุ่น Vario CAM

ตารางที่ 4.11 การศึกษาความพึงพอใจพฤติกรรมในการใช้แผ่นยางคอมโพสิตจากธรรมชาติ

ผสมเส้นใยมะพร้าว

ข้อ	ความพึงพอใจ	ค่าเฉลี่ย				
		สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5
	<b>ความพึงพอใจต่อคุณค่าที่ได้รับจากแผ่นยางกันเมื่อย</b>					
1	แผ่นยางคอมโพสิตสามารถรองรับทุกสรีระ	4.47	4.46	4.46	4.40	4.00
2	แผ่นยางคอมโพสิตมีความสะอาด	4.20	4.54	4.54	4.34	4.00
3	แผ่นยางคอมโพสิตบรรเทาอาการปวดเมื่อยร่างกาย	4.00	4.14	4.26	4.00	3.86
4	ความคุ้มค่าเมื่อเทียบกับประโยชน์ที่ได้รับ	3.80	4.00	4.40	4.20	4.34
	<b>ความพึงพอใจในด้านผลิตภัณฑ์จากแผ่นยางคอมโพสิต</b>					
5	มีความสะดวกในการดูแลรักษา	4.13	4.27	4.20	4.27	4.20
6	มีความคงทนและหนาแน่น	4.20	4.47	4.54	4.27	4.34
7	สามารถนำมาใช้งานได้ต่อเนื่อง	4.47	4.40	4.40	4.34	4.47
	<b>ความพึงพอใจด้านความปลอดภัย</b>					
8	แผ่นยางคอมโพสิตมีความปลอดภัย	4.60	4.47	4.67	4.54	4.54
9	มีการทดลองโดยผ่านวิธีการทางกายภาพ	4.34	4.47	4.34	4.47	4.20
10	ไม่เป็นพิษกับสิ่งแวดล้อม	4.47	4.46	4.34	4.54	4.40
	<b>รวม</b>	<b>4.26</b>	<b>4.36</b>	<b>4.41</b>	<b>4.33</b>	<b>4.23</b>

จากผลการศึกษาความพึงพอใจพฤติกรรมในการใช้ผลิตภัณฑ์แผ่นยางคอมโพสิตจากยางธรรมชาติผสมเส้นใยมะพร้าว ดังตารางที่ 4.12 โดยศึกษากับกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 15 คน พบว่า กลุ่มตัวอย่างทั้งเพศชายและเพศหญิงมีความพึงพอใจพฤติกรรมในการใช้ผลิตภัณฑ์แผ่นยางคอมโพสิตจากยางธรรมชาติผสมเส้นใยมะพร้าวไม่แตกต่างกันโดยสูตรที่ 1-5 คิดเป็นค่าเฉลี่ย 4.26, 4.36, 4.41, 4.33 และ 4.23 ตามลำดับในภาพรวมอยู่ในระดับพอใจมาก ซึ่งพบว่าสูตรที่ 3 มีค่าความพึงพอใจพฤติกรรมในการใช้ผลิตภัณฑ์แผ่นยางคอมโพสิตจากยางธรรมชาติผสมเส้นใยมะพร้าวมากกว่าสูตรอื่นๆ โดยมีค่าเฉลี่ย 4.41



## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 การศึกษาการหาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงผิวของเส้นใยมะพร้าวโดยใช้วิธีการปรับปรุงทางเคมีด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น คือ 4, 8, 10 และ 12 % wt

จากการศึกษาความชื้นและค่าการดูดซึมน้ำของเส้นใยมะพร้าว พบว่าหลังจากที่เส้นใยมะพร้าวได้รับการปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ปริมาณความเข้มข้นต่างๆ ทำให้เส้นใยมีค่าการดูดความชื้นเพิ่มขึ้นจากเส้นใยเดิม 16.06 % เป็น 26.54% ส่วนค่าการดูดซึมน้ำของเส้นใยมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าเมื่อปริมาณความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้น

จากการศึกษาสมบัติของเส้นใยมะพร้าว พบว่าค่าความเหนียวของเส้นใยมีค่าลดลงหลังจากมีการปรับปรุงผิว เดิมค่าความเหนียวของเส้นใยอยู่ที่ 361.11gf/den เมื่อปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 12%wt ค่าความเหนียวของเส้นใยลดลงเหลือเพียง 283.31gf/den ส่วนค่าการทนแรงดึงของเส้นใยมีค่าลดลงเช่นกันหลังจากปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์จาก 0.067 MPa เป็น 0.050 MPa และค่าระยะยืดของเส้นใยมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยหลังจากปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

ผลจากการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใยมะพร้าวพบว่า การปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถกำจัดสิ่งสกปรกต่างๆที่อยู่บนพื้นผิวของเส้นใยได้ โดยสามารถกำจัดพวกไขมัน ลิกนินและเฮมิเซลลูโลสได้ ซึ่งยืนยันด้วย FT-IR และ SEM

#### 5.1.2 การศึกษาอิทธิพลของปริมาณเส้นใยมะพร้าวต่อสมบัติของแผ่นยางคอมโพสิต

ผลจากการศึกษาอิทธิพลของปริมาณเส้นใยมะพร้าวต่อสมบัติของแผ่นกันเมื่อย โดยแปรปริมาณเส้นใยมะพร้าวที่ไม่ได้ปรับปรุงผิวและปรับปรุงผิวที่ปริมาณ 40, 60, 80 และ 100 phr ทำการศึกษาสมบัติเชิงกล พบว่า เมื่อปริมาณเส้นใยมะพร้าวเพิ่มขึ้น สมบัติความต้านทานต่อแรงดึงและค่าความสามารถในการยืดจนขาดมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากการเข้ากันระหว่างเส้นใยมะพร้าวกับเนื้อเมทริกซ์เมื่อเติมเส้นใยลงไปปริมาณที่มากขึ้นจึงทำให้เส้นใยมะพร้าวและเนื้อเมทริกซ์เข้ากันไม่ดี ในขณะที่ค่าความแข็งและค่ามอดูลัสที่ 100% มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มมากขึ้น



ผลจากการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของคอมโพสิตพบว่า การที่เส้นใยมะพร้าวได้มีการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ทำให้ช่องว่างระหว่างเส้นใยกับยางลดลงจึงส่งผลให้ยางคอมโพสิตมีการทนแรงดึงที่ดีขึ้นเป็นผลมาจากช่องว่างระหว่างเส้นใยกับยางลดลง

5.13 การศึกษาอิทธิพลของปริมาณสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ (Magnesium Hydroxide, MH) ต่อสมบัติของยางทนไฟจากการผสมระหว่างยางธรรมชาติกับเส้นใยมะพร้าว

สมบัติทนไฟตามมาตรฐาน UL94 HB ของคอมโพสิตระหว่างยางธรรมชาติและเส้นใยมะพร้าวที่แปรปริมาณสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ พบว่าการเติมสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ที่มากกว่า 30 phr ส่งผลให้วัสดุคอมโพสิตที่ได้มีอัตราการเผาไหม้ (Burning Rate) ลดลง และอุณหภูมิการสลายตัวที่วิเคราะห์จาก TGA มีค่าสูงขึ้นตามปริมาณของสารทนไฟ (MH) ที่เพิ่มขึ้น

5.1.4 การศึกษาสมบัติของแผ่นยางคอมโพสิตลดความเมื่อยล้าด้วยเครื่องจับความร้อน

ผลจากการทดสอบการใช้แผ่นยางคอมโพสิตสูตรที่ 1- 5 เมื่อใช้แผ่นยางคอมโพสิตจะเห็นว่าอุณหภูมิของพื้นผิวนองได้เพิ่มขึ้นสามารถสันนิษฐานได้ว่าการไหลของโลหิตได้ดี ส่วนการทดลองใช้สูตรที่ 4 และสูตร ที่ 5 พบว่าอุณหภูมิของพื้นผิวนองได้เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย

จากผลการศึกษาคความพึงพอใจพฤติกรรมในการใช้ผลิตภัณฑ์แผ่นกันเมื่อยล้าจากยางธรรมชาติผสมเส้นใยมะพร้าว โดยศึกษากับกลุ่มตัวอย่างเพศชาย 7 คน เพศหญิง 8 คน พบว่า กลุ่มตัวอย่างทั้งเพศชายและเพศหญิงมีความพึงพอใจในการใช้ผลิตภัณฑ์แผ่นยางคอมโพสิตลดความเมื่อยล้าจากยางธรรมชาติผสมเส้นใยมะพร้าว ไม่แตกต่างกันในภาพรวมอยู่ในระดับพอใจมาก

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในการวิจัยนี้ไม่ได้ศึกษาเรื่องวิธีการป้องกันการเสื่อมสภาพจากเชื้อรา จึงควรศึกษาเพิ่มเติม

5.2.2 ควรออกแบบแผ่นยางคอมโพสิตควรออกแบบให้หลากหลายเหมาะสมกับการใช้งานในแต่ละด้าน

5.2.3 ด้านพัฒนาคุณภาพวัสดุ วัสดุเส้นใยจากมะพร้าวมีคุณสมบัติด้านความเหนียวซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นวัสดุผลิตงานอื่นๆได้หลายชนิด หากมีการศึกษาพัฒนาคุณภาพวัสดุเพิ่มขึ้นโดยใช้เส้นใยมะพร้าวผสมผสานกับเส้นใยสังเคราะห์ หรือผสมกับสารอื่น ๆ เช่น พลาสติก เรซิน อาจทำให้มีคุณสมบัติเพิ่มขึ้นอีกก็จะเป็นคุณสมบัติที่นำไปใช้ทำผลิตภัณฑ์ใช้ประโยชน์ได้กว้างขวางมากยิ่งขึ้น

5.2.4 ควรศึกษาสมบัติการกระเด็นตัวของวัสดุคอมโพสิต

5.2.5 ควรเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ของทางการค้าเพื่อเป็นการอ้างอิงการทดสอบ

## บรรณานุกรม

- [1] ยืนทำงานอย่างไรให้ไร้โรค (online), Available: <https://www.doctor.or.th/article/detail/3757>, (10 มิถุนายน 2560)
- [2] บทความวิทยาศาสตร์, ยางธรรมชาติ (Natural rubber) (online), 2004, Available: [http://www.electron.rmutphysics.com/sciencenews/index.php?option=com\\_content&task=view&id=141](http://www.electron.rmutphysics.com/sciencenews/index.php?option=com_content&task=view&id=141), (20 มิถุนายน 2560)
- [3] ยางแผ่นดิบ (online), Available: [http://km.rubber.co.th/index.php?option=com\\_content&view=article&id=4352:2012-06-05-04-21-01&catid=124:2012-06-05-03-34-48&Itemid=236](http://km.rubber.co.th/index.php?option=com_content&view=article&id=4352:2012-06-05-04-21-01&catid=124:2012-06-05-03-34-48&Itemid=236) (10 กรกฎาคม 2560)
- [4] ยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ (online), Available: [rubberthai.com/yang/administrator/jour/98%20อุตสาหกรรมยาง.pdf](http://rubberthai.com/yang/administrator/jour/98%20อุตสาหกรรมยาง.pdf), (20 มิถุนายน 2560)
- [5] พงษ์ธร แซ่อู๋, ยาง ชนิด สมบัติ และการใช้งาน, พิมพ์ครั้งที่ 2, ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค), 2537. หน้า 4-13.
- [6] มณฑา จันท์เกตุเล็ก, วิทยาศาสตร์สิ่งทอเบื้องต้น, พิมพ์ครั้งที่ 1, หอรัตนชัยการพิมพ์, 2541. หน้า 59- 97.
- [7] ภวี หวังนิเวศน์กุล, วัสดุวิศวกรรม (Engineering Materials), รุ่งแสงการพิมพ์, 2554. หน้า 363-376.
- [8] ผกามาศ ชูสิทธิ์ และ กิตติพงษ์ สุวีโร, “การใช้ขุยมะพร้าวเพื่อเสริมความต้านทานแรงดึงของผลิตภัณฑ์แผ่นยางธรรมชาติ,” งานวิจัย, คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, 2558.
- [9] พงษ์ธร แซ่อู๋, สารเคมียาง, พิมพ์ครั้งที่ 2, ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค), 2550. หน้า 117-118.
- [10] พลฤทธิพงษ์ พันธมนัสโสภา, “ความคงทนและสมบัติของเส้นใยปอกระเจาที่ปรับปรุงผิวผสมในวัสดุยางคอม โปสิต,” วิทยานิพนธ์, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2557.



## บรรณานุกรม (ต่อ)

- [11] มาลีสิน ชัยสุภกิจสินธุ์ ทิพย์รัตน์ พิฑูรทัศน์ พนิดา พุทธชาตสมบัติ และ รัชมาลีนี สุเริงฤทธิ์, “สมบัติของแผ่นไม้อัดจากเส้นใยมะพร้าวกับโพลีเอสเตอร์อินผสมสารหน่วงไฟ,” วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา, ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2553.
- [12] กษมา จารุกำจร และผู้ร่วมวิจัย นิธินาถ สุภกาญจน์, “การเตรียมคอมโพสิตจากยางธรรมชาติและเส้นใยป่านศรนารายณ์,” งานวิจัย, สาขาวิชาวิศวกรรมพอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2555.
- [13] เกศินี โกศลเมธี, “การเตรียมและสมบัติเชิงกลของยางคอมโพสิตเตรียมจากยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกผสมเส้นใยปอกระเจา,” วิทยานิพนธ์, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีพอลิเมอร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2552
- [14] วิมลลักษณ์ สุตะพันธ์, กษมา จารุกำจร และยุพาพร รักสกุลพิวัฒน์, “การศึกษาผลการดัดแปรด้วยความร้อนต่อลักษณะเฉพาะของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ปลูกในนครราชสีมา,” รายงานการวิจัย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2558.
- [15] อาดิละห์ ศิริวัลลภ, “วัสดุเชิงประกอบจากโพลีเอสเตอร์ไนไซเคิลและเส้นใยธรรมชาติ,” วิทยานิพนธ์, สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2558.
- [16] Morgan, A.B. and Gliman, J.W. 2013. An overview of flame retardancy of polymeric materials: application, technology and future directions. *Fire and Materials*. 37, 259-279.
- [17] Hull, T.R., Witkowski, A. and Hollingbery, L. Fire retardant action of mineral fillers. *Polymer Degradation and Stability* Vol.96 (2011) pp.1462-1469.
- [18] UL 94 Flammability Ratings, (online), Available: <http://www.tortaittech.com/upload/download> (18 สิงหาคม 2560)
- [19] Kiliaris, P. and Papaspyrides, C.D. 2010. Polymer/layered silicate (clay) nanocomposites: An overview of flame retardancy. *Progress in Polymer Science*. 35, 902-958.
- [20] บุญธรรม นิธิอุทัยม, “กระบวนการแปรรูป,” เอกสารประกอบการเรียน, 2530

## บรรณานุกรม (ต่อ)

- [21] H. Ismail, S. Shuhelmy, and M.R. Edyham, "The effects of a silane coupling agent on curing characteristics and mechanical properties of bamboo fibre filled natural rubber composites "European Polymer Journal, vol. 38 (April 2002),pp. 39-47
- [22] H. Gu, Tensile behaviours of the coir fibre and related composites after NaOH treatment, Materials and Design Vol. 30 (2009), pp. 3931–3934
- [23] F.Z. Arrakhiz, M. El Achaby, M. Malha, M.O. Bensalah, O. Fassi-Fehri, R. Bouhfid, K. Benmoussa, A. Qaiss, "Mechanical and thermal properties of natural fibers reinforced polymercomposites:Doum/low density polyethylene" JournalMaterials and Design 43 (2013) pp. 200–205
- [24] Mohd Edeerozey, A. M., Md Akil, H., Azhar, A. B., and Zainal Ariffin, M. I. ,Chemical modification of kenaf fibers. Mater. Letters. 61. (2007) pp. 2023-2025
- [25] Maya Jacob, SabuThomas, K.T.Varughese, Mechanical properties of sisal/oil palm hybrid fiber reinforced natural rubber composites. composites science and technology Vol.64 (2004) pp. 955-965
- [26] Sain, M., Park, S.H., Suhara, F. and Law, S. Flame retardant and mechanical properties of natural fibre-PP composites containing magnesium hydroxide. Polymer Degradation and Stability Vol.83 (2004) pp. 363-367
- [27] Rotheron, R. N. and Hornsby, P. R. Flame retardant effect of magnesium hydroxide. Polymer Degradation and Stability Vol. 54 (1996) 383-385.
- [28] Bahattab, M. A., Mosnáček, J., Basfar, A. A. and Shukri, T. M. Cross-linked poly (ethylene vinyl acetate) (EVA)/low density polyethylene (LDPE)/metal hydroxides composites for wire and cable applications. Polymer Bulletin, Vol. 64 (2010) 569-580.
- [29] การทดสอบแผ่นรองป้องกันความเมื่อยล้า (online), Available:<http://www.showarubber.com/th/products/nfm.html> (10 มิถุนายน 2560)
- [30] ภูษิต เลิศวัฒนรักษ์ และ อัญชสา สันติจิตโต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และผังเมือง มช. (online) Available:[http://www.tds.tu.ac.th/jars/download/jars/v91/08%20Properties%20of%20natural%20cement%20materials\\_Anchisa.pdf](http://www.tds.tu.ac.th/jars/download/jars/v91/08%20Properties%20of%20natural%20cement%20materials_Anchisa.pdf)

