



การศึกษาความต้านทานแรงดึงของไฟเบอร์กลาสผสมน้ำยางพาราชั้น  
และเส้นใยจากเปลือกทุเรียน

A STUDY ON THE TENSILE STRENGTH OF FIBERGLASS MIXED WITH PARA RUBBER  
LATEX AND DURIAN PEEL FIBERS

วิทยานิพนธ์  
ของ  
วสันต์ วิเวโก

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม  
บัณฑิตศึกษาคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี  
กันยายน 2565

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

การศึกษาความต้านทานแรงดึงของไฟเบอร์กลาสผสมน้ำยางพาราชั้น  
และเส้นใยจากเปลือกทุเรียน  
A STUDY ON THE TENSILE STRENGTH OF FIBERGLASS MIXED WITH PARA RUBBER  
LATEX AND DURIAN PEEL FIBERS

วิทยานิพนธ์  
ของ  
วสันต์ วิเวโก

เสนอต่อมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม  
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี  
กันยายน 2565

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

วสันต์ วิเวโก. (2565). การศึกษาความต้านทานแรงดึงของไฟเบอร์กลาสผสมน้ำยางพาราชั้นและเส้นใยจากเปลือกทุเรียน. วิทยานิพนธ์ วท.ม. (เทคโนโลยีอุตสาหกรรม). จันทบุรี : มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี.

#### คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

อนุรักษ์ รอดบำรุง ปร.ด. (วิศวกรรมเครื่องกล)

ประธานกรรมการ

เบญจมาศ เนติวรรักษา วศ.ด. (วิศวกรรมเคมี)

กรรมการ

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติการต้านทานแรงดึงและโมดูลัสความยืดหยุ่นในไฟเบอร์กลาสผสม น้ำยางพาราชั้น และเส้นใยจากเปลือกทุเรียน โดยใช้ น้ำยางพาราชั้น เรซิน สารลดแรงตึงผิว ตัวทำแข็งและ ตัวเร่งปฏิกิริยา เท่ากับ 10:100:10:0.2:0.2 อัตราส่วนโดยน้ำหนัก ตามลำดับ และใช้อัตราส่วนของใยแก้วและเส้นใยจากเปลือกทุเรียน 5 สัดส่วน คือ 600:0, 550:50, 500:100, 450:150, 400:200 กรัมต่อตารางเมตร โดยทำการผสม และขึ้นรูปขึ้นงานตามมาตรฐาน ASTM D638 เพื่อทดสอบคุณสมบัติการต้านทานแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM D638 ผลทดสอบพบว่าสัดส่วนใยแก้วต่อเส้นใยจากเปลือกทุเรียน 550:50 ทำให้ไฟเบอร์กลาสมีค่าความต้านทานแรงดึงมากที่สุด ค่าความต้านทานแรงดึงเฉลี่ย 6.54 เมกะปาสคาล และค่าโมดูลัสของยัง มีค่าสูงที่สุดที่สัดส่วน 450:150 ซึ่งมีค่าเฉลี่ย ที่ 968.82 เมกะปาสคาล จะเห็นได้ว่าเส้นใยจากเปลือกทุเรียนส่งผลให้ค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น เนื่องจากเป็นเส้นใยธรรมชาติที่มีคุณสมบัตินุ่มและเหนียว สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุทดแทน ในวัสดุผสมของการทำไฟเบอร์กลาส ที่มีต้นทุนสูงได้ต่อไป

**คำสำคัญ :** ไฟเบอร์กลาส, เส้นใยเปลือกทุเรียน, ยางพารา, คุณสมบัติการต้านทานแรงดึง

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

Wasan Wiwako. (2022). A study on the tensile strength of fiberglass mixed with para rubber latex and durian peel fibers. Thesis M.Sc. (Industrial Technology). Chanthaburi : Rambhai Barni Rajabhat University.

**Thesis Advisor**

Anurak Rodbumrung Ph.D. (Mechanical Engineering)	Chairman
Benjamas Netiworaruksa D.Eng. (Chemical Engineering)	Member

**Abstract**

The objective of this research was to study the tensile properties of fiberglass mixed with latex and durian peel fiber by used concentrated latex, resin, surfactant, hardener, catalyst equal were 10: 100: 10: 0.2: 0.2 Respectively. In addition, five main ratios of fiber glass and durian peel fiber were mixed and formed to test the tensile properties: 600:0, 550:50, 500:100, 450:150, and 400:200 grams. The results showed that the fiberglass with a glass fiber and durian peel fiber ratio of 550:50 had the maximum tensile strength. Young's modulus was 6.54 MPa and the average tensile strength was 6.54 MPa. It was the highest, with a ratio of 450:150 average 968.82 MPa. As shown, the fiber from the durian peel resulted in an increase in the modulus of elasticity. It's a natural material that's both soft and durable. It can be applied as a cost-effective substitute in fiberglass composites.