## บรรณานุกรม (ต่อ)

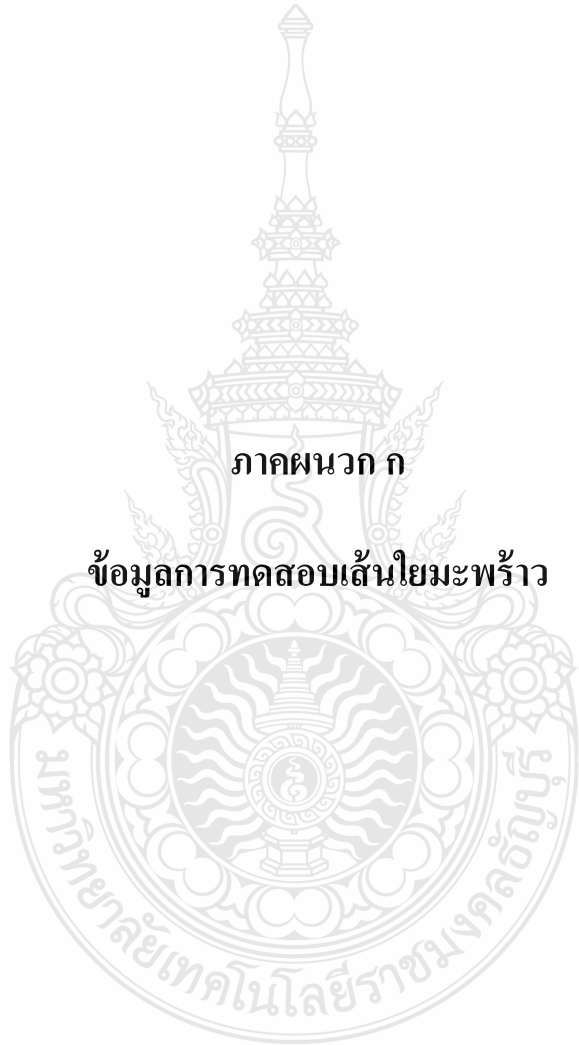
- [31] Asasutjarit C., Charoenva S., Hirunlabh, J., and Khedari, J. "Material and Mechanical Properties of Pretreated Coir-Based Green Composites," Composites Part B: Engineering, Vol. 40, (2009) pp. 633-637.
- [32] L.Y. Mwaikambo, M.P. Ansell Chemical modification of hemp, sisal, jute, and kapok fibers by alkalization J. Appl. Polym. Sci., 84 (12) (2002), pp. 2222-2234
- [33] A.Oushabi S.Sair F.Oudrhiri Hassani Y.Abboud O.Tanane A.El Bouari The effect of alkali treatment on mechanical, morphological and thermal properties of date palm fibers (DPFs): Study of the interface of DPF–Polyurethane composite Journal of Chemical Engineering Vol. 23 (2017) pp. 116-123
- [34] Mathew, L. and Joseph, R. Mechanical properties of short-isora-fiber-reinforced natural rubber composites: Effects of fiber length, orientation, and loading; alkali treatment; and bonding agent. J. Appl. Polym. Sci. Vol. 103(2007) pp 1640-1650
- [35] Cross, M.S., Cuasack, P.A. and Hornsby, P.R. Effects of tin additives on the flammability and smoke emission characteristics of halogen-free ethylene-vinyl acetate copolymer. Polymer Degradation and Stability Vol. 79 (2003) pp. 309-318
- [36] Sener, A.A. and Demirhan, E. The investigation of using magnesium hydroxide as a flame retardant in the cable insulation material by cross-linked polyethylene. Material and design Vol. 29 (2008) pp. 1376-1379
- [37] Chen, X., Yu, J., Guo, S., Luo, Z. and He, M. Effects of magnesium hydroxide and Its surface modification on crystallization and rheological behaviors of polypropylene. Polymer Composites Vol.10 (2009) pp. 943-947
- [38] J. Yuan, Y. Feng and L. He, Effect of thermal treatment on properties of ramie fibers. Degradation and Stability Vol. 133 (2016) pp.303-311
- [39] L.Liu, J. Yu, L. Cheng and X. Yang, Biodegradability of poly(butylene succinate) (PBS) composite reinforced with jute fibre, Polymer Degradation and Stability Vol. 94 (2009) pp. 90-94

ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

ข้อมูลการทดสอบเส้นใยมะพร้าว

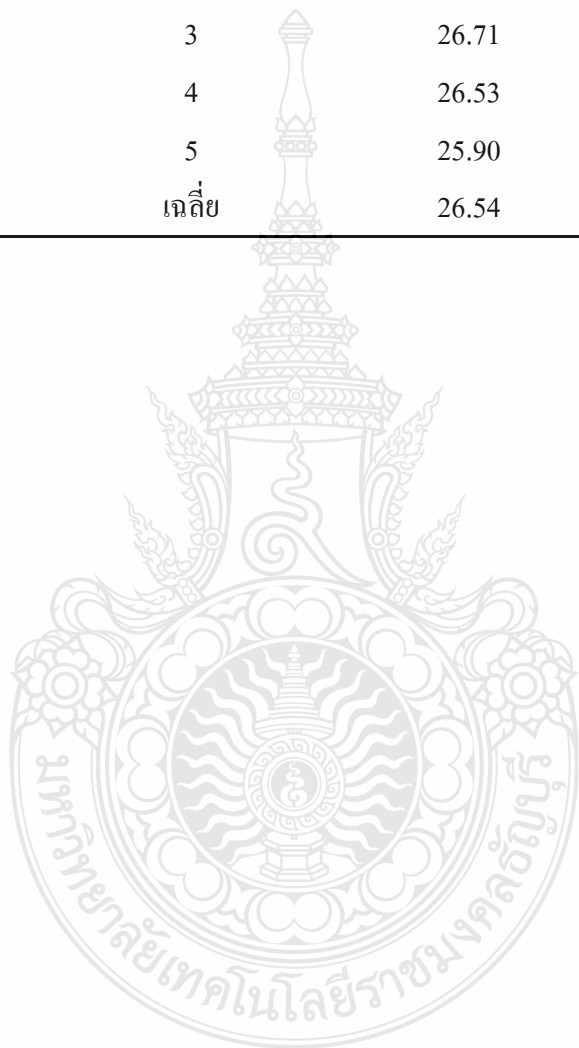


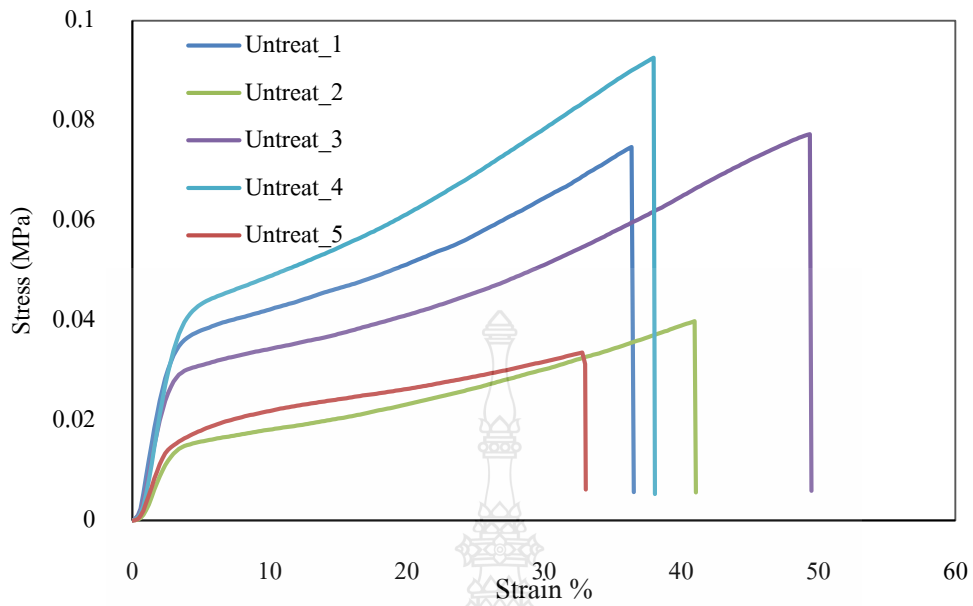
ตารางที่ ก1 สมบัติความคงทนของเส้นใย

ชื่อตัวอย่าง	ชั้นที่	ความชื้น (%)	การดูดน้ำ (%)
Fiber-Untreated	1	16.41	23.44
	2	15.92	26.54
	3	17.09	25
	4	16.12	23.9
	5	14.78	23.16
	เฉลี่ย	16.06	24.408
Fiber -4% NaOH	1	17.53	30.11
	2	17.98	29.34
	3	18.42	29.2
	4	19.77	31.54
	5	19.11	31.11
	เฉลี่ย	18.56	30.26
Fiber -8% NaOH	1	22.56	32.67
	2	22.81	34.56
	3	22.12	33.61
	4	21.49	36.33
	5	21.62	33.54
	เฉลี่ย	22.12	34.14
Fiber -10% NaOH	1	24.88	43.14
	2	23.86	41.65
	3	23.44	39.56
	4	23.34	42.39
	5	23.46	41.66
	เฉลี่ย	23.79	41.65

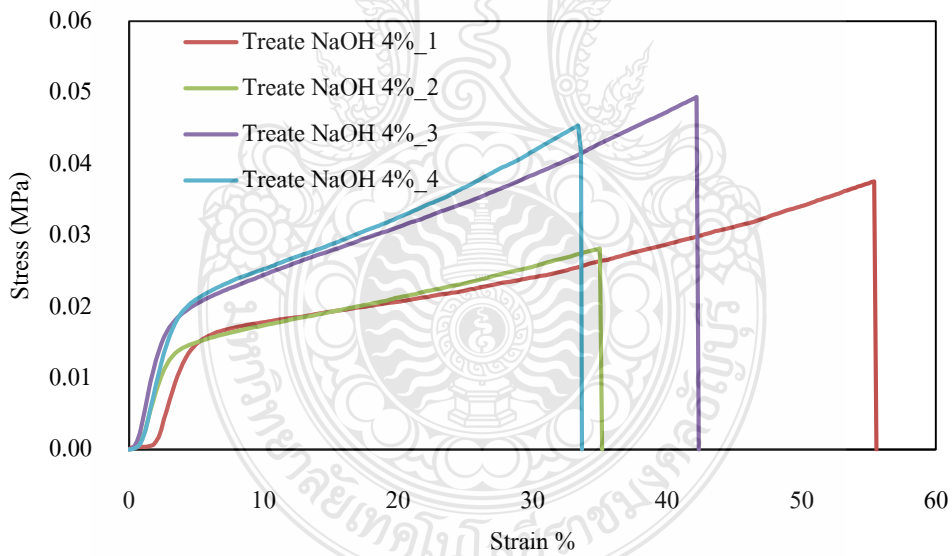
ตารางที่ ก1 สมบัติความคงทนของเส้นใย (ต่อ)

ชื่อตัวอย่าง	ชั้นที่	ความชื้น (%)	การดูดน้ำ (%)
Fiber -12% NaOH	1	27.21	48.3
	2	26.37	45.67
	3	26.71	45.89
	4	26.53	49.31
	5	25.90	49.3
	เฉลี่ย		26.54



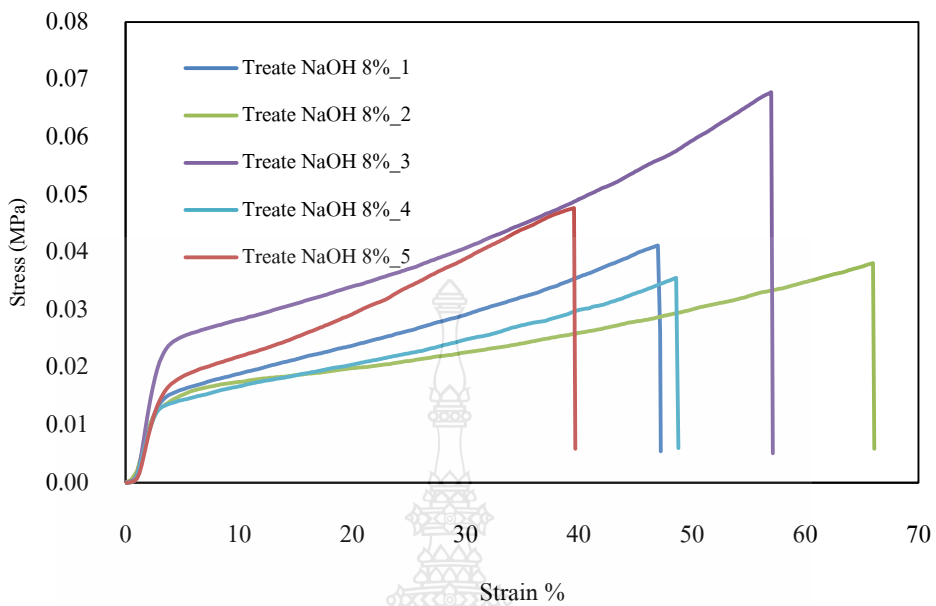


รูปที่ ก1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของเส้นใยมะพร้าวไม่ปรับปรุงผิว

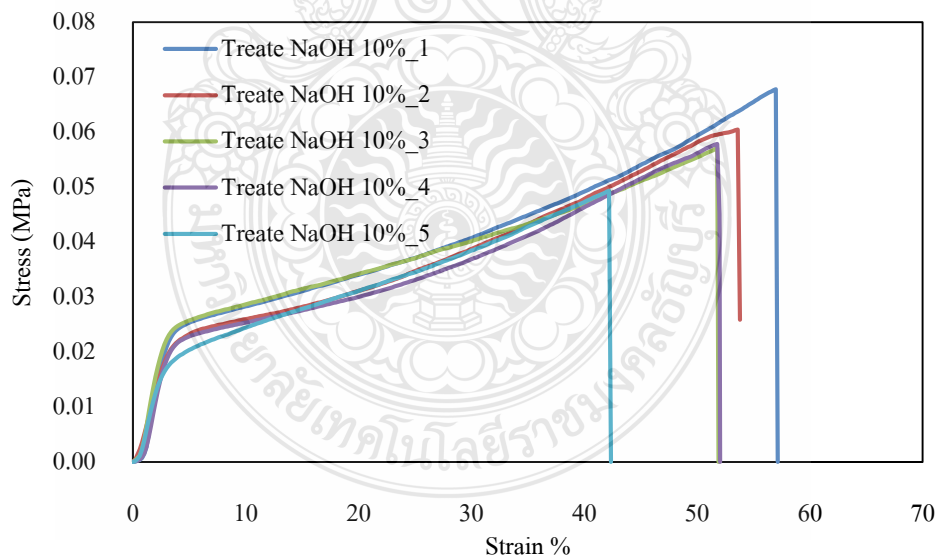


รูปที่ ก2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของเส้นใยมะพร้าวปรับปรุงผิวด้วย 4 wt% โซเดียมไฮดรอกไซด์

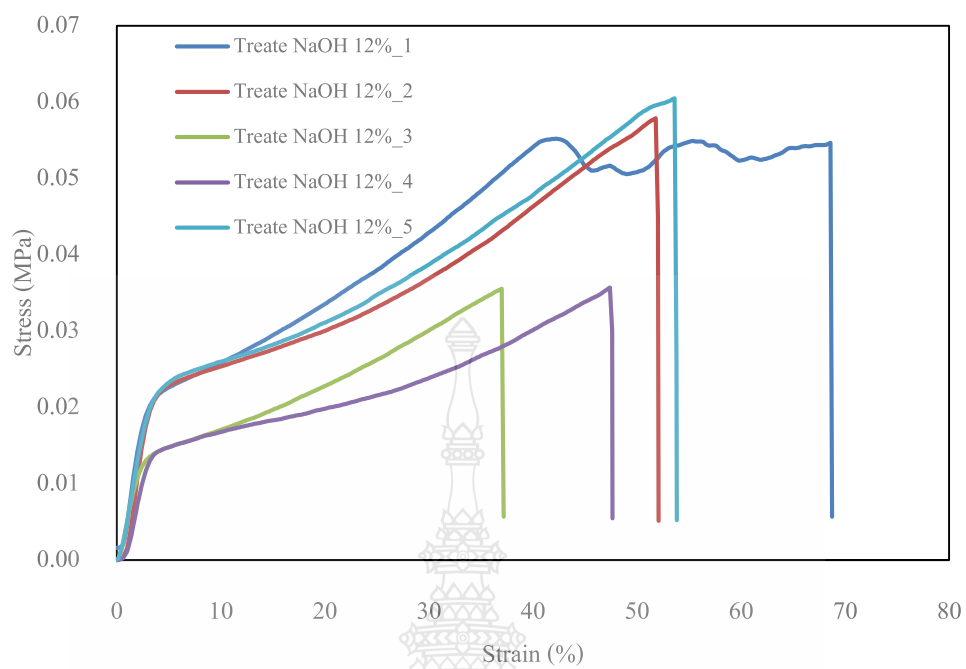




รูปที่ ก3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของเส้นใยมะพร้าวปรับปรุงผิวด้วย 8 wt% โซเดียมไฮดรอกไซด์



รูปที่ ก4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของเส้นใยมะพร้าวปรับปรุงผิวด้วย 10 wt% โซเดียมไฮดรอกไซด์



รูปที่ ก5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของเส้นใยมะพร้าวปรับปรุงผิวด้วย 12 wt% โซเดียมไฮดรอกไซด์



ตารางที่ 2ก สมบัติของเส้นใยมะพร้าว

ชื่อตัวอย่าง	ชั้นที่	Stress (MPa)	Strain (%)	Tenacity (gf/den)
Fiber-Untreated	1	0.092	36.61	354.34
	2	0.075	49.23	355.12
	3	0.072	36.42	378.78
	4	0.041	40.11	356.21
	5	0.037	33.0	356.33
	เฉลี่ย	0.067	39.07	361.11
Fiber -4% NaOH	1	0.045	33.23	344.91
	2	0.048	41.68	353.56
	3	0.036	54.0	342.44
	4	0.028	34.65	333.0
	เฉลี่ย	0.039	40.89	344.78
	Fiber -8% NaOH	1	0.067	57.0
2		0.047	45.85	327.11
3		0.04	39.60	331.56
4		0.033	46.29	323.12
5		0.036	63.48	331.0
เฉลี่ย		0.044	50.40	327.20
Fiber -10% NaOH	1	0.05	42.66	298.55
	2	0.056	50.79	312.45
	3	0.058	51.45	322.55
	4	0.06	53.14	315.80
	5	0.067	55.67	303.67
	เฉลี่ย	0.058	50.20	310.60

ตารางที่ 2ก สมบัติของเส้นใยมะพร้าว (ต่อ)

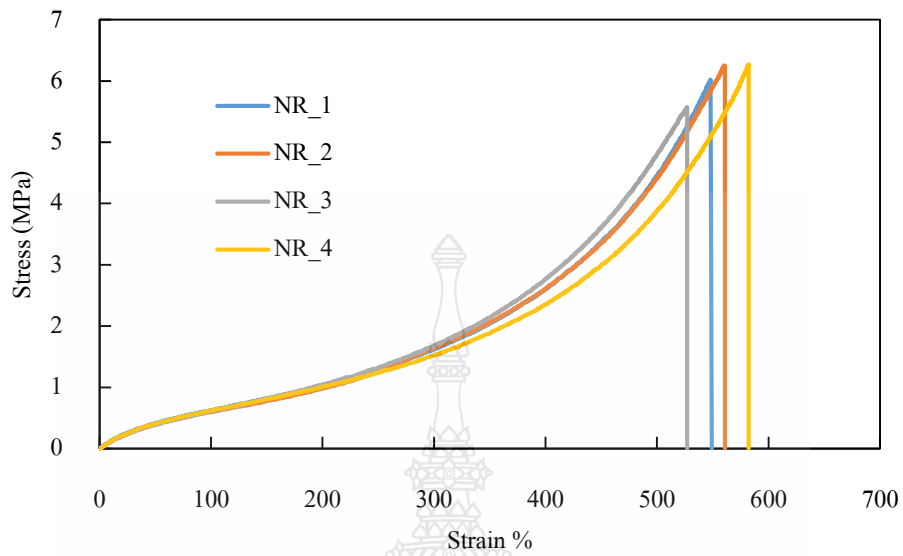
ชื่อตัวอย่าง	ชั้นที่	Stress (MPa)	Strain (%)	Tenacity (gf/den)
Fiber -12% NaOH	1	0.054	37.50	278.0
	2	0.060	47.37	289.33
	3	0.057	49.61	280.10
	4	0.035	53.60	278.34
	5	0.035	68.64	290.80
	เฉลี่ย		0.048	51.22