Keywords : Fiberglass, Durian peel Fiber, Rubber and Tensile Properties.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลือให้คำแนะนำอย่างดียิ่งจาก อาจารย์ ดร.อนุรักษ์ รอดบำรุง ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ขอขอบพระคุณ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม และคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ที่ได้เป็นแหล่งกระตุ้นในการทำวิจัยรวมทั้งอำนวยความสะดวกทางด้านเครื่องมือและสถานที่ทำวิจัย และขอขอบพระคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ที่สนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัยในครั้งนี้ และการให้ข้อมูลวิจัย รวมถึงคำปรึกษาที่ดีเสมอมา ตลอดจนขอกราบขอบพระคุณท่านคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่าน

ท้ายที่สุดนี้หวังว่างานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้อ่านไม่มากก็น้อย ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการวิจัยไฟเบอร์กลาสผสมน้ำยาพาราและเส้นใยธรรมชาติ เพื่อเป็นแนวทางในการใช้เป็นวัสดุทดแทนตลอดจนมีการใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่ารวมถึงเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและหากมีข้อบกพร่องประการใดทางผู้เขียนขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

วสันต์ วิเวโก  
กันยายน 2565

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

## สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย.....	3
ประโยชน์ของการวิจัย.....	3
ขอบเขตของการศึกษา.....	3
นิยามศัพท์ที่ใช้ในการศึกษา.....	4
2 แนวคิดทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
ทุเรียน.....	5
ยางพารา.....	7
เส้นใยธรรมชาติ.....	8
ไฟเบอร์กลาส.....	9
สารลดแรงตึงผิว.....	14
การทดสอบคุณสมบัติการต้านทานแรงดึง.....	16
มาตรฐาน ASTM.....	22
การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้อง.....	24
3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	26
วัสดุอุปกรณ์ สารเคมี และเครื่องมือ.....	26
ขั้นตอนการผลิตเส้นใยจากเปลือกทุเรียน.....	27
ขั้นตอนการผลิตแผ่นไฟเบอร์กลาสผสมยางพารากับเส้นใยจากเปลือกทุเรียน.....	29
ขั้นตอนการทดสอบ.....	33
4 ผลการวิจัย.....	34
ผลของการตรวจสอบด้วยสายตาที่พื้นผิวไฟเบอร์กลาสผสมน้ำยางพาราและเส้นใย จากเปลือกทุเรียน.....	34
ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของไฟเบอร์กลาสผสมน้ำยางพารา และเส้นใย จากเปลือกทุเรียน.....	38
ผลการทดสอบโมดูลัสของยังของไฟเบอร์กลาสผสมน้ำยางพารา และเส้นใย จากเปลือกทุเรียน.....	42
ค่า STRAIN AT BREAK .....	44

## สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
5 สรุปผล อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ.....	46
สรุปผลและอภิปรายผล.....	46
ปัญหาและอุปสรรคในการทำวิจัย.....	46
ข้อเสนอแนะ .....	46
บรรณานุกรม.....	47
ภาคผนวก.....	49
ภาคผนวก ก ตารางบันทึกข้อมูล.....	50
ภาคผนวก ข การทดสอบความต้านทานแรงดึง.....	54
ประวัติผู้วิจัย.....	60

## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 สัดส่วนระหว่างเส้นใยกับเส้นใยจากเปลือกทุเรียน.....	3
4.1 ความต้านทานแรงดึง.....	39
4.2 ความต้านทานแรงดึงเฉลี่ย.....	40
4.3 โมดูลัสความยืดหยุ่น.....	42
4.4 โมดูลัสความยืดหยุ่นเฉลี่ย.....	42
4.5 Strain at Break.....	44
4.6 Strain at Break เฉลี่ย.....	44
ก 1 ความต้านทานแรงดึง.....	51
ก 2 ความต้านทานแรงดึงเฉลี่ย.....	51
ก 3 โมดูลัสความยืดหยุ่น.....	52
ก 4 โมดูลัสความยืดหยุ่นเฉลี่ย.....	52
ก 5 Strain at Break.....	53
ก 6 Strain at Break เฉลี่ย.....	53

## สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
1.1 เศษเปลือกทุเรียนที่ถูกนำมาทิ้งเป็นปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม.....	1
2.1 ความเค้นแรงดึง.....	17
2.2 ความเค้นแรงอัด.....	17
2.3 ความเค้นแรงเฉือน.....	17
2.4 เส้นโค้งความเค้นและความเครียด.....	19
2.5 มาตรฐาน ASTM D638.....	20
2.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับระยะยืดตัว.....	20
2.7 การเกิดความเครียด ( $\epsilon$ ).....	21
2.8 ตัวอย่างเครื่องทดสอบความต้านทานแรงดึง (Universal testing machine).....	22
3.1 ลักษณะเปลือกทุเรียนที่นำมาหั่นแล้ว.....	27
3.2 เปลือกทุเรียนที่นำมาใส่ถุงรัดปาก.....	27
3.3 การเลือกเปลือกทุเรียนมาตำ.....	28
3.4 การนำเส้นใยที่ได้ไปล้างน้ำ.....	28
3.5 เส้นใยพร้อมใช้งาน.....	29
3.6 ขั้นตอนการผลิตแผ่นไฟเบอร์กลาสผสมยางพารา กับเส้นใยจากเปลือกทุเรียน.....	29
3.7 แม่แบบ.....	30
3.8 การกวนเรซินด้วยเครื่องกวน.....	30
3.9 การเทเรซินใส่แม่แบบ.....	31
3.10 การอบแผ่นไฟเบอร์กลาส.....	32
3.11 การตัดชิ้นงานไฟเบอร์กลาสตามมาตรฐาน ASTM D638.....	32
3.12 ชิ้นงานที่พร้อมนำไปทดสอบ.....	33
4.1 ภาพลักษณะทางกายภาพของไฟเบอร์กลาสผสมน้ำยางพาราชั้นและเติมเส้นใยจากเปลือกทุเรียนที่สัดส่วน 600:0 กรัม / ตารางเมตร.....	35
4.2 ภาพลักษณะทางกายภาพของไฟเบอร์กลาสผสมน้ำยางพาราชั้นและเติมเส้นใยจากเปลือกทุเรียนที่สัดส่วน 550:50 กรัม / ตารางเมตร.....	35
4.3 ภาพลักษณะทางกายภาพของไฟเบอร์กลาสผสมน้ำยางพาราชั้นและเติมเส้นใยจากเปลือกทุเรียนที่สัดส่วน 500:100 กรัม / ตารางเมตร.....	36
4.4 ภาพลักษณะทางกายภาพของไฟเบอร์กลาสผสมน้ำยางพาราชั้นและเติมเส้นใยจากเปลือกทุเรียนที่สัดส่วน 450:150 กรัม / ตารางเมตร.....	37
4.5 ภาพลักษณะทางกายภาพของไฟเบอร์กลาสผสมน้ำยางพาราชั้นและเติมเส้นใยจากเปลือกทุเรียนที่สัดส่วน 400:200 กรัม / ตารางเมตร.....	37
4.6 ตัวอย่างชิ้นงานไฟเบอร์กลาสผสมน้ำยางพาราและเส้นใยธรรมชาติตามมาตรฐาน ASTM D638 เพื่อทดสอบคุณสมบัติความต้านทานแรงดึง.....	38

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
4.7 ค่าของการทดสอบความต้านทานแรงดึงของไฟเบอร์กลาสที่ผสมน้ำยาพาราซีนและเส้นใยจากเปลือกทุเรียนในแต่ละสัดส่วน.....	40
4.8 ลักษณะการขาดของชิ้นงานสัดส่วน 600:0.....	41
4.9 ลักษณะการขาดของชิ้นงานสัดส่วน สัดส่วน 550:50.....	41
4.10 ค่าของโมดูลัสความยืดหยุ่นของไฟเบอร์กลาสที่ผสมน้ำยาพาราซีนและเส้นใยจากเปลือกทุเรียนในแต่ละสัดส่วน.....	43
4.11 Strain at break.....	45
4.12 ลักษณะการขาดของชิ้นงานและการจัดวางตัวของเส้นใย.....	45
ข 1 รอยขาดชิ้นงานที่สัดส่วน ใยแก้วต่อเส้นใยจากเปลือกทุเรียน ที่สัดส่วน 600:0 กรัม / ตารางเมตร.....	55
ข 2 รอยขาดชิ้นงานที่สัดส่วน ใยแก้วต่อเส้นใยจากเปลือกทุเรียน ที่สัดส่วน 550:50 กรัม/ ตารางเมตร.....	56
ข 3 รอยขาดชิ้นงานที่สัดส่วน ใยแก้วต่อเส้นใยจากเปลือกทุเรียน ที่สัดส่วน 500:100 กรัม / ตารางเมตร.....	57
ข 4 รอยขาดชิ้นงานที่สัดส่วน ใยแก้วต่อเส้นใยจากเปลือกทุเรียน ที่สัดส่วน 450:150 กรัม / ตารางเมตร.....	58
ข 5 รอยขาดชิ้นงานที่สัดส่วน ใยแก้วต่อเส้นใยจากเปลือกทุเรียน ที่สัดส่วน 400:200 กรัม / ตารางเมตร.....	59