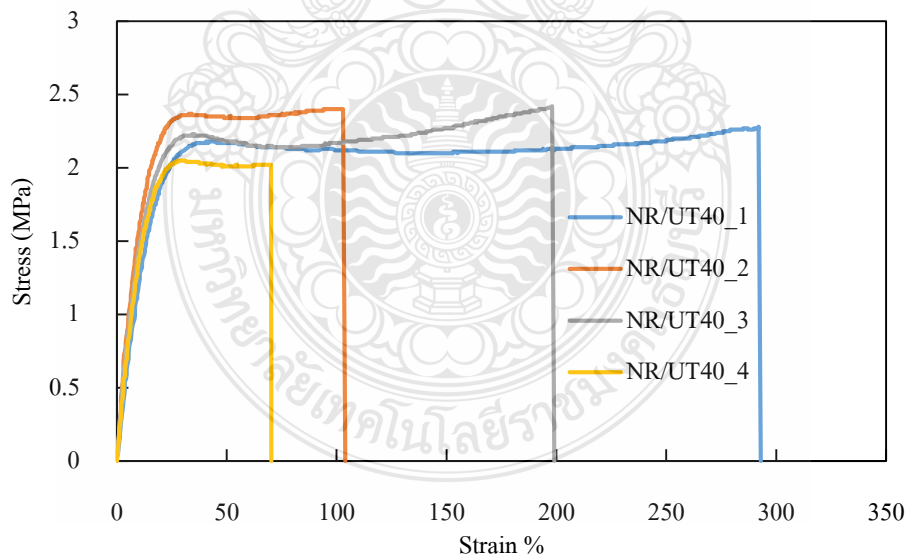
ภาคผนวก ข

ข้อมูลการทดสอบสมบัติทางกลของวัสดุคอมโพสิต

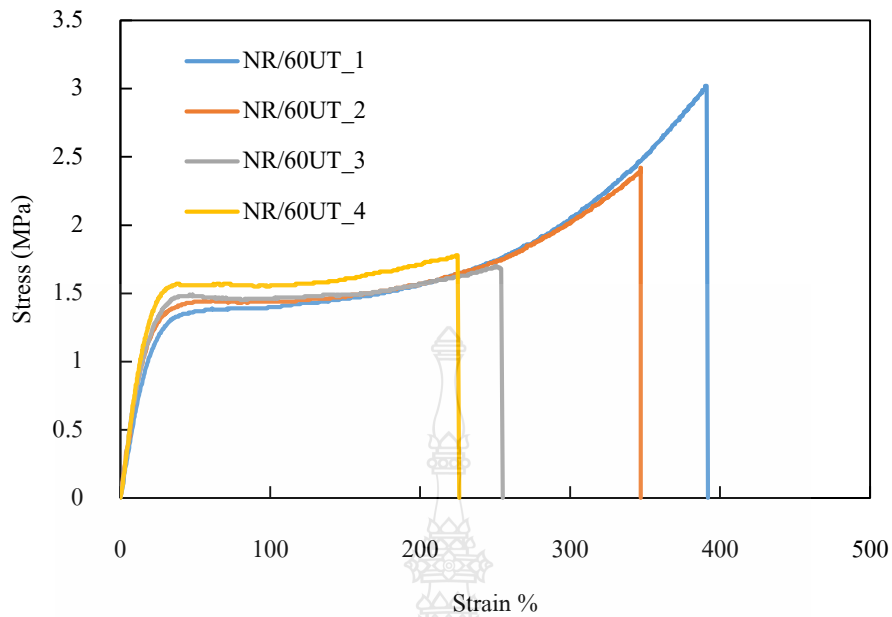




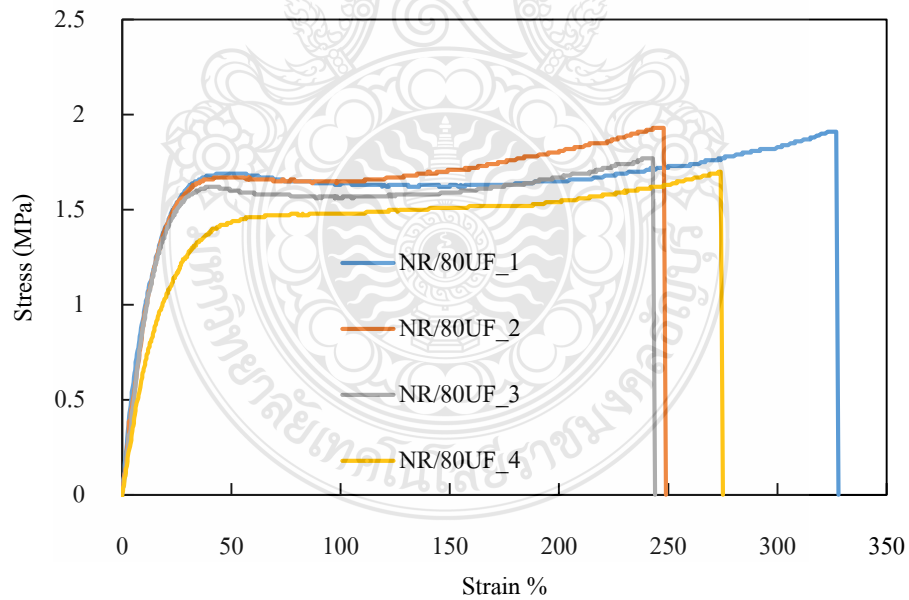
รูปที่ ข1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของยางธรรมชาติ



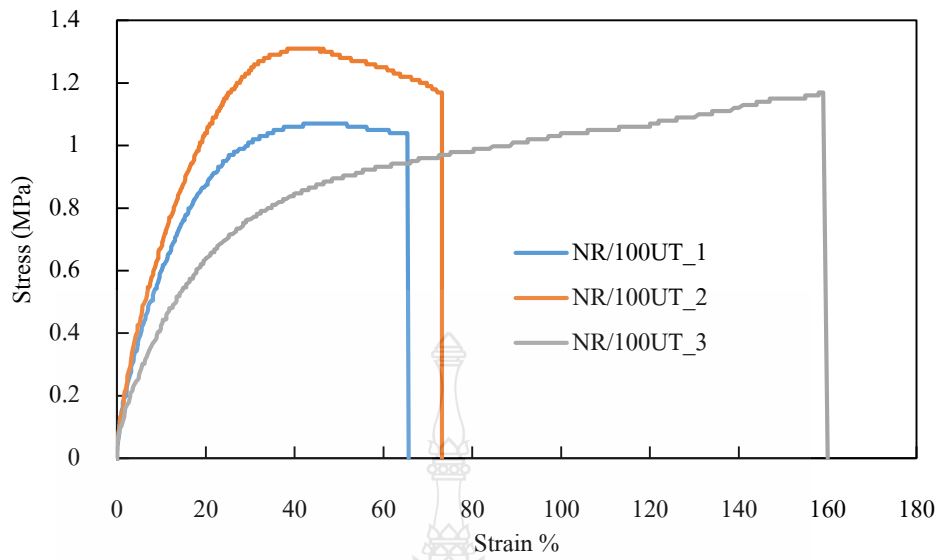
รูปที่ ข2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยมะพร้าวที่ 40 phr โดยเส้นใยยังไม่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์



รูปที่ ข3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยมะพร้าวที่ 60 phr โดยเส้นใยยังไม่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยไซเดียมไฮดรอกไซด์



รูปที่ ข4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยมะพร้าวที่ 80 phr โดยเส้นใยยังไม่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยไซเดียมไฮดรอกไซด์



รูปที่ ข5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยมะพร้าวที่ 100 phr โดยเส้นใยยังไม่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์





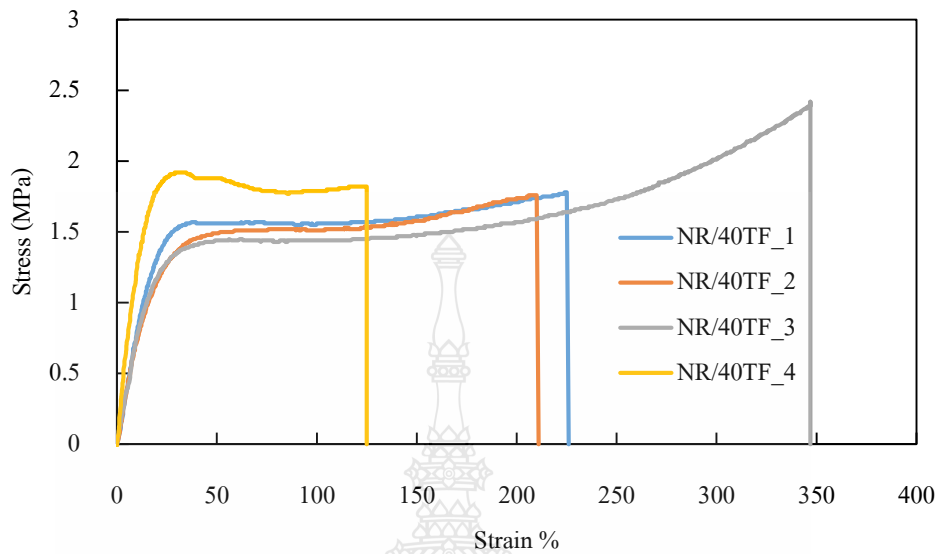
ตารางที่ ข 1 สมบัติเชิงกลของคอมโพสิต

ชื่อตัวอย่าง	ชั้นที่	Tensile Strength (MPa)	Elongation at break (%)	Hardness (Shore A)	Modulus 100% (MPa)
NR	1	6.048	548.86	43.2	0.628
	2	6.909	570.21	42.3	0.621
	3	7.181	606.98	42.2	0.534
	4	6.429	566.18	42.50	0.595
	ค่าเฉลี่ย	6.641	573.05	42.20	0.594
NR/40 UT	1	2.36	236	45.80	1.04
	2	2.46	249.84	46.30	0.87
	3	2.18	248.66	46.40	0.98
	4	2.57	257.43	46.20	1.04
	ค่าเฉลี่ย	2.39	247.98	46.17	0.97
NR/60 UT	1	1.80	216	55.8	1.44
	2	3.05	221.66	57.0	1.43
	3	2.43	214.95	57.5	1.34
	4	1.69	222.89	56.0	1.19
	ค่าเฉลี่ย	2.24	218.87	56.57	1.35
NR/80 UT	1	1.69	167.9	64.0	1.73
	2	1.78	176	67.70	1.45
	3	1.77	195.72	66.20	1.49
	4	1.78	175.78	66.40	-
	ค่าเฉลี่ย	1.76	178.85	66.07	1.56

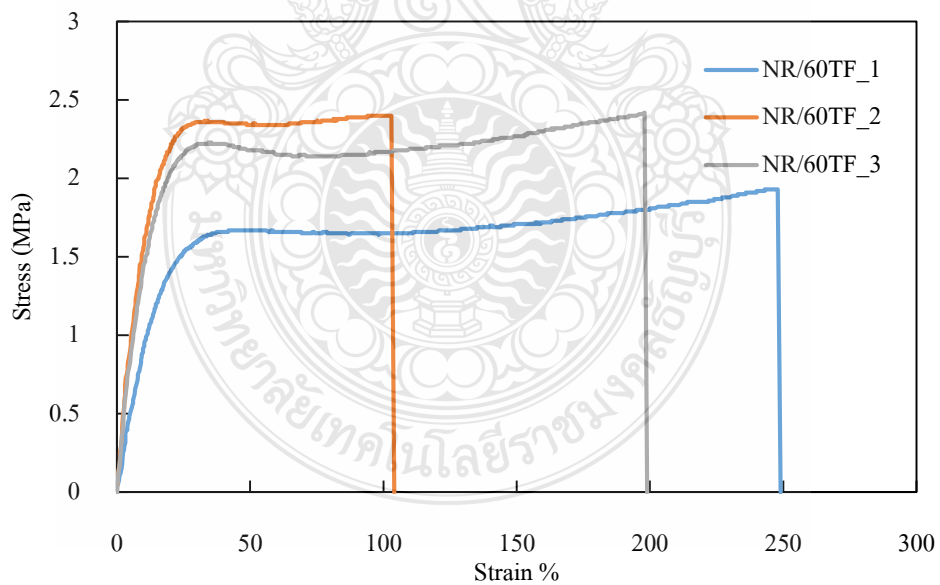
ตารางที่ ข 1 สมบัติเชิงกลของคอมโพลีต (ต่อ)

ชื่อตัวอย่าง	ชั้นที่	Tensile Strength (MPa)	Elongation at break (%)	Hardness (Shore A)	Modulus 100% (MPa)
NR/100 UT	1	1.16	78.81	68.40	1.70
	2	1.30	76.79	70.50	1.65
	3	1.47	69.75	70.20	1.72
	ค่าเฉลี่ย	1.35	79.88	69.70	1.63

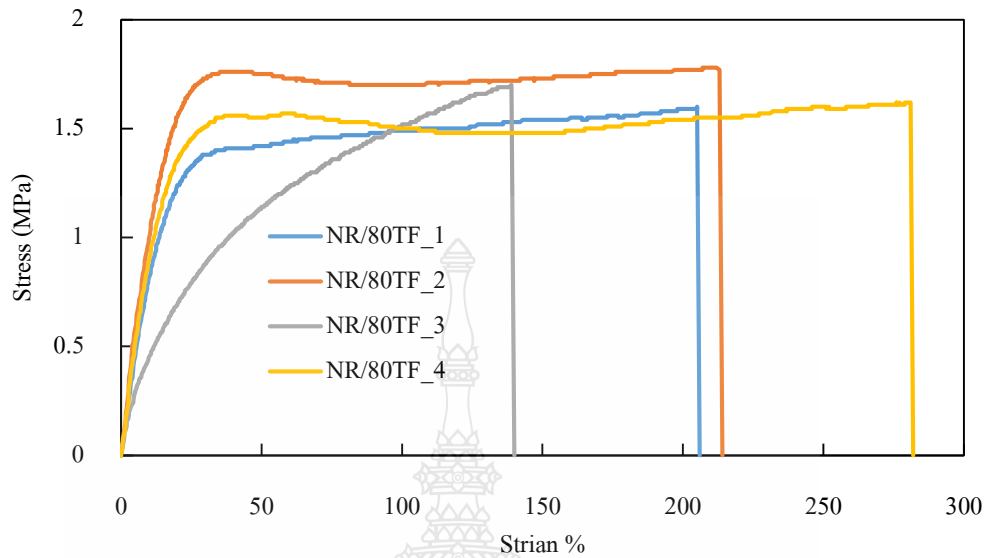




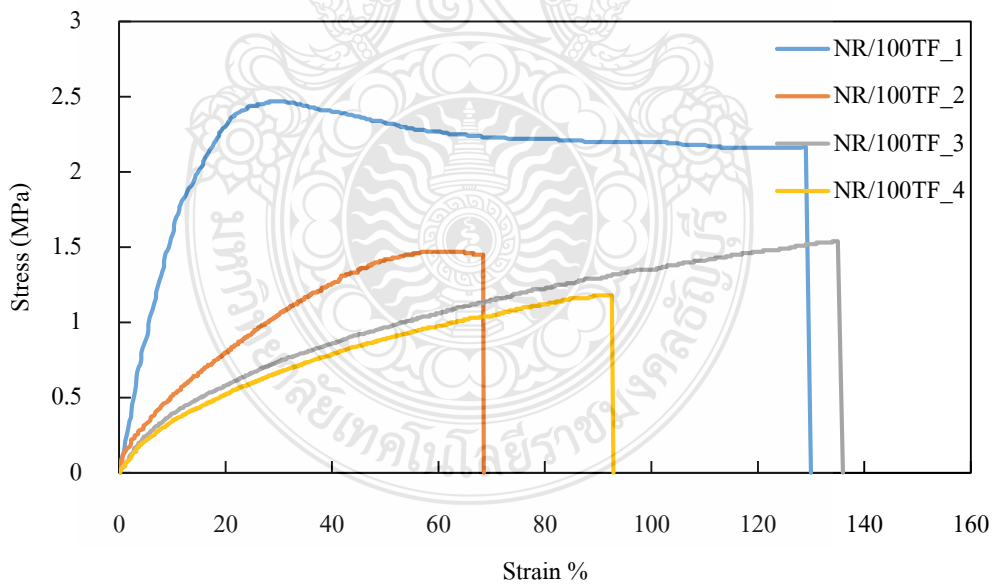
รูปที่ ๖6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยมะพร้าวที่ 40 phr โดยเส้นใยปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์



รูปที่ ๖7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยมะพร้าวที่ 60 phr โดยเส้นใยปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์



รูปที่ ๗๘ ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของคอมโพลีเตสเตอร์มแรงด้วยเส้นใยมะพร้าวที่ 80 phr โดยเส้นใยปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์



รูปที่ ๗๙ ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของคอมโพลีเตสเตอร์มแรงด้วยเส้นใยมะพร้าวที่ 100 phr โดยเส้นใยปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

ตารางที่ ข 2 สมบัติเชิงกลของคอม โพลีต

ชื่อตัวอย่าง	ชั้นที่	Tensile Strength (MPa)	Elongation at break (%)	Hardness (Shore A)	Modulus 100% (MPa)
NR/40 TF	1	2.59	278	46.50	1.22
	2	2.47	245	47.60	0.98
	3	2.63	249.22	48.0	1.05
	4	2.50	245	48.0	0.99
	ค่าเฉลี่ย	2.55	254.30	47.52	1.06
NR/60 TF	1	2.04	207.19	58.70	1.51
	2	2.44	223.76	57.20	1.27
	3	2.04	216.36	57.20	-
	ค่าเฉลี่ย	2.23	221.3	57.70	1.39
NR/80 TF	1	1.78	221.54	65.20	1.83
	2	1.56	234.67	65.60	1.54
	3	1.84	212.67	66.0	1.66
	4	1.72	206.74	67.80	1.65
	ค่าเฉลี่ย	1.72	218.90	66.15	1.67
NR/100 TF	1	1.44	102.56	70.50	1.77
	2	1.45	87.66	70.30	1.81
	3	1.55	98.76	69.50	1.83
	4	1.48	100.33	69.0	1.54
	ค่าเฉลี่ย	1.48	97.32	69.82	1.73



ภาคผนวก ค  
ข้อมูลการทดสอบสมบัติการทนไฟ การบ่มเร่งของวัสดุคอมโพสิต

ตารางที่ ค 1 ผลการทดสอบสมบัติทนไฟตามมาตรฐาน UL94 ของยางระหว่างยางธรรมชาติและเส้นใยมะพร้าวที่แปรปริมาณสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์

สูตร	ชั้นที่	เวลาในการหยด (วินาที)
NR-MH0-F60	1	24.56
	2	25.02
	3	23.90
	4	26.40
	5	24.58
	ค่าเฉลี่ย	24.89
NR-MH30-F60	1	26.79
	2	28.0
	3	28.71
	4	27.99
	5	28.02
	ค่าเฉลี่ย	27.90
NR-MH60-F60	1	35.67
	2	37.42
	3	38.01
	4	36.42
	5	36.44
	ค่าเฉลี่ย	36.79

ตารางที่ ค 1 ผลการทดสอบสมบัติทนไฟตามมาตรฐาน UL94 ของยางระหว่างยางธรรมชาติและเส้นใยมะพร้าวที่แปรปริมาณสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ (ต่อ)

สูตร	ชั้นที่	เวลาในการหยด (วินาที)
NR-MH90-F60	1	40.52
	2	41.0
	3	41.09
	4	40.88
	5	40.46
	ค่าเฉลี่ย	40.79
NR-MH120-F60	1	51.01
	2	54.84
	3	53.07
	4	52.07
	5	52.0
	ค่าเฉลี่ย	52.59



ตารางที่ ค 2 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของคอมโพสิตก่อนการบ่มเร่ง (Ageing property)

ชื่อตัวอย่าง	ชั้นที่	Tensile Strength (MPa)	Elongation at break (%)	Modulus 100% (MPa)
NR-MH0-F60	1	2.04	207.19	1.51
	2	2.44	223.76	1.27
	3	2.04	216.36	-
	4	2.40	237.89	-
	ค่าเฉลี่ย	2.23	221.3	1.39
NR-MH30-F60	1	1.77	146.9	1.39
	2	1.6	150	1.36
	3	1.6	148.9	1.45
	4	1.73	147	1.45
	ค่าเฉลี่ย	1.675	148.2	1.41
NR-MH60-F60	1	1.4	137	1.66
	2	1.41	140	1.56
	3	1.33	135	1.7
	4	1.4	138	1.55
	ค่าเฉลี่ย	1.385	137.5	1.61

ตารางที่ ค 2 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของคอมโพสิตก่อนการบ่มเร่ง (Ageing property) (ต่อ)

ชื่อตัวอย่าง	ชั้นที่	Tensile Strength (MPa)	Elongation at break (%)	Modulus 100% (MPa)
NR-MH90-F60	1	1.20	110	1.58
	2	1.19	120	1.78
	3	1.3	114	1.76
	4	1.25	115	1.89
	ค่าเฉลี่ย	1.23	114.7	1.75
NR-MH120-F60	1	1.20	44.5	2.01
	2	1.18	45	2.12
	3	1.22	46	1.89
	4	1.28	40.5	2.31
	ค่าเฉลี่ย	1.22	44	2.08



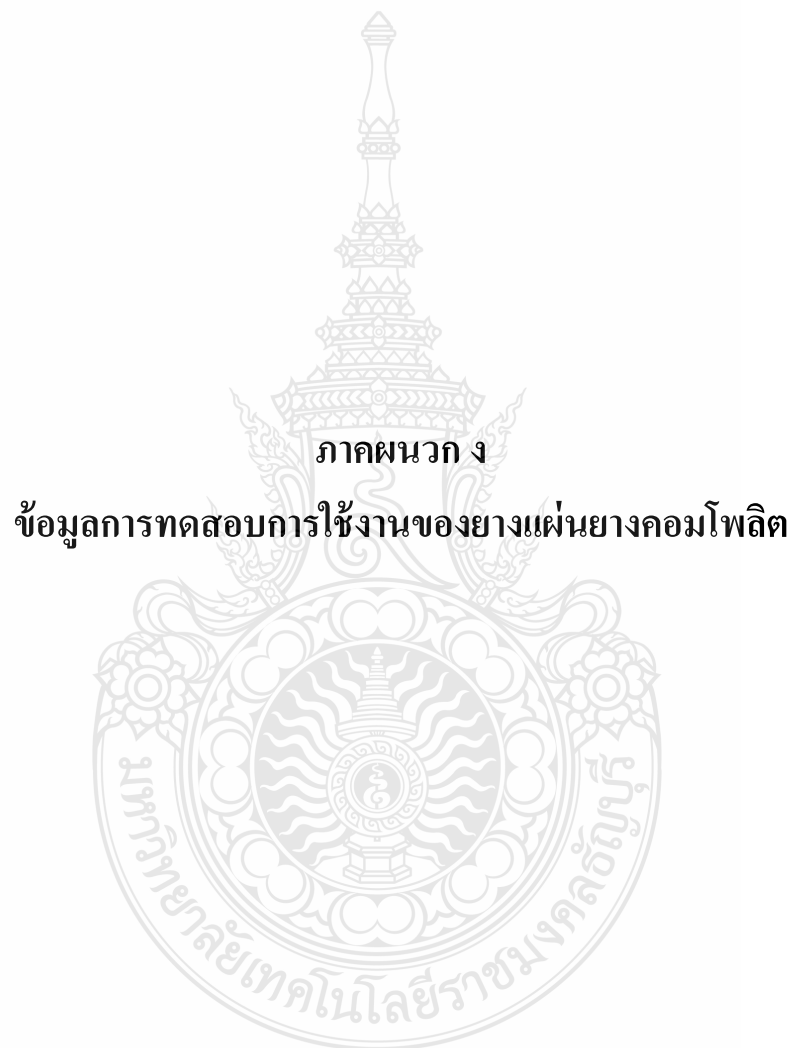
ตารางที่ ค 2 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของคอมโพสิตหลังการบ่มเร่ง (Ageing property)

ชื่อตัวอย่าง	ชั้นที่	Tensile Strength (MPa)	Elongation at break (%)	Modulus 100% (MPa)
NR-MH0-F60	1	1.66	170	1.3
	2	1.56	178	1.23
	3	1.77	188	1.27
	4	1.55	180	1.22
	ค่าเฉลี่ย	1.63	179	1.25
NR-MH30-F60	1	1.48	114.6	1.34
	2	1.48	110.55	1.44
	3	1.52	110	1.44
	4	1.55	109.77	1.38
	ค่าเฉลี่ย	1.50	111.23	1.4
NR-MH60-F60	1	1.20	85.7	1.53
	2	1.22	95	1.45
	3	1.22	88.4	1.67
	4	1.24	80	1.56
	ค่าเฉลี่ย	1.22	87.27	1.55
NR-MH90-F60	1	1.15	89.99	1.68
	2	1.17	87.67	1.66
	3	1.2	86	1.79
	4	1.2	77	1.6
	ค่าเฉลี่ย	1.16	85.16	1.68

ตารางที่ ค 2 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของคอมโพสิตหลังการบ่มเร่ง (Ageing property) (ต่อ)

ชื่อตัวอย่าง	ชั้นที่	Tensile Strength (MPa)	Elongation at break (%)	Modulus 100% (MPa)
NR-MH120-F60	1	1.09	64.7	1.89
	2	1.1	56.89	1.80
	3	1.05	50	1.85
	4	1.06	67	1.90
	เฉลี่ย	1.08	59.647	1.86





ภาคผนวก ง

ข้อมูลการทดสอบการใช้งานของยางแผ่นยางคอมโพสิต



ตารางที่ ๒ แสดงค่าน้ำหนัก, % ไขมัน, %มวลกล้ามเนื้อ ของกลุ่มตัวอย่าง เพศชายและเพศหญิง

จำนวน 15 คน

คนที่	น้ำหนัก (kg)	% ไขมัน	% มวลกล้ามเนื้อ	เพศชาย	เพศหญิง
1	58.8	22.2	37.4	/	
2	65.1	23.6	38.3	/	
3	78.4	31.9	40.1	/	
4	55.8	30.1	35.8	/	
5	50.3	25.6	37.4	/	
6	91.3	33.6	38.2	/	
7	79.4	28.8	37.3	/	
8	60.0	23.3	32.8	/	
9	84.2	38.4	42.2		/
10	54.2	15.5	39.8		/
11	56.7	18.6	42.6		/
12	48.0	13.9	34.8		/
13	84.4	39.7	30.0		/
14	58.1	25.5	45.4		/
15	55.0	15.7	45.2		/







RMUTNC & ICMITC  
International Conference on Intelligent and Creative  
Manufacturing Technology



# RMUTNC Proceeding

Creative Technology for All

ราชมนกคสรรคสรำงพวฉศทพ

24 - 26 August 2016

Rajamangala University of Technology Krungthep



8<sup>th</sup>  
Rajamangala University  
of Technology  
National Conference



www.rmutcon2016.org/

For More Information  
Rajamangala University of Technology Krungthep  
Tel : (0)2 2281 8888-8899-1111  
Fax : (0)2 2281 8888



## 8<sup>th</sup> RMUTNC

การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ระดับชาติ ครั้งที่ 8 พ.ศ. 2559

เอกสารรวบรวมบทความวิจัย การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลระดับชาติ ครั้งที่ 8

ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

จัดพิมพ์โดย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ เลขที่ 2 ถนนนางลิ้นจี่ พุ่งมหาเมฆ

สาทร กรุงเทพฯ 10120


พิมพ์เมื่อ สิงหาคม 2559

### คำกล่าวต้อนรับ

ในฐานะประธานการประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ระดับชาติ ครั้งที่ 8 (8<sup>th</sup> RMUTNC) ขอต้อนรับทุกท่าน นักวิจัย วิศวกร นักวิทยาศาสตร์ ผู้เชี่ยวชาญและนักศึกษาจากองค์กรและมหาวิทยาลัยต่างๆ ที่ให้เกียรติมาร่วมงานเพื่อแลกเปลี่ยนความคิดเห็นและมุมมองในด้านวิชาการ เทคโนโลยีสร้างสรรค์ รวมถึงการค้นพบนวัตกรรมทางการศึกษาและการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี ซึ่งจะเป็นแนวทางสำคัญในการสร้างประโยชน์แก่สังคม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านการพัฒนาเศรษฐกิจทั่วภูมิภาคของประเทศไทยต่อไป ด้วยความภาคภูมิใจและเป็นเกียรติอย่างยิ่งที่ได้เป็นเจ้าภาพจัดการประชุมในปีนี้ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพขอขอบคุณทุกท่านที่มีส่วนร่วมเสียสละทั้งแรงกายและแรงใจและเวลาอันมีค่า เพื่อผลักดันให้เกิดการประชุมวิชาการครั้งนี้ขึ้น และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าด้วยความร่วมแรงร่วมใจอย่างต่อเนื่องนี้ การประชุมวิชาการการประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ระดับชาติ ครั้งที่ 8 จะพัฒนาเติบโตต่อเนื่องไปทุกปี จนก้าวสู่การเป็นผู้นำด้านเทคโนโลยีได้อย่างแน่นอน

ในโอกาสนี้ ขอขอบคุณ ดร.สุรินทร์ พิศสุวรรณ ศาสตราจารย์ ดร.Masahiro Fujiwara ศาสตราจารย์ ดร.Guoqing Guan และศาสตราจารย์ ดร.Keat Teong Lee ที่ให้เกียรติรับเชิญเป็นแขกสำคัญของการประชุมครั้งนี้ไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ขอต้อนรับสู่การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ระดับชาติ ครั้งที่ 8 อีกครั้งหนึ่ง และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าทุกท่านจะได้รับประโยชน์และความพึงพอใจจากความรู้และกิจกรรมมากมายที่จัดเตรียมไว้ในการประชุมนี้



ดร.สาธิต พุทชัยยงค์

อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ประธานกรรมการกิตติมศักดิ์ การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ระดับชาติ ครั้งที่ 8

คณะกรรมการบรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาภรณ์ บางเจริญพรพงศ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ปราโมทย์ อนันต์วรพงษ์

รองศาสตราจารย์ ชนิษฐา เจริญลาภ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไชยันต์ ไชยยะ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กรกมล ศรีเดือนดาว

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิตยา สำเร็จผล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กิตติพงษ์ โสภณธรรมภาณ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รุ่งทิวา เสาร์สิงห์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุมาลี นันทศิริผล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิชาญ ช่วยพันธ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะพร คามภักระภาพพันธ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กนกวรรณ ง้าวสุวรรณ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชัชวาลย์ สุขมัน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ธัญญรัตน์ ตรีเนตร

ดร. ปิยะ ภิระพันธุ์เมธี

ดร.ชลธิรา สารวงษ์

ดร. เลิศลักษณ์ แก้ววิมล

นายฉัตรชัย รักถิ่น

นางสาว ชุติมา บัวรุ่ง

นางสาว เอมอร ชนะกุล

นางนาฏนภา จรเชื้อ

นางสาว เกตวดี อุเทน

นางสาว สุภัตรา ชาวเหนือ



ลำดับ	รหัสบทความ	ชื่อบทความ	หน้า
145	GT.0131.011	การเพิ่มผลผลิตมีเทนโดยการหมักร่วมกับทิ้งโรงงานน้ำยางชั้นและของเสียกลีเซอร์อลด้วยกระบวนการหมักแบบไร้อากาศสองขั้นตอน	328
146	GT.0142.003	เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันลมความเร็วรอบต่ำ 3 เฟส	331
147	IP.0012.011	แผ่นยางกันเมื่อยจากยางธรรมชาติผสมเส้นใยมะพร้าว	333
148	IP.0022.014	การพัฒนาหลอดสายจากใยจันเพื่องานออกแบบแฟชั่น	335
149	IP.0022.022	การพัฒนาและถ่ายทอดเทคนิคงานตัดต่อผ้าในผลิตภัณฑ์สิ่งทอ	337
150	IP.0041.003	การพัฒนาผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์ผลิตภัณฑ์จากภูมิปัญญาไทย เพื่อรองรับตลาดนักท่องเที่ยวญี่ปุ่น: กรณีศึกษา น้ำตาลมะพร้าว จังหวัดราชบุรี	339
151	IP.0041.004	การออกแบบผลิตภัณฑ์พรีเมียมเพื่อส่งเสริมการตลาด กรณีศึกษา บริษัทมาลิเอ็นเตอร์ไพรส์ จำกัด	342
152	IP.0041.015	การออกแบบและพัฒนาชุดอุปกรณ์การเรียนรู้เพื่อเสริมสร้างทักษะการรับรู้ทางอารมณ์สำหรับเด็กที่มีความผิดปกติของสมอง	344
153	IP.0042.016	การออกแบบและพัฒนารูปแบบวัสดุตกแต่งสำเร็จรูป จากฟางข้าวและซีพีเอ็ม สำหรับอาคารสำนักงาน	347
154	IP.0042.019	ออกแบบบรรจุภัณฑ์ผ้าฝ้ายทอมือของกลุ่มแม่บ้านเจริญรม 5 เขตคลองสาน กรุงเทพมหานคร	349
155	IP.0042.021	การออกแบบและพัฒนาวิธีการสร้างสรรค์สิ่งประดิษฐ์ จากใบหญ้าแฝกด้วยผ้าไหมไทย	351
156	IP.0062.008	การออกแบบและพัฒนาเฟอร์นิเจอร์จากวัสดุแผ่นไม้อัดผกบขวาและเส้นใยผกบขวา สำหรับตกแต่งบ้านพักอาศัยขนาดกลาง	353
157	IP.0071.0010	การผลิตแผ่นคอนกรีตปูพื้นทางเท้าที่มีส่วนผสมของเถ้าปาล์มน้ำมัน	355
158	IP.0072.006	การศึกษาและพัฒนาบรรจุภัณฑ์เพื่อส่งเสริมการขายและแสดงเอกลักษณ์เฉพาะถิ่น กรณีศึกษาบรรจุภัณฑ์ผลิตภัณฑ์ชุมชนกะทือหู่ จังหวัดสระบุรี	358
159	LT.0032.004	การควบคุมความเร็วบนท้องถนนโดยใช้เนินชะลอความเร็ว	360
160	LT.0091.003	การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งแบบมีกรอบเวลา โดยวิธีการฮิวริสติกส์: กรณีศึกษาบริษัทผลิตชิ้นส่วนยานยนต์	363
161	CE.0011.013	การส่งเสริมกระบวนการทำงานแบบสร้างสรรค์ของนักศึกษาวิชาชีพครูด้วยการเรียนรู้แบบร่วมมือบนสังคมออนไลน์	364
162	CE.0011.029	การศึกษาการเรียนแบบนำตนเองโดยใช้สื่อสังคมออนไลน์	366
163	CE.0022.016	บทเรียนออนไลน์เรื่องการพัฒนาทักษะการเขียนเรียงความโดยการวิเคราะห์ตัวอย่าง	368
164	CE.0031.017	An Approach of Communicative Language Teaching in Developing Thai Students' Pronunciation of English Final Sounds and Connected Speech	370
165	CE.0031.027	การศึกษาลักษณะพฤติกรรมการเรียนโดยใช้การสอนแบบบูรณาการ STEM+A สำหรับรายวิชาเทคโนโลยีสื่อประสม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	372

# แผ่นยางกันเมื่อยจากยางธรรมชาติผสมเส้นใยมะพร้าว

## A Comfortable Rubber Sheet from Natural Rubber with Coir Fibre Composite

ขวัญกมล สุขสม และ วารุณี อริยวิริยะนันท์\*

ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110  
 \*warunee.a@en.rmutt.ac.th

### ABSTRACT

A comfortable rubber sheet from natural rubber with coir fiber composite was prepared in order to develop an alternative materials that are environmentally friendly by adopting the remaining coconut fibers from agricultural. Coir fiber treatment was soaked in water for 24 hr and NaOH solution at 0, 4, 8, 10 and 12 %w/v, respectively. Then, they were washed with water until pH is 7. Fiber were dried in oven at 60°C 24 hr. Fiber and rubber were compounded using two roll mill and pressed at 160°C to prepare testing sample. The amount of coir fiber on the mechanical properties of rubber composite were studied at 40, 60, 80 and 100 phr, respectively. It was found that tensile strength and hardness of the rubber composite increased as fiber content increased. This may be due to coir fiber act as reinforcement in rubber matrix. A comfortable rubber sheet can be used as a new material to replace the market product as an environmental friendly materials.

### บทคัดย่อ

การพัฒนาวัสดุที่เหลือใช้ให้เป็นวัสดุทางเลือกใหม่ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมโดยการนำเส้นใยมะพร้าวที่เหลือจากภาคการเกษตรมาใช้ร่วมกับยางธรรมชาติ เพื่อผลิตเป็นแผ่นยางกันเมื่อย เส้นใยมะพร้าวจะเตรียมโดยการแช่น้ำ 24 ชั่วโมง และแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0, 4, 8, 10 และ 12 %w/v ตามลำดับอีก 5 ชั่วโมง ล้างเส้นใยจนมีค่า pH เป็น 7 แล้วนำเข้าสู่ตูบเพื่อไล่ความชื้นที่ 60 °C นาน 24 ชั่วโมง นำเส้นใยที่ได้ผสมกับยางธรรมชาติด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้งและนำมาขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องอัดร้อนที่อุณหภูมิ 160 °C ทำการศึกษาผลของปริมาณเส้นใยมะพร้าวต่อสมบัติเชิงกลของแผ่นอัดที่ปริมาณของเส้นใยมะพร้าวต่าง ๆ คือ 40, 60, 80 และ 100 phr ตามลำดับ จากการทดลองสมบัติทางกล พบว่าค่าการทนต่อแรงดึงและค่าความแข็งของแผ่นอัดเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของเส้นใยมะพร้าวเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเส้นใยมะพร้าวนั้นเข้าไปช่วยเสริมแรงให้กับยางธรรมชาติ แผ่นยางกันเมื่อยที่ผลิตขึ้นได้จะเป็นวัสดุทางเลือกใหม่สำหรับบุคคลที่ต้องการวัสดุใหม่ๆ เพื่อมาทดแทนผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขายตามท้องตลาดและเป็นวัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

### คำสำคัญ

ยางธรรมชาติ วัสดุยางคอมโพสิต แผ่นยางกันเมื่อย

### บทนำ

การนำยางธรรมชาติมาพัฒนาเพื่อเป็นวัสดุที่สามารถใช้งานได้จริง โดยการเติมวัสดุเสริมแรงลงไปจะช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับยางธรรมชาติ การเลือกใช้เส้นใยธรรมชาติทดแทนสารเสริมแรงที่มาจากสารปิโตรเคมีช่วยลดมลภาวะและสิ่งแวดล้อม เส้นใยธรรมชาติมีสมบัติเด่นในเรื่องทนต่อความเปียกชื้น การทำลายของจุลินทรีย์ได้ดี หยุนเหนียว แข็งแรง ทนทาน มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน แต่ยังมีข้อด้อยในเรื่องการทนต่อความร้อนของเส้นใยขณะขึ้นรูป ดังนั้นการคัดเลือกเส้นใยและการเตรียมผิวเส้นใยจะเป็นส่วนสำคัญการพัฒนาวัสดุคอมโพสิตใหม่ได้

แต่อย่างไรก็ตามยางธรรมชาติและเส้นใยมะพร้าวยังมีข้อด้อย กล่าวคือยางธรรมชาติเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นเชื้อเพลิงสำหรับการจุดติดไฟ หากอยู่ในสภาวะที่มีออกซิเจนและความร้อนแล้ว พอลิเมอร์จะเกิดการจุดติดไฟและเผาไหม้ได้ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีการศึกษาถึงสมบัติการทนไฟควบคู่กับสมบัติการวัลคาไนซ์สมบัติเชิงกล และสมบัติการทนไฟของยางธรรมชาติผสมเส้นใยมะพร้าวเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการใช้งานได้มากขึ้น โดยใช้สารตัวเติมทนไฟปราศจากฮาโลเจน คือ แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์

### วิธีการดำเนินการทดลอง

#### ขั้นตอนการเตรียมเส้นใยมะพร้าว

ในขั้นตอนแรกล้างเส้นใยมะพร้าวให้สะอาดแช่น้ำ 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นทำความสะอาดโดยการแช่สารละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น 0, 4, 8, 10 และ 12 %w/v ที่เวลา 5 ชั่วโมง จากนั้นทำการล้างเส้นใยจนมีค่า pH เป็น 7 แล้วนำเข้าสู่ตูบเพื่อทำการไล่ความชื้นออกจากเส้นใยที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วทำการเลือกอัตราส่วนในการปรับปรุงผิวเส้นใยที่ดีที่สุด



### ขั้นตอนการผลิตและขึ้นรูป

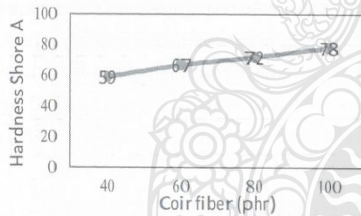
นำยางธรรมชาติ RSS#3 ผสมกับเส้นใยมะพร้าวตามปริมาณดังนี้ คือ 40, 60, 80 และ 100 phr ตามลำดับ ทำการผสมด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง หลังจากผสมจนเข้ากันแล้ว นำไปขึ้นเป็นแผ่นโดยเครื่องอัดเข้าแบบไฮดรอลิก (Compression molding) ตามระยะเวลาของ Optimum Cure ( $T_{90}$ ) ที่ได้จากการทดสอบสมบัติการวัลคาไนซ์ด้วยเครื่อง ODR 2000 ตั้งความดันของกระบอกไฮดรอลิกเท่ากับ 1500 psi จากนั้นต้องทิ้งชิ้นงานไว้เป็นระยะเวลา 16 ชั่วโมง ก่อนนำไปทดสอบสมบัติต่างๆ

### ผลการทดลอง

ผลของปริมาณเส้นใยมะพร้าวต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบ ตารางที่ 1 ค่าการทนแรงดึง ความทนทานต่อการฉีกขาดและค่าการยืดตัว ณ จุดขาด ของวัสดุคอมโพสิต

Materials	Tensile strength (MPa)	Tear strength (MPa)	Elongation at break (%)
NR/F40	2.12	27.45	87.8
NR/F60	2.86	20.28	25.87
NR/F80	4.33	19.23	17.30
NR/F100	4.86	15.26	11.12

จากตารางที่ 1 พบว่า เมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้นจาก 40 phr เป็น 100 phr พบว่าค่าการทนต่อแรงดึงยืดเพิ่มขึ้นจากเดิม 2 เท่า ในขณะที่การทนต่อการฉีกขาดและการยืดตัว ณ จุดขาด ลดลงอย่างมาก ทั้งนี้เนื่องมาจากการรับแรงจะเกิดจากเส้นใยมากกว่าตัวเนื้อเมทริกซ์จากยางธรรมชาติ



รูปที่ 1 ค่าความแข็งพื้นผิวของแผ่นอัดที่ปริมาณเส้นใยต่างๆ

จากรูปที่ 1 พบว่าเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มสูงขึ้นค่าความแข็งจะเพิ่มจาก 59 shore A ไปเป็น 78 shore A โดยการทำให้เป็นผลิตภัณฑ์จะคัดเลือกตามอัตราส่วนของเส้นใยที่เหมาะสมต่อการใช้งานนั้นๆ

### สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาพบว่ามีความเป็นไปได้ในการเตรียมแผ่นกันเมื่อยจากวัสดุยางธรรมชาติผสมเส้นใยมะพร้าว มีศึกษาสมบัติการต้านเชื้อ

แบคทีเรียในสภาวะชื้น สมบัติการทนไฟ สมบัติการบ่มเร่งและจัดทำเป็นแผ่นกันเมื่อยตามมาตรฐานต่อไป

### เอกสารอ้างอิง

1. บุญธรรม นิธิอุทัย และคณะ. คู่มือปฏิบัติการเทคโนโลยียาง 1 ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์วิทยาเขตปัตตานี, 2534, หน้า 1-86.
2. Ismail S. Shuhelmy, MR. Edyham. The effects of a silane coupling characteristic and mechanical properties of bamboo fibre filled natural rubber composite. *Polymer journal* (2002), 38, 39-47.
3. Huang Gu. Tensile behaviours of the coir fibre agent curing and related composites after NaOH treatment. *Material and design* (2009), 30, 3931-3934.
4. Maya J, Thomas, S., Varughose, K.T. Mechanical properties of sisal/oil palm hybrid fiber reinforced natural rubber composites. *Composites science and Technology* (2004), 64, 955-965.

21 cm.

21 cm.

### วารสารสหปทุมธานี วิทยาลัยเทคโนโลยีศรีปทุม

SRIPATUM REVIEW OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

Vol. 10 มกราคม - ธันวาคม 2561

ISSN 2228-8724

- บทคัดย่อ
- 07 การออกแบบอาคารเรียนแบบประหยัดพลังงานด้วยวัสดุธรรมชาติในโรงเรียนมัธยมศึกษา  
: Sanyee Wattanasri
  - 16 การพัฒนาระบบการติดตามและประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้วยระบบสารสนเทศ  
: อธิษฐา รุ่งเรือง
  - 32 การพัฒนาระบบการติดตามและประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้วยระบบสารสนเทศ  
: อธิษฐา รุ่งเรือง
  - 46 การพัฒนาระบบการติดตามและประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้วยระบบสารสนเทศ  
: อธิษฐา รุ่งเรือง
  - 58 การพัฒนาระบบการติดตามและประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้วยระบบสารสนเทศ  
: อธิษฐา รุ่งเรือง
  - 71 การพัฒนาระบบการติดตามและประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้วยระบบสารสนเทศ  
: อธิษฐา รุ่งเรือง
  - 85 การพัฒนาระบบการติดตามและประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้วยระบบสารสนเทศ  
: อธิษฐา รุ่งเรือง
  - 102 การพัฒนาระบบการติดตามและประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้วยระบบสารสนเทศ  
: อธิษฐา รุ่งเรือง
  - 116 การพัฒนาระบบการติดตามและประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้วยระบบสารสนเทศ  
: อธิษฐา รุ่งเรือง
  - 129 การพัฒนาระบบการติดตามและประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้วยระบบสารสนเทศ  
: อธิษฐา รุ่งเรือง
  - 146 การพัฒนาระบบการติดตามและประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้วยระบบสารสนเทศ  
: อธิษฐา รุ่งเรือง
  - 158 การพัฒนาระบบการติดตามและประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้วยระบบสารสนเทศ  
: อธิษฐา รุ่งเรือง
  - 173 การพัฒนาระบบการติดตามและประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้วยระบบสารสนเทศ  
: อธิษฐา รุ่งเรือง
  - 188 การพัฒนาระบบการติดตามและประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้วยระบบสารสนเทศ  
: อธิษฐา รุ่งเรือง
  - 198 การพัฒนาระบบการติดตามและประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้วยระบบสารสนเทศ  
: อธิษฐา รุ่งเรือง

<http://sripatum-review.spu.ac.th>  
<https://www.tci-thajjo.org/index.php/spurst>



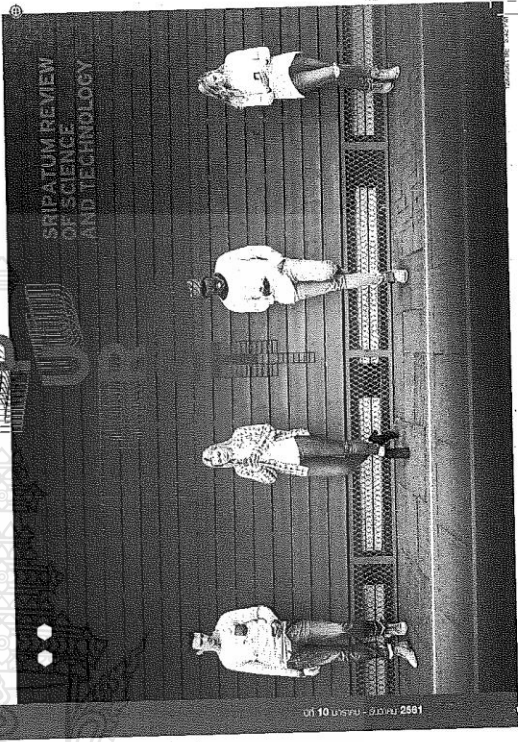
NATIONAL AND INTERNATIONAL SRIPATUM UNIVERSITY CONFERENCE 2019

SRIPATUM REVIEW OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

# วารสาร สปฐ ศรีปทุม ปริทัศน์

Vol. 10 มกราคม - ธันวาคม 2561  
Vol. 10 January - December 2018  
ISSN 2228 - 8724

SRIPATUM REVIEW



วารสารศรีปทุมปริทัศน์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
SRIPATUM REVIEW OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

วารสารศรีปทุมปริทัศน์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เป็นวารสารทางวิชาการที่มีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่ความรู้ทางวิชาการแก่บุคคลทั่วไป ทั้งแวดวงวิชาการและสังคม ส่งเสริม และกระตุ้นให้เกิดการวิจัยและการพัฒนาองค์ความรู้ในสาขาวิชาต่างๆ ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ประกอบด้วย (1) วิทยาศาสตร์กายภาพและชีวภาพ (2) วิศวกรรมศาสตร์ (3) สถาปัตยกรรมศาสตร์ และ (4) เทคโนโลยีสารสนเทศ โดยจัดพิมพ์ออกเผยแพร่ปีละ 1 ฉบับ ในเดือนธันวาคมของทุกปี โดยจัดส่งให้ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา (สกศ.) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (วท.) สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) สำนักงานรับรองมาตรฐานและประเมินคุณภาพการศึกษา (องค์การมหาชน) (สมศ.) สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) หน่วยงานและสถาบันการศึกษาต่างๆ

กองบรรณาธิการวารสารศรีปทุมปริทัศน์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มีความยินดีรับบทความวิจัย (Research article) บทความทางวิชาการ (Academic article) บทความปริทัศน์ (Review article) บทความวิจารณ์หนังสือ (Book review) ที่ยังไม่เคยเผยแพร่ในวารสารฉบับอื่นมาก่อน ผู้สนใจสามารถดูรายละเอียดได้ที่ <http://sripatum-review.spu.ac.th> หรือ <https://www.tci-thaijo.org/index.php/spurst>

กองบรรณาธิการ วารสารศรีปทุมปริทัศน์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
ศูนย์ส่งเสริมและพัฒนางานวิจัย มหาวิทยาลัยศรีปทุม  
2410/2 ถนนพหลโยธิน แขวงเสนานิคม เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900  
โทรศัพท์ : 0-2579-1111 ต่อ 1331, 1252, 1155  
โทรสาร : 0-2579-1111 ต่อ 2187  
Email : [research@spu.ac.th](mailto:research@spu.ac.th)

- กองบรรณาธิการสงวนสิทธิ์ในการพิจารณาและตัดสินใจตีพิมพ์บทความในวารสาร
- บทความทุกเรื่องจะได้รับการตรวจสอบทางวิชาการโดยผู้ทรงคุณวุฒิ แต่ข้อความและเนื้อหาในบทความที่ตีพิมพ์เป็นความรับผิดชอบของผู้เขียนแต่เพียงผู้เดียว มิใช่ความคิดเห็นและความรับผิดชอบของมหาวิทยาลัยศรีปทุม
- การคัดลอกอ้างอิงต้องดำเนินการตามการปฏิบัติในหมู่นักวิชาการโดยทั่วไป และสอดคล้องกับกฎหมายที่เกี่ยวข้อง



วารสารศรีปทุมปริทัศน์ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เป็นวารสารระดับชาติ ที่ออกปีละ 1 ฉบับ สำหรับฉบับนี้เป็นปีที่ 10 ประจำเดือน มกราคม-ธันวาคม 2561 ซึ่งปัจจุบันอยู่ในฐานข้อมูลของศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (Thai-Journal Citation Index Centre: TCI) กลุ่มที่ 1 และมีค่า Impact Factor โดยวารสารศรีปทุมปริทัศน์ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เกิดมาจากปณิธานของมหาวิทยาลัยศรีปทุม คือ “ปัญญา เขียวชาญ เบิกบาน คุณธรรม” และปรัชญาที่ว่า “การศึกษา สร้างคน คนสร้างชาติ” โดยมุ่งหวังว่าวารสารฉบับนี้จะเป็นแหล่งข้อมูลทางการวิจัย และทางวิชาการระดับชาติทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสำหรับคณาจารย์ นักวิจัย นักวิชาการ และนักศึกษา

สำหรับวารสารศรีปทุมปริทัศน์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเล่มนี้ ยังคงเข้มข้นไปด้วยเนื้อหาสาระทางวิชาการ กองบรรณาธิการให้ความสำคัญในการพิจารณาและคัดเลือกบทความที่มีคุณภาพมาลงตีพิมพ์ โดยทุกบทความได้ผ่านการกลั่นกรองจากกองบรรณาธิการและผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกที่ตรงสาขา เพื่อตรวจสอบคุณภาพของบทความก่อนลงตีพิมพ์ โดยผู้ประเมินไม่ทราบชื่อผู้แต่ง และผู้แต่งไม่ทราบชื่อผู้ประเมินบทความ (Double-blind peer review) เพื่อให้วารสารฉบับนี้มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับระดับชาติและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จริง สำหรับวารสารฉบับนี้ ประกอบด้วย บทความวิจัยจำนวน 15 เรื่อง เช่น “การพัฒนาแบบจำลองการพยากรณ์ความสำเร็จทางการศึกษาของผู้เรียนระหว่างการศึกษาในหลักสูตร โดยเทคนิควิธีเหมือนข้อมูล” “การพยากรณ์เงินรายได้นำเข้าประเทศจากแรงงานไทยในต่างประเทศด้วยสมการถดถอยที่ปรับค่าสัมประสิทธิ์โดยใช้วิธีตัวประมาณค่า 5 ปรับแก้” เป็นต้น

กองบรรณาธิการวารสารศรีปทุมปริทัศน์ มีความมุ่งมั่นที่จะพัฒนาวารสารฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีให้มีคุณภาพสูงขึ้นจนถึงระดับนานาชาติในอนาคต ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกทุกท่านที่กรุณาเป็นผู้ประเมินบทความอย่างมีคุณภาพให้กับทางกองบรรณาธิการ และขอเชิญชวนคณาจารย์ นักวิจัย นักวิชาการ นิสิต และนักศึกษา เสนอบทความเข้ารับการพิจารณาถ่วงดุลตีพิมพ์ เพื่อเผยแพร่สู่สาธารณะ อันจะนำไปสู่การนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป โดยท่านสามารถส่งบทความต้นฉบับได้ที่กองบรรณาธิการวารสารศรีปทุมปริทัศน์ (ดังรายละเอียดท้ายเล่ม) และหากท่านมีข้อคิดเห็นหรือข้อเสนอแนะประการใดที่จะนำไปสู่การพัฒนา และปรับปรุงวารสารให้มีคุณภาพยิ่งขึ้น กองบรรณาธิการยินดีรับข้อคิดเห็นหรือข้อเสนอแนะนั้นด้วยความขอบคุณยิ่ง



(รองศาสตราจารย์ ดร.อนงค์ อยู่ถนอม)  
บรรณาธิการ

**วัตถุประสงค์**

1. เพื่อเผยแพร่ความรู้ทางวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแก่อาจารย์ นักวิชาการ นักวิจัย นิสิต นักศึกษา และบุคคลทั่วไป ทั้งแวดวงวิชาการและสังคมทั่วไป
2. เพื่อส่งเสริมและกระตุ้นให้เกิดการวิจัยและการพัฒนาองค์ความรู้ในสาขาวิชาต่างๆ ทางด้าน วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ประกอบด้วย (1) วิทยาศาสตร์กายภาพและชีวภาพ (2) วิศวกรรมศาสตร์ (3) สถาปัตยกรรมศาสตร์ และ (4) เทคโนโลยีสารสนเทศ

**เจ้าของ**

มหาวิทยาลัยศรีปทุม

**ที่ปรึกษา**

ธีระนันทน์ พุคยาภรณ์ พุกกะมาน  
นักสิทธิ์ สุวัฒน์ชัย

บุษบา ชัยจินดา  
จิตชนก เหลือสินทรัพย์

**บรรณาธิการบริหาร**

ณรงค์ อยู่ถนอม

**บรรณาธิการผู้พิมพ์ผู้โฆษณา**

ณรงค์ อยู่ถนอม

**กองบรรณาธิการ**

วิโรจน์ รุ่งไปการ  
สุทัศน์ ยกส้าน  
ประภาส จงสดีวัฒนา  
โมไนย ไกรฤกษ์  
ไพบุลย์ ปัญญาดีไป  
กิริติ ชยะกุลศิริ  
ณัฐวุฒิ อิศวโกวิทวงศ์  
YoungHwan Kim  
Juan José Contreras Castillo  
Daniel Tan Tiong Hok

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง  
มหาวิทยาลัยศรีปทุม  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี  
มหาวิทยาลัยศรีปทุม  
Pusan National University, Republic of Korea  
Universidad de Colima, Mexico  
Taylor's Education Group, Malaysia

**ฝ่ายจัดการและเลขานุการกองบรรณาธิการ**

สุปิน ยูระวิช

นิภาวรรณ พุทธสงกรานต์

**ฝ่ายประชาสัมพันธ์ จัดจำหน่าย และสมาชิก**

อรกัญญา ทองมาก

**ฝ่ายศิลปกรรมและจัดทำรูปเล่ม**

ฉวีวรรณ สภาพ

สุรัตน์ชัย ชื่นตา

**ฝ่ายพิสูจน์อักษร**

สมทรง สัตถายัน

สุนน ถนอมเกียรติ

**กำหนดการเผยแพร่**

ปีละ 1 ฉบับ ประจำเดือน มกราคม – ธันวาคม

**สถานที่จัดพิมพ์**

บริษัท สยามเทรนท์ จำกัด โทร. 0 2509 0068-9

# CONTENTS

SRIPATUM REVIEW OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

## บทความวิจัย

- 07 การพัฒนาแบบจำลองการพยากรณ์ความสำเร็จทางการศึกษาของผู้เรียนระหว่าง  
การศึกษาในหลักสูตร โดยเทคนิควิธีเหมืองข้อมูล  
: วีระยุทธ หิมพารณ
- 18 การพยากรณ์เงินรายได้นำเข้าประเทศจากแรงงานไทยในต่างประเทศด้วยสมการ  
ถดถอยที่ปรับค่าสัมประสิทธิ์โดยใช้วิธีตัวประมาณค่า S ปรับแก้  
: นิธิภัทร กมลสุข
- 32 การพัฒนาชุดฝึกอบรมออนไลน์ เรื่อง อาชีวอนามัยและความปลอดภัยพื้นฐาน  
สำหรับพนักงานในโรงงานอุตสาหกรรม  
: พัชรินทร์ พรหมแดง, นฤมล เทพพาวล
- 46 การหลอกลืนของร่องลื่นกันรุนแบบคิมเบอร์ลีดด้วยสารหล่อลื่นชนิดนอนนิวโตเนียน  
: อานนท์ บำรุงพืช, ชนิษฐา วงษ์สีดาแก้ว, เจษฎา พานิชกรณ
- 58 สื่อประสมส่งเสริมสุขภาพของผู้สูงอายุ ในพื้นที่เทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา  
อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่  
: พรพวนา รัตนชูโชค, จุฬาวลี มณีเลิศ
- 71 การตลาดออนไลน์และบริการลูกค้าด้วยแพลตฟอร์มการศึกษา: การใช้ Chatfuel  
ปฏิสัมพันธ์กับลูกค้าผ่านเมสเซนเจอร์  
: อัจฉรินทร์ สันศิริตมภักดี
- 88 การพัฒนาระบบวิเคราะห์ข้อมูลเชิงลมอัจฉริยะเพื่อลดอาการเกิดโรคหลอดเลือด  
: ไพวรรณ มะละ, ปราณี มณีรัตน์, สุขสวัสดิ์ ณีภูษิตสิทธิ์, สุรัชชัย ทองแก้ว
- 102 การจัดการองค์ความรู้โครงการก่อสร้างโดยบริการเครือข่ายสังคม : กรณีศึกษา  
โปรแกรมประยุกต์ Facebook  
: วิมลรัตน์ ยงชัยตระกูล
- 116 การเชื่อมโยงข้อมูลด้านการประกันคุณภาพการศึกษาระหว่างการประกันคุณภาพ  
ภายในและการประเมินคุณภาพภายนอกของประเทศไทยด้วยเทคโนโลยีเว็บเซอร์วิส  
: ธนภัทร สัมพันธ์รัตนชัย, วิเชียร ชูติมาสกุล
- 129 การออกแบบอุปกรณ์กึ่งกลีวหนอนแบบต้นเบิ้ลเอนเวลลูบบนเครื่องกลึงด้วย  
หลักการการออกแบบอย่างเป็นระบบ  
: ศรายุทธ เงินทอง, วีชระ ลายลักษณ์
- 146 แบบจำลองการตั้งจุดการเดินทางโดยใช้ข้อมูลเครือข่ายสังคมออนไลน์และการเรียนรู้  
เชิงลึก  
: วีรัช ธีรฤฎ, อุทราภรณ์ พ่อบุตรดี
- 158 การประเมินประสิทธิภาพการใช้งานรถยนต์เช่า กรณีที่ตัวแบบมีปัจจัยไม่พึงประสงค์  
ด้วยวิธีการวิเคราะห์เชิงถ้อยมกรอบข้อมูล  
: ดวงกมล จุลกะเกียน, ธวีณี มณีศรี, ศิริประภา มโนมัยย์
- 173 การเตรียมแผ่นยางคอมโพสิตเพื่อลดความถี่เมื่อล้าจากยางธรรมชาติผสมเส้นใยมะพร้าว  
: ชวัญกมล สุขสม, วารุณี อริยวิริยะนันท์
- 186 พฤติกรรมทางความร้อนของผนังเบาเปลือกอาคารแบบแผ่นโลหะจากอิทธิพลของ  
การใช้สารเปลี่ยนสถานะ  
: ชลธิศ เข็มมรรควุฒิกุล, ขวลิต มณีศรี, ณัฐวัฒน์ จุฑารัตน์
- 198 การกำหนดเวลารอคอยเนื่องจากเหตุการณ์ความเสียหายในโครงการก่อสร้างฝายทดน้ำ  
ขนาดเล็ก  
: อรรถพล พรหมศิริ, ไพจิตร มาวิน

ศาสตราจารย์ ดร.จงจิตร หิรัญลาภ	มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี
ศาสตราจารย์ ดร.ชิตชนก เหลือสินทรัพย์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.สันหัตถ์ ศิริอนันต์ไพบูลย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ศาสตราจารย์ ดร.สุทัศน์ ยกส้าน	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ยูพาพันธ์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รองศาสตราจารย์ ดร.กมล บุษบา	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.กิตติชัย ธนทรัพย์สิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร.จาวูวัตร เจริญสุข	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รองศาสตราจารย์ ดร.ชิต เหล่าวัฒนา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.ชุมพล อัมตรเสน	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รองศาสตราจารย์ ดร.ฐิติวดี ชัยวัฒน์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รองศาสตราจารย์ ดร.ธนาคน สุทรชัยนาคแสง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร.ธัญญา วสุศรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.ธรรมศักดิ์ รุจิระยรรยง	มหาวิทยาลัยรังสิต
รองศาสตราจารย์ ดร.เทอดศักดิ์ ร่องวิริยะพานิช	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร.นิพนธ์ เจริญกิจการ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต รัศมีเทศ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.บรรยง โตประเสริฐพงศ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รองศาสตราจารย์ ดร.ปิติ สุคนธ์สุขกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร.ปิยะ ไควนทวีวัฒน์	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
รองศาสตราจารย์ ดร.พัฒนา อุนรัักษ์พงษ์ธร	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.พานิช วุฒิพฤกษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร.พีรยุทธ์ ชาญเศรษฐิกุล	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.ไพบูลย์ ปัญญาคะโป	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
รองศาสตราจารย์ ดร.ยุทธชัย บรรเท็งจิตร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร.รุ่งรัศมี บุญดาว	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
รองศาสตราจารย์ ดร.เรืองรอง สุสีสัถิระ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.วรา วราวิทย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร.วราณี เปรมานนท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.วิเชียร ชุตินาสกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

รองศาสตราจารย์ ดร.วิระ บุญจริง

รองศาสตราจารย์ ดร.วินัย วิจารณ์ช  
รองศาสตราจารย์ ดร.ศิวพร ลงยันต์  
รองศาสตราจารย์ ดร.สกนธ์ คล่องบุญจิต

รองศาสตราจารย์ ดร.สมโพธิ วิวิธเกตุรงค์  
รองศาสตราจารย์ ดร.สร้อยดาว วินิจนันท์  
รองศาสตราจารย์ ดร.สุทัศน์ สีลาหิวิวัฒน์  
รองศาสตราจารย์ ดร.สุวิมล สัจจาณิษฐ์  
รองศาสตราจารย์ ดร.อนงค์นาฏ ศรีวิหค  
รองศาสตราจารย์ ดร.อนันต์ ผลเพิ่ม  
รองศาสตราจารย์ ดร.อนันต์ มุ่งวัฒนา  
รองศาสตราจารย์ ดร.อมร พิมาณมาศ  
รองศาสตราจารย์ ดร.อรุณกร เก่งพล

รองศาสตราจารย์ ซาลี ตระกูลการ

รองศาสตราจารย์ ยืน ภู่วรรณ  
รองศาสตราจารย์ ศิริชัย พงษ์วิชัย  
รองศาสตราจารย์ สถาพร ซาดาคม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติภูมิ รัตนจันทร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนิษฐา ชัยรัตนาวรรณ  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คณิศ พันธุ์สวัสดิ์  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชลธิศ เอี่ยมวรวิฑูกุล  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เทพฤทธิ์ บัณฑิตวัฒนาวงศ์  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรพจน์ เวศพันธ์  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิพัทธ์ จงสวัสดิ์  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญอ้อม โฉมทิ  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เบญจภรณ์ ประภักดิ์  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประณต บุญไชยอภิสิทธิ์  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงษ์ศักดิ์ กี่ร์ติวินทร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพจิตร ผาวัน  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนต์ศักดิ์ ทิมสาร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนูกิจ พานิชกุล

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร  
ลาดกระบัง  
มหาวิทยาลัยสยาม  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร  
ลาดกระบัง

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

พระนครเหนือ  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า  
พระนครเหนือ

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

พระนครเหนือ  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า  
พระนครเหนือ

มหาวิทยาลัยศรีปทุม  
มหาวิทยาลัยศิลปากร  
มหาวิทยาลัยศรีปทุม  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
มหาวิทยาลัยมหิดล  
มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า  
พระนครเหนือ

มหาวิทยาลัยศรีปทุม  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร  
ลาดกระบัง

สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุวณู กุลชาติ  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันธมพงษ์ คงแก้ว  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรลักษณ์ วงศ์โดยหวัง ศิริเจริญ  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศศิพร อุษณวสิน  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เศรษฐชัย ชัยสนิธ  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพักตรา สุทธิสุภา  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพักตรา เกษราพงศ์  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรกิจ ท่วมเพิ่มทรัพย์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรศักดิ์ มั่งสิงห์  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรศิษฐ์ ไรจนันต์  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนรรฆ ชันระฆวนะ  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัศม์เดช วานิชชินชัย  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุนันต์ พินโสภณ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์เชียง เกาซิด  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิชัย บุญวาต  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิษระ เครือรัฐติกาล  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์อำนาจ วังจัน  
พันเอก ดร.พิศุทธิ์ ตาราวรัตน์  
ดร.จักรพันธ์ อร่ามพงษ์พันธ์  
ดร.จันทร์ศิริ สิงห์เถื่อน  
ดร.ประภาพร รัตนอำรุง  
ดร.ชาญณรงค์ บาลมงคล  
ดร.สิรินธร ลิ่มปนาท  
ดร.ชาลี วรกุลพิพัฒน์

ดร.ประกอบ ขาดิภักดิ์  
ดร.พระทีพัฒน์ ภาสบุตร  
ดร.พีรเดช ณ น่าน  
ดร.มงคล อัสวีตลภฤทธิ  
ดร.วรพงษ์ สิววัฒนกิจ  
ดร.สมรภัช เพชรราตรี  
ดร.อภิบาล พุกขานูบาล

มหาวิทยาลัยนครพนม  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์  
มหาวิทยาลัยศิลปากร  
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยศรีปทุม  
มหาวิทยาลัยศิลปากร  
มหาวิทยาลัยศรีปทุม  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า  
พระนครเหนือ  
มหาวิทยาลัยศรีปทุม  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
มหาวิทยาลัยมหิดล  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร  
ลาดกระบัง  
มหาวิทยาลัยสุรนิจมณฑิพย์  
มหาวิทยาลัยศิลปากร  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
มหาวิทยาลัยศรีปทุม  
กรมวิทยาศาสตร์ทหารบก  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์  
และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ สวทช.  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร  
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  
กสท.โทรคมนาคม  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
กสท.โทรคมนาคม  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า  
พระนครเหนือ



## Preparation of Rubber Composite for Fatigue Reduction from Natural Rubber and Coir Fiber

Khwankamol Suksom<sup>1</sup>, Warunee Ariyawiriyanan<sup>2\*</sup>

<sup>1,2</sup> Department of Materials and Metallurgical Engineering

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

Received: 1 August 2018

Revised: 9 October 2018

Accepted: 7 November 2018

### ABSTRACT

The purpose of this research was to study the preparation of rubber composite for fatigue reduction from natural rubber and coir fiber to be used as the raw material for production of low cost composite material for application in various works. In this research, coir fiber was immersed in 8% w/w of NaOH solution and then the coir fiber was prepared by mixing with natural rubber in the two roll mill mixing machine. The rubber composites were fabricated by compression molding at 160°C. Methods of this study were divided into 3 parts: Part I was the investigation of the amount of coir fiber affecting the mechanical properties of the composite rubber by using various amounts of coir fiber of 40, 60, 80 and 100 phr; Part II was the study of the amount of magnesium hydroxide flame retardants by varying the amounts of retardants of 30, 60, 90 and 120 phr; and Part III was the study of the thermal property of composite rubber via the use of thermal infrared camera. The results revealed that on the optimum condition for improving the surface of coconut fiber, it was found that the maximum surface improvement of coconut fiber with sodium hydroxide was 8% w/w. FT-IR showed that Lignin, Hemicellulose and other impurities were removed by sodium hydroxide solution. As for the effect of coconut fiber on mechanical properties, it was found that the Modulus at 100% strain and hardness of composite rubber increased with increasing of fiber loading whereas the tensile strength and elongation at break decreased because coir fiber acted as a filler in a composite system. The study of the influence and amount of magnesium hydroxide showed that the addition of magnesium hydroxide could reduce flammability of composite rubber. However, the addition of magnesium hydroxide resulted in decreasing of mechanical properties. Testing of the rubber sheet fatigue with the thermal infrared camera revealed that the standing on the composite rubber could cause better blood circulation.

Keywords: composite rubber, natural rubber, coir fiber, flame retardant, blood circulation

\* Corresponding Author; Email: warunee.a@en.mutt.ac.th

## การเตรียมแผ่นยางคอมพोजิตเพื่อลดความเมื่อยล้าจากยางธรรมชาติผสมเส้นใยมะพร้าว

ขวัญกมล สุขสม<sup>1</sup>, วารุณี อริยวิริยะนันท์<sup>2\*</sup>

<sup>1,2</sup> สาขาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการเตรียมแผ่นยางคอมพोजิตเพื่อลดความเมื่อยล้าจากยางธรรมชาติผสมเส้นใยมะพร้าว โดยเป็นวัตถุประสงค์ในการผลิตเป็นวัสดุคอมพोजิตที่มีการประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆเป็นการลดต้นทุนของเส้นใย โดยนำเส้นใยไปแช่ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 8% w/w จากนั้นทำการเตรียมเส้นใยมะพร้าวบดผสมลงในยางธรรมชาติด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง และขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดเข้าไฮโดรลิกที่อุณหภูมิ 160 °C โดยมีวิธีการศึกษา แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ศึกษาผลของปริมาณเส้นใยมะพร้าวต่อสมบัติเชิงกลโดยแปรปริมาณเส้นใยมะพร้าว 40, 60, 80 และ 100 phr ส่วนที่ 2 ศึกษาปริมาณและสมบัติการลามไฟของสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์โดยแปรปริมาณ 30, 60, 90 และ 120 phr และส่วนที่ 3 ศึกษาสมบัติของแผ่นยางคอมพोजิตด้วยเครื่องจับความร้อน ผลการศึกษาการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยมะพร้าว พบว่า การปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยมะพร้าวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 8% w/w สามารถกำจัดกลิ่น เหม็นเซลลูโลสและสิ่งสกปรกได้โดยยืนยันจาก FT-IR ส่วนการศึกษาผลของปริมาณเส้นใยมะพร้าวต่อสมบัติเชิงกลค่าโมดูลัส 100% และความแข็งของยางคอมพोजิตมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยมะพร้าวมากขึ้น เนื่องจากเส้นใยเข้าไปเสริมแรงให้กับเมทริกซ์ ส่วนสมบัติด้านความทนทานต่อแรงดึงและความสามารถในการยืดจนขาดมีแนวโน้มลดลง ทำการศึกษาปริมาณและสมบัติการทนไฟของสารแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ พบว่า การเติมแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ สามารถลดอัตราการลามไฟได้ แต่การเติมแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ลงไปปริมาณมากส่งผลให้สมบัติเชิงกลลดลง และการทดสอบแผ่นยางคอมพोजิตด้วยเครื่องจับความร้อน พบว่า การขึ้นรูปแผ่นยางสามารถทำให้เกิดการไหลเวียนเลือดดีขึ้น

คำสำคัญ : ยางคอมพोजิต ยางธรรมชาติ เส้นใยมะพร้าว การลามไฟ การไหลเวียนของเลือด

\* ผู้ประสานงานหลัก; อีเมล: warunee.a@en.rmutt.ac.th



## ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันประเทศไทยได้กลายเป็น “สังคมผู้สูงอายุ” เห็นได้ว่า ในระหว่างปี พ.ศ. 2553-พ.ศ. 2583สัดส่วนของประชากรสูงอายุ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจากร้อยละ 13.2 ในพ.ศ.2553 เป็นร้อยละ 32.1 ใน พ.ศ. 2583 (Foundation for Older Persons' Development, 2015) เนื่องจากสภาพเศรษฐกิจและสังคมที่เปลี่ยนแปลงไปทำให้ผู้สูงอายุมีบทบาทต่อสังคมมากขึ้นโดยเฉพาะด้านการทำงาน ซึ่งพบว่า ผู้สูงอายุมีความเสื่อมของกระดูกและกล้ามเนื้อ จากการเปลี่ยนแปลงตามวัยที่เป็นปัจจัยภายในทำให้ผู้สูงอายุเกือบครึ่งหนึ่งทุกขั้วหันมาจากโรคข้อ และกระดูก ซึ่งจะดูแลรักษาโดยใช้ยาแก้ปวดและการนวดไทยเพื่อบรรเทาอาการปวดเมื่อย

จากการศึกษางานวิจัยการเสริมแรงด้วยเส้นใยธรรมชาติจากยางธรรมชาติ ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นการรวมเอาสมบัติเด่นทั้งสองรวมกัน ทั้งในด้านความยืดหยุ่นและความนุ่มของยางธรรมชาติและความแข็งแรงของเส้นใยธรรมชาติ การนำเส้นใยธรรมชาติมาใช้ในยางธรรมชาติถือเป็นการปรับปรุงสมบัติทางกลของยางธรรมชาติและยังมีผลต่อการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุจากธรรมชาติ ในการผลิตเป็นวัสดุคอมโพสิตที่มีการประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ เป็นการลดต้นทุนของเส้นใยธรรมชาติเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยสังเคราะห์ เนื่องจากเส้นใยธรรมชาติมีต้นทุนต่ำ ความหนาแน่นต่ำและยังสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ การใช้เส้นใยจากธรรมชาตินั้นมีราคาถูกกว่ากระบวนการผลิตไม่ยุ่งยากซับซ้อนและปลอดภัยต่อสุขภาพ

ดังนั้นในงานวิจัยได้ศึกษาโดยนำเอาเส้นใยมะพร้าวซึ่งเป็นเส้นใยธรรมชาติมาใช้เป็นสารตัวเติมที่เพิ่มประสิทธิภาพให้กับยางธรรมชาติเนื่องจากเส้นใยมะพร้าวมีคุณสมบัติเด่นในเรื่องทนต่อความเปียกชื้น การทำลายของจุลินทรีย์ มีความเหนียว แข็งแรง ทนทานมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน แต่อย่างไรก็ตาม ยางธรรมชาติและเส้นใยมะพร้าวยังมีข้อด้อย กล่าวคือยางธรรมชาติเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นเชื้อเพลิงสำหรับการจุดติดไฟ หากอยู่ในสถานะที่มีออกซิเจนและความร้อนแล้วพอลิเมอร์จะเกิดการจุดติดไฟและเผาไหม้ได้ ดังนั้นจึงมีการศึกษาถึงสมบัติการทนไฟควบคู่กับสมบัติการคงรูป สมบัติเชิงกล และสมบัติการทนไฟของยางธรรมชาติผสมเส้นใยมะพร้าวเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการใช้งานได้มากขึ้น โดยใช้ สารตัวเติมทนไฟปราศจากฮาโลเจน

ผลจากการศึกษาผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาสมบัติการใช้งานของวัสดุคอมโพสิตจากยางธรรมชาติผสมเส้นใยมะพร้าว โดยนำคุณสมบัติเด่นของวัสดุทั้งสองชนิดมาจัดเตรียมให้คุณสมบัติการใช้งานที่สามารถนำไปผลิตเป็นชิ้นงานได้เหมาะสมและมีคุณภาพ

## วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาการเตรียมแผ่นยางคอมโพสิตเพื่อลดความเมื่อยล้าจากยางธรรมชาติผสมเส้นใยมะพร้าว

## วิธีดำเนินการวิจัย

### 1. ศึกษาขั้นตอนการเตรียมเส้นใยมะพร้าว

ในขั้นตอนแรกล้างเส้นใยมะพร้าวให้สะอาดแช่ในน้ำ 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้องจากนั้นทำความสะอาดโดยการแช่สารละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น 0 4 8 10 และ 12% W/W ที่เวลา 5 ชั่วโมง Gu (2009) จากนั้นทำการล้างเส้นใยจนมีค่า pH เป็น 7 แล้วนำเข้าสู่ตู้อบเพื่อทำการไล่ความชื้นออกจากเส้นใยที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมาตัดให้มีขนาด 10 mm. Raghavendra et al. (2013) จากนั้นทำการเลือกความเข้มข้นในการปรับปรุงผิวเส้นใยที่ดีที่สุด

2. ขั้นตอนการผสมและขึ้นรูปของปริมาณเส้นใยมะพร้าว

นำยางธรรมชาติ RSS#3 ผสมกับสารเคมีและเส้นใยมะพร้าวตามปริมาณดังนี้ คือ 40, 60, 80 และ 100 phr ตามลำดับ ทำการผสมด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two roll mill) หลังจากผสมจนเข้ากันแล้ว นำไปขึ้นเป็นแผ่นโดยเครื่องอัดเข้าแบบไฮดรอลิก (Compression molding) ที่ 160 °C ตามระยะเวลาของ Optimum Cure ( $T_{90}$ ) ที่ได้จากการทดสอบสมบัติการวัลคาไนซ์ด้วยเครื่อง ODR 2000 ความดันของกระบอกไฮดรอลิกเท่ากับ 1500 psi จากนั้นตั้งยางทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 16 ชั่วโมงก่อนนำไปทดสอบสมบัติต่างๆ แล้วเลือกปริมาณ ดังแสดงสูตรในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สูตรยางที่ใช้ในการศึกษาอิทธิพลของเส้นใยมะพร้าวต่อสมบัติของยางคอมโพสิต

สารเคมี	ปริมาณ (phr)
RSS#3	100
Stearic acid	5
ZnO	1
MBT	1
BHT	1
Paraffin oil	5
Sulpher	3
Coir fiber	0, 40, 60, 80,100

3. ขั้นตอนการผสมและขึ้นรูปของปริมาณสารทนไฟ

นำยางธรรมชาติ RSS#3 ผสมกับเส้นใยมะพร้าวและสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ตามปริมาณดังนี้ คือ 30, 60, 90 และ 120 phr ตามลำดับ ทำการผสมด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two roll mill) หลังจากผสมจนเข้ากันแล้ว นำไปขึ้นเป็นแผ่นโดยเครื่องอัดเข้าแบบไฮดรอลิก (Compression molding) ตามระยะเวลาของ Optimum Cure ( $T_{90}$ ) ที่ได้จากการทดสอบสมบัติการวัลคาไนซ์ด้วยเครื่อง ODR 2000 ความดันของกระบอกไฮดรอลิกเท่ากับ 1500 psi จากนั้นตั้งยางทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 16 ชั่วโมง ก่อนนำไปทดสอบสมบัติต่างๆ

ตารางที่ 2 สูตรยางที่แปรปริมาณแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ต่อสมบัติของยางคอมโพสิต

สารเคมี	ปริมาณ (phr)
RSS#3	100
Stearic acid	5
ZnO	1
MBT	1
BHT	1
Paraffin oil	5
Sulpher	3
Coir fiber	0, 40, 60, 80,100

4. การทดสอบการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิพื้นผิวของ  
กำหนดกลุ่มตัวอย่างในการศึกษาเป็นผู้สูงอายุ 60 ปีขึ้นไป โดยการทดสอบด้วยเครื่องจับความร้อนยี่ห้อ  
JENOPTIK infartec รุ่น Vario CAM และแบบสอบถามความพึงพอใจ

#### การวิเคราะห์ข้อมูล

1. สมบัติความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile properties) ยี่ห้อ Honsfield รุ่น H10KS ตามมาตรฐาน ASTM D412

2. ความแข็ง (Hardness) ตามมาตรฐาน ASTM D2240

3. การทนไฟด้วยเทคนิค UL94 HB

4. ทดสอบลักษณะสัณฐานวิทยา (Scanning Eletron Microscopy, SEM)

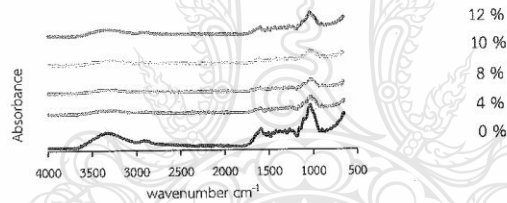
5. ทดสอบตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันเคมีด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy

หมายเหตุ ในการทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile properties) ความแข็ง (Hardness) และ  
การทนไฟด้วยเทคนิค UL94 HB ใช้ชิ้นทดสอบจำนวนอย่างละ 5 ชิ้น แล้วนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ย

#### ผลการวิจัย

1. ศึกษาสมบัติทางกลต่อปริมาณเส้นใยมะพร้าวในยางคอมพอสิต

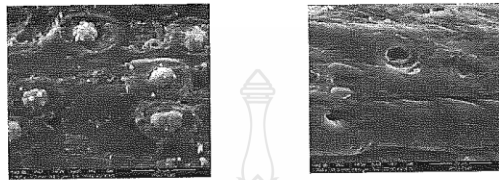
1.1 ผลการทดสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมี



ภาพที่ 1 สเปกตรัมของเส้นใยมะพร้าวที่ยังไม่ผ่านการปรับปรุงผิวและเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงผิวที่  
0, 4, 8, 10 และ 12% W/W

การศึกษาหมู่ฟังก์ชันทางเคมีของเส้นใยมะพร้าวที่ไม่ผ่านและผ่านการปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์  
แสดงดังภาพที่ 1 แสดงค่าการดูดกลืนในช่วงความยาวคลื่น 3600 - 3200  $\text{cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นค่าการดูดกลืนแสงของหมู่ไฮ  
ดรอกซิล ของเส้นใย (O-H stretch) และปรากฏพีคที่ 2893  $\text{cm}^{-1}$  เป็นหมู่ C-H stretch และที่ตำแหน่งคลื่น 1650-  
1700  $\text{cm}^{-1}$  เป็นหมู่ C=O ของหมู่ เฮมิเซลลูโลส (hemicelluloses) เลขคลื่นที่ 1515  $\text{cm}^{-1}$  แสดงลักษณะเฉพาะของ  
วงแหวนเบนซีนของลิกนิน และเมื่อทำการปรับปรุงผิวของเส้นใยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความ  
เข้มข้น 0,4,8,10 และ 12% W/W ที่เวลา 5 ชั่วโมง ปรากฏกว่าพีค บริเวณ 2893  $\text{cm}^{-1}$  เป็นหมู่ C-H และ 1650-  
1700  $\text{cm}^{-1}$  เป็นหมู่ C=O ของหมู่ เฮมิเซลลูโลสได้หายไป แสดงว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุด คือความเข้มข้นของ  
โซเดียมไฮดรอกไซด์ 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักตั้งนั้การปรับสภาพผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถทำลายลิกนินลง  
ไปได้ส่งผลให้เฮมิเซลลูโลสและลิกนินซึ่งเคลือบอยู่บนเส้นใยอยู่ได้ถูกกำจัดออกไป ดังแสดงในภาพที่ 2

1.2 การหาสภาพที่เหมาะสมในการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยมะพร้าวโดยใช้วิธีการปรับปรุงทางเคมีด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ซึ่งเป็นภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM) ดังแสดงในภาพที่ 2



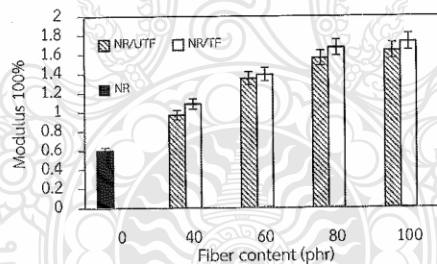
(ก) ปรับปรุงพื้นผิว

(ข) หลังปรับปรุงพื้นผิว

ภาพที่ 2 ลักษณะพื้นผิวของเส้นใยมะพร้าวที่กำลังขยาย 2000 เท่า ก่อนและหลังการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

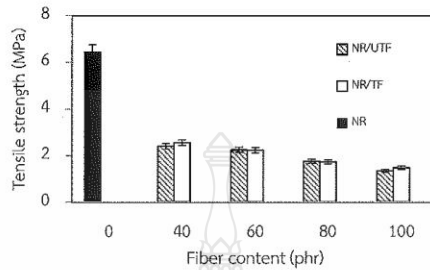
เมื่อพิจารณาจากภาพถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 2000 เท่า ดังแสดงในภาพที่ 2 พบว่าเส้นใยมะพร้าวที่ไม่ได้รับการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีสิ่งสกปรกเจือปนอย่างชัดเจน และหลังจากผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์พบว่าพื้นผิวของเส้นใยมีความสะอาดขึ้น เกิดจากการกำจัดพวกกรดไขมัน ลิกนินและพวกเฮมิเซลลูโลสออกจากพื้นผิวของเส้นใยมะพร้าว

1.3 ผลของปริมาณเส้นใยมะพร้าวก่อนและหลังปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิต ดังแสดงในภาพที่ 3-5

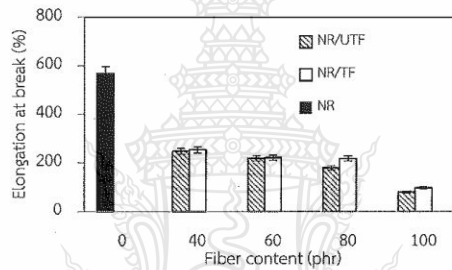


ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดูลัสที่ 100 % ต่อปริมาณเส้นใยก่อนและหลังปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นหมายถึงความแข็งแรงของพันธะ ในชิ้นงานที่จะรับและกระจายแรงเมื่อมีแรงมาตกกระทบ ในการทดลองได้ทำการเติมเส้นใยมะพร้าว คือ 40, 60, 80 และ 100 phr พบว่า การใส่เส้นใยมะพร้าวที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงไปในช่วงคอมโพสิตระหว่างอัตราขนาด/เส้นใยมะพร้าวทำให้ค่ามอดูลัสที่ 100 เปอร์เซ็นต์ของยางคอมโพสิตมีค่าเพิ่มขึ้นในทุกอัตราส่วน

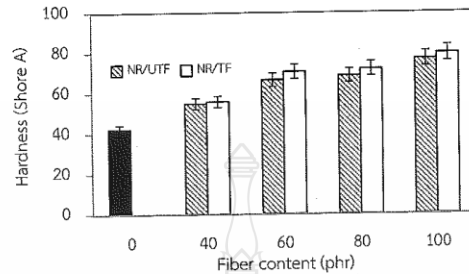


ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการทนต่อแรงดึงของยางคอมโพสิตต่อปริมาณเส้นใยก่อนและหลังปรับปรุงผิวด้วยไซเตียมไฮดรอกไซด์



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืด ณ จุดขาดของยางคอมโพสิตต่อปริมาณเส้นใยก่อนและหลังปรับปรุงผิวด้วยไซเตียมไฮดรอกไซด์

ส่วนค่าความทนทานต่อแรงดึงยางธรรมชาติที่เสริมแรงด้วยเส้นใยมะพร้าวที่ไม่ได้ปรับปรุงผิวด้วยไซเตียมไฮดรอกไซด์ และยางธรรมชาติที่เสริมแรงด้วยเส้นใยมะพร้าวที่ได้ปรับปรุงผิวด้วยไซเตียมไฮดรอกไซด์ ดังแสดงในภาพที่ 4 พบว่ายางธรรมชาติมีค่าความทนทานต่อแรงดึงสูงกว่าคอมโพสิต คือ 6.64 MPa เนื่องจากยางธรรมชาติมีความเป็นระเบียบสูง ทำให้สามารถดกผลึกได้ง่ายเมื่อถูกดึงยืด ส่งผลให้มีค่าความทนทานต่อแรงดึงมากกว่าคอมโพสิตในทุกอัตราส่วน แต่เมื่อพิจารณาความต้านทานต่อแรงดึงและค่าความสามารถในการยืดจนขาดของคอมโพสิตก่อนและหลังการปรับปรุงผิวด้วยไซเตียมไฮดรอกไซด์พบว่าเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น ค่าความต้านทานต่อแรงดึงและค่าความสามารถในการยืดจนขาดของคอมโพสิตมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากการเพิ่มปริมาณเส้นใยให้มากขึ้นส่งผลให้เกิดการรวมกลุ่มกันของเส้นใยทำให้การถ่ายเทความเค้นขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งของยางคอมพอสิตต่อปริมาณเส้นใยก่อนและหลังปรับปรุงผิวด้วยไซเดียมไฮดรอกไซด์

จากภาพที่ 6 แสดงผลของปริมาณเส้นใยมะพร้าวต่อสมบัติความแข็ง พบว่าสมบัติความแข็งมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยมะพร้าวมากขึ้น ยางคอมพาวด์ที่มีปริมาณเส้นใยมะพร้าวน้อยจะมีส่วนของยางมาก ก็จะนุ่มแต่ยางคอมพาวด์ที่มีปริมาณเส้นใยมะพร้าวมากขึ้น การรวมตัวและการอัดตัวของเส้นใยทำให้ค่าความแข็งสูงขึ้นตามปริมาณของเส้นใยที่เพิ่มขึ้น

## 2. การศึกษาผลของปริมาณสารทนไฟที่มีต่อยางคอมพอสิต

ศึกษาผลของปริมาณสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ต่อสมบัติเชิงกลและศึกษาอัตราการลามไฟของวัสดุคอมพอสิตดังแสดงในตารางที่ 3-4

ตารางที่ 3 อัตราการเผาไหม้ของยางคอมพอสิตที่แปรปริมาณสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ที่ปริมาณต่างๆ

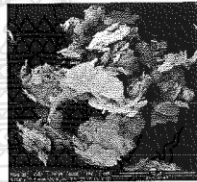
Sample (phr)	Burning rate mm./min
NR-MH0-F60	43.81 ± 1.31
NR-MH30-F60	22.20 ± 0.27
NR-MH60-F60	18.40 ± 0.48
NR-MH90-F60	14.63 ± 0.38
NR-MH120-F60	13.17 ± 0.76

หมายเหตุ ตามมาตรฐาน Burning rate อยู่ในช่วงไม่เกิน 40 mm./min ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ดีสำหรับวัสดุป้องกันการลามติดไฟ ที่ความหนาชิ้นงาน 3-13 มม.

ผลการศึกษาอัตราการเผาไหม้ (Horizontal Burning Rate) ของยางคอมพอสิตที่แปรปริมาณสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ อัตราการเผาไหม้ (Horizontal Burning Rate) ของยางคอมพอสิต การใส่เส้นใยมะพร้าวลงในยางคอมพาวด์จะส่งผลต่ออัตราการเผาไหม้ จากผลการทดลองพบว่า สูตรที่ 1 มีอัตราการเผาไหม้คือ 43.81 mm./min ซึ่งมีอัตราการเผาไหม้ที่เกินมาตรฐาน Horizontal Burning Rate ซึ่งกำหนดค่าไม่เกิน 40 mm./min

เนื่องจากในสูตรที่ 1 ไม่ได้เติมสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ ( $Mg(OH)_2$ ) อย่างไรก็ตามอัตราการเผาไหม้ของยางคอมพอสิตระหว่างยางธรรมชาติผสมเส้นใยมะพร้าวมีอัตราการเผาไหม้ลดลง เมื่อเติมแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ ( $Mg(OH)_2$ ) ลงไปในยางคอมพอสิต

จากตารางที่ 4 แสดงค่าความต้านทานต่อแรงดึง พบว่าค่าความต้านทานต่อแรงดึงมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณของแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์เป็นสารตัวเติมที่มีโครงสร้างเป็นแผ่น ดังภาพที่ 7 และมีการเกาะกลุ่มกันเองสารทนไฟจึงกระจายตัวได้ไม่สม่ำเสมอในเมทริกซ์กลายเป็นจุดอ่อนแอในเนื้อเมทริกซ์ส่งผลให้การรับแรงและกระจายแรงกระทำเกิดขึ้นได้น้อย และพบว่าแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์มีลักษณะพื้นฐานเป็นแผ่นจึงทำให้สมบัติเชิงกลมีแนวโน้มลดลงกลายเป็นจุดอ่อนแอในเนื้อเมทริกซ์



ภาพที่ 7 ภาพถ่าย SEM ของอนุภาคสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์

ตารางที่ 4 สมบัติเชิงกลของยางคอมพอสิตที่แปรปริมาณสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์

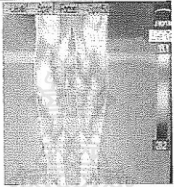
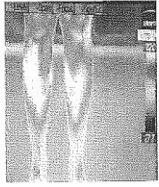

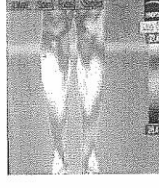
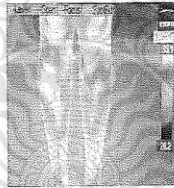

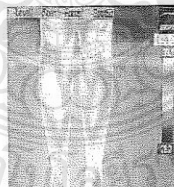

Sample (phr)	100 % Modulus	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	Hardness (Shore A)
NR	0.59±0.04	6.64±0.50	573.05±24.43	42.34±0.41
NR-MH0-F60	1.39±0.16	1.73±0.28	218.00±2.16	70.67±1.29
NR-MH30-F60	1.41±0.03	1.67±0.30	148.30±0.83	76.80±0.31
NR-MH60-F60	1.61±0.11	1.38±0.13	135.78±1.54	79.73±0.38
NR-MH90-F60	1.75±0.11	1.24±0.31	114.78±0.093	83.39±0.63
NR-MH120-F60	2.08±0.21	1.21±0.14	43.43±0.143	87.72±0.62

### 3. การศึกษาสมบัติของแผ่นยางคอมพอสิตด้วยเครื่องจับความร้อน Infrared Camera

จากการทดสอบการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิพื้นผิวของบนกระเบื้องปูพื้นและบนแผ่นยางคอมพอสิตด้วยกล้องจับความร้อน Infrared Camera ยี่ห้อ JENOPTIK infartec รุ่น Vario CAM โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 การทดสอบ คือ ยืนบนกระเบื้องปูพื้น 30 นาทีก่อนการทดสอบและการใช้แผ่นยางคอมพอสิตโดยระยะเวลาในการทดสอบคือ 30 นาที พบว่าการยืนบนแผ่นยางคอมพอสิตสามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิพื้นผิวของบนแผ่นยางคอมพอสิตได้ชัดเจน เมื่อเทียบกับการยืนบนกระเบื้องปูพื้นโดยทำการทดสอบด้วยเครื่องจับความร้อน ซึ่งอุณหภูมิผิวที่เพิ่มขึ้น สามารถสันนิษฐานได้ว่าการไหลเวียนโลหิตดีขึ้น ซึ่งจากการทดสอบสูตรที่ 2 และสูตรที่ 3 อุณหภูมิพื้นผิวของเกิดขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ส่วนสูตรที่ 4 และ 5 พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงที่เห็นได้ในอุณหภูมิพื้นผิวของที่ไม่แตกต่างกัน เนื่องจากแผ่นยางมีความแข็ง เหนียวไม่ยืดหยุ่นทำให้การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิพื้นผิวของเกิดได้ ส่วนผลการศึกษาความพึงพอใจพฤติกรรมในการใช้ผลิตภัณฑ์แผ่นยางลดความเมื่อยล้าจากยางธรรมชาติผสมเส้นใยมะพร้าว

โดยศึกษากับผู้สูงอายุ 60 ปีขึ้นไปจำนวน 15 คน พบว่า ผู้สูงอายุทั้งเพศชายและเพศหญิงมีความพึงพอใจในการใช้ผลิตภัณฑ์แผ่นยางคอมโพสิตจากยางธรรมชาติผสมเส้นใยมะพร้าวไม่แตกต่างกันโดยสูตรที่ 1-5 คิดเป็นค่าเฉลี่ย 4.26, 4.36, 4.41, 4.33 และ 4.23 ตามลำดับ ในภาพรวมอยู่ในระดับพอใจมาก ซึ่งพบว่า สูตรที่ 3 มีความพึงพอใจพฤติกรรมในการใช้ผลิตภัณฑ์แผ่นกันเมื่อยจากยางธรรมชาติผสมเส้นใยมะพร้าวมากกว่าสูตรอื่นๆ โดยมีค่าเฉลี่ย 4.41

ตารางที่ 5 การทดสอบการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิพื้นผิวหนังบนกระเบื้องปูพื้นและบนแผ่นยางคอมโพสิตด้วยกล้องจับความร้อน (Infrared Camera) ยี่ห้อ JENOPTIK infartec รุ่น Vario CAM

ชิ้นงาน	บนกระเบื้องปูพื้น 30 นาที ก่อนการทดสอบ	บนแผ่นยางกันเมื่อย หลังจากการเริ่มการทดสอบ 30 นาที
ยางธรรมชาติ		
ยางธรรมชาติ/ เส้นใยมะพร้าว 40 phr		
ยางธรรมชาติ/ เส้นใยมะพร้าว 60 phr		
ยางธรรมชาติ/ เส้นใยมะพร้าว 80 phr		



ตารางที่ 5 การทดสอบการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิพื้นผิวน่องบนกระเบื้องปูพื้นและบนแผ่นยางคอมโพสิต ด้วยกล้องจับความร้อน (Infrared Camera) ยี่ห้อ JENOPTIK infatrec รุ่น Vario CAM

ชิ้นงาน	บนกระเบื้องปูพื้น 30 นาที ก่อนการทดสอบ	บนแผ่นยางกันเมื่อย หลังจากการเริ่ม การทดสอบ 30 นาที
ยางธรรมชาติ/ เส้นใยมะพร้าว 100 phr		

หมายเหตุ สีขาว สันนิษฐานการเกิดการไหลเวียนเลือด

### อภิปรายผล

1. จากการศึกษาการเตรียมเส้นใยมะพร้าวด้วยวิธีทางเคมี การปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่าพื้นผิวของเส้นใยมีความสะอาดขึ้น เกิดจากการกำจัดพวกกรดไขมัน ลิกนินและพวกเฮมิเซลลูโลสออกจากพื้นผิวของเส้นใยมะพร้าว ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Huang (2009) และ Pantamanatsopa et al. (2014) โดยเฉพาะลิกนินซึ่งสลายตัวได้ง่ายเมื่อถูกทำลายด้วยความร้อนและสารเคมีและจากงานวิจัยที่ผ่านมาของ Asasutjarit et al. (2009) แสดงให้เห็นว่าการปรับเปลี่ยนพื้นผิวช่วยเพิ่มการยึดเกาะระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์ได้ การศึกษาอิทธิพลของปริมาณเส้นใยมะพร้าวต่อสมบัติของวัสดุคอมโพสิต โดยแปรปริมาณเส้นใยมะพร้าว 40 60 80 และ 100 phr ตามลำดับ ต่อสมบัติเชิงกล พบว่าเมื่อปริมาณเส้นใยมะพร้าวเพิ่มขึ้น ค่าโมดูลัสจะมีแนวโน้มสูงขึ้นเนื่องมาจากการลดช่องว่างความยึดหยุ่นของสายโซ่ซึ่งส่งผลให้คอมโพสิตแข็ง (rigid) ซึ่งพบผลที่คล้ายกันกับ Mathew & Joseph (2007) เมื่อปริมาณของเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวในยางธรรมชาติเพิ่มขึ้นพบว่า M100% สูงกว่าคอมโพสิตของเส้นใยที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงเนื่องมาจากการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ทำให้เฮมิเซลลูโลส สารพวกขี้ผึ้ง และสารปนเปื้อนต่างๆ ถูกกำจัดออกไปจากเส้นใยส่งผลให้พื้นผิวเส้นใยมีความขรุขระเพิ่มมากขึ้นซึ่งเป็นการเพิ่มแรงยึดติดระหว่างเส้นใยและยางธรรมชาติ Asasutjarit et al. (2009) สมบัติความทนทานต่อแรงดึงและความสามารถในการยึดจนขาดจะมีค่าลดลง เนื่องจากเมื่อเติมปริมาณเส้นใยลงไปมีการขัดขวางของเมทริกซ์เส้นใยในยางธรรมชาติจึงทำให้วัสดุคอมโพสิตประกอบยึดตัวได้น้อย ส่วนความแข็งและค่าโมดูลัสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจากการรวมตัวและการอัดตัวของเส้นใย

2. การศึกษาอัตราการเผาไหม้และสมบัติของสารทนไฟต่อสมบัติเชิงกล จากผลการศึกษาอัตราการเผาไหม้ (Horizontal Burning Rate) ของยางคอมโพสิตที่แปรปริมาณสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ การใส่เส้นใยมะพร้าวลงไปในช่วงคอมพาวด์จะส่งผลต่ออัตราการเผาไหม้ เนื่องจากยางธรรมชาติและเส้นใยมะพร้าวมีคุณสมบัติเป็นเชื้อเพลิงอย่างดีที่ติดไฟได้ง่ายอย่างไรก็ตามอัตราการเผาไหม้ของยางคอมโพสิตระหว่างยางธรรมชาติผสมเส้นใยมะพร้าวมีอัตราการเผาไหม้ลดลงเมื่อเติมแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ (Mg(OH)<sub>2</sub>) ลงไปในยางคอมโพสิต การเติมแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ในปริมาณที่มากขึ้นทำให้อัตราการเผาไหม้ลดลงเป็น 2 เท่า ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาของ

Chaisupakitsin et al. (2010) พบว่าแมกนีเซียมออกไซด์ทำหน้าที่เป็นฉนวนป้องกันความร้อนจากภายนอกช่วยลดการเสื่อมสภาพของชิ้นวัสดุ และเนื่องจากแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์เมื่อได้รับความร้อนจะปลดปล่อยผลึกน้ำออกมาทำให้ระบบเย็นลง ดังนั้นจึงเท่ากับเป็นการเพิ่มปริมาณน้ำในระบบและยังเป็นการเจือจางเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้ของยาง ส่งผลให้สามารถหน่วงการจุดติดไฟและทำให้การลามไฟได้ช้าลง Cross (2009) และ Sain (2004) และพบว่าการเติมแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ ( $Mg(OH)_2$ ) ที่ปริมาณ 30 phr สามารถลดอัตราการลามไฟของวัสดุคอมโพสิตได้ จากการศึกษาสมบัติของสารหนไฟต่อสมบัติเชิงกล พบว่าเมื่อเติมสารหนไฟลงไปค่าความต้านทานต่อแรงดึงมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากสารหนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์เป็นสารตัวเติมที่มีโครงสร้างเป็นแผ่นและมีการเกาะกลุ่มกันเองกลายเป็นจุดอ่อนแอในเนื้อเมทริกซ์ ส่งผลให้การรับแรงและกระจายแรงกระทำเกิดขึ้นได้น้อยซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาของ Dong-yun et al. (2015)

3. ผลการทดสอบการใช้แผ่นยางคอมโพสิตโดยใช้ล้องจับความร้อน จะเห็นได้ว่าการยึบบนแผ่นยางคอมโพสิตสามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิพื้นผิวของบนแผ่นยางคอมโพสิตได้ชัดเจน เมื่อเทียบกับการยึบบนกระเบื้องพื้น เนื่องจากแผ่นยางมีความยืดหยุ่นซึ่งมาจากเฟสของยางธรรมชาติที่มากกว่าปริมาณเส้นใยเกิดการถ่ายเทพลังงานทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิพื้นผิว จากผลการศึกษาความพึงพอใจพฤติกรรมในการใช้ผลิตภัณฑ์แผ่นกันเมื่อยจากยางธรรมชาติผสมเส้นใยมะพร้าว โดยศึกษากับผู้สูงอายุ 60 ปีขึ้นไป พบว่าทั้งเพศชายและเพศหญิงมีความพึงพอใจมาก

#### ข้อเสนอแนะ

##### 1. ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

(1) แผ่นยางลดความเมื่อยล้าสามารถนำไปใช้กับสระระดับอื่นๆ ได้

##### 2. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

(1) ควรมีการศึกษาผลการใช้งานกับกลุ่มตัวอย่างอื่นๆ

(2) ควรออกแบบชิ้นงานให้หลากหลายรูปแบบเพื่อความเหมาะสมของผู้ใช้

#### เอกสารอ้างอิง

- Asasutjarit C., Charoenva S., Hirunlabh, J.,and Khedari, J. (2009). Material and Mechanical Properties of Pretreated Coir-Based Green Composites," *Composites Part B: Engineering*, 40 633-637.
- Cross, M.S., Cuasack, P.A. and Hornsby, P.R. (2003). Effects of tin additives on the flammability and smoke emission characteristics of halogen-free ethylene-vinyl acetate copolymer. *Polymer Degradation and Stability*, 79, 309-318.
- Dong-yun, et al. (2015). Atomistic simulation of defected magnesium hydroxide as flame retardants. *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, 25, 4080 – 4088.
- Foundation for Older Persons' Development. (2015). *Situations of Older Persons in Thailand*. [Online]. Retrieved 20 June 2018, from: <https://fopdev.or.th/สถานการณ์ผู้สูงอายุในประเทศไทย> (in Thai)

- Gu, H. (2009). Tensile behaviours of the coir fibre and related composites after NaOH treatment, *Materials and Design*, 30, 3931-3934.
- Chaisupakitsin, M., Pitoonthud, T., Putthachartsombut, P. and Surengrit, R. (2010). Properties of Fiberboard Made from Coconut Coir/Polystyrene Foam Containing Flame Retardant. *Burapha Sci. J.* 15, 2, 57-66. (in Thai)
- Mathew, L. and Joseph, R. (2007). Mechanical properties of short-isora-fiber-reinforced naturalrubber composites: Effects of fiber length, orientation, and loading; alkali treatment; and bonding agent. *J. Appl. Polym. Sci.*, 103, 1640-1650.
- Pantamanatsopa, P., Ariyawiriyanan W., Meekeaw T. Suthamyong R., Arrub K., Hamada H. (2014). Effect of Modified Jute Fiber on Mechanical Properties of Green Rubber Composite. *Energy Procedia*, 56, 641-647.
- Sain M., Park S.H., Suhara F. and Law S. (2004). Flame retardant and mechanical properties of natural fibre-PP composites containing magnesium hydroxide. *Polymer Degradation and Stability*, 83, 363-367.
- Raghavendra S.,Lingaraju P., Balachandra Shetty, Mukunda PG. (2013). Mechanical Properties of Short Banana Fiber Reinforced Natural Rubber Composites. *Science, Engineering and Technology*, 2, 1652-1655.



## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – สกุล	ขวัญกมล สุขสม
วัน เดือน ปีเกิด	28 พฤษภาคม 2533
ที่อยู่	167 ม. 2 ต. พรหมโลก อ. พรหมคีรี จ. นครศรีธรรมราช 80320
การศึกษา	ปริญญาตรี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาขาวิชาเทคโนโลยียาง มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ประสบการณ์การทำงาน	พนักงานราชการครู วิทยาลัยเทคนิคระยอง
เบอร์โทรศัพท์	08-2517-9085
อีเมลล์	khwankamol_s@mail.rmutt.ac.th