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยเป็นประเทศที่ผลิตสินค้าทางการเกษตรเป็นอันดับต้นๆ ของโลกโดยเฉพาะทุเรียน ประเทศไทยคือผู้ผลิตรายใหญ่ที่สุดในโลก คนไทยนิยมเรียกว่า “ราชาแห่งผลไม้” รสชาติ อ่อนหวานมัน ประกอบกับกลิ่นหอมอันเป็นเอกลักษณ์ ทำให้เป็นที่ชื่นชอบของคนทั่วไปไม่ว่าชนชาติผู้หลงรักในผลไม้ ไทย ประเทศไทยเป็นหนึ่งในผู้ส่งออกหลักทุเรียน ซึ่งในแต่ละปีผลผลิต ที่ส่งออกมีประมาณ 781,000 ตัน จากผลผลิตรวมทั่วโลก 1,400,000 ตัน ถือว่าไทยถือส่วนแบ่งทางการตลาดเกินร้อยละ 50 ถึงผลผลิตของ ทุเรียนถูกส่งออกในปริมาณมากก็ตาม ความต้องการบริโภคในประเทศยังมีเพิ่มขึ้นทุกปี การบริโภค ภายในประเทศ ระหว่างปี 2558 - 2562 ปริมาณความต้องการบริโภคทุเรียนสดและผลิตภัณฑ์ทุเรียนมี แนวโน้มเพิ่มขึ้นร้อยละ 20.64 ต่อปี ซึ่งการบริโภคส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปแบบของทุเรียนสด เนื่องจากปริมาณ ผลผลิตที่เพิ่มขึ้น โดยในปี 2562 มีการบริโภคทุเรียนภายในประเทศ 321,771 ตัน เพิ่มขึ้นจากปี 2561 ร้อยละ 39.96 ทั้งนี้ ในปี 2563 คาดว่าความต้องการบริโภคภายในประเทศจะเพิ่มขึ้นเป็นจากปี 2562 ร้อย ละ 5.63 ซึ่งเป็นผลจากปริมาณผลผลิตที่คาดว่าจะเพิ่มขึ้น โดยทุเรียนหนึ่งลูกมีเนื้อหนึ่งส่วนเปลือกสามส่วน หากมีการบริโภคภายในประเทศ 321,771 ตัน ก็จะมีเปลือกทุเรียนถึง 107,257 ตัน (กรมเจรจาการค้าระหว่าง ประเทศ, 2563 : 1) เศษเปลือกทุเรียน เป็นปัญหาสำคัญในการกำจัดหากเราสามารถนำเปลือกทุเรียนมาใช้ให้ เกิดประโยชน์ก็จะเป็นการช่วยลดภาระในการกำจัดและช่วยรักษาสิ่งแวดล้อม ดัง ภาพประกอบ 1.1 (ปัญหาขยะจากเปลือกทุเรียน) ซึ่งปัจจุบันยังไม่มีวิธีกำจัดที่ชัดเจนแต่ส่วนใหญ่ชาวสวนมัก นิยมใช้วิธีการเอาไปกองรวมกันเพื่อให้เป็นปุ๋ยกับอีกวิธีหนึ่งก็คือการให้เทศบาลเป็นผู้ดูแลในการกำจัด นอกจากนี้ประเทศไทยยังมีพืชอีกชนิดหนึ่งที่เป็นสินค้าส่งออกเป็นอันดับหนึ่งของโลกนั่นคือยางพารา โดย นับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2534 เป็นต้นมาโดยในปี 2562 มีปริมาณยางรวม 9,890.38 ตัน แบ่งเป็นยางแผ่นดิบ 1,449.09 ตัน ยางแผ่นรมควัน 8,441.29 ตัน (กองวิจัยเศรษฐกิจยาง, 2562 : 1) โดยปัจจุบันแนวโน้มการผลิต อุตสาหกรรมยางพาราคาดว่าจะปรับลดลงจากหลายปัจจัย ไม่ว่าจะเป็นสถานการณ์โควิด 19 ที่ ส่งผลต่อภาค การผลิตต้องหยุดกิจการชั่วคราว รวมไปถึงการชะลอตัวของเศรษฐกิจโลก แต่ผลกระทบจาก โควิด 19 นั้น คาดการณ์ว่าส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจทั่วโลก ส่งผลให้ราคายางพาราปรับตัวลดลงด้วยโดยส่งผลกระทบต่อเกษตรกรสวนยางพารา

จากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาการนำน้ำยางพาราชั้นมาผสมกับ ไฟเบอร์กลาส ซึ่งปัจจุบัน ผลผลิตที่ไฟเบอร์กลาสนิยมนำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ทั้งนี้เพราะไฟเบอร์กลาสเป็นวัสดุที่ให้



ภาพประกอบ 1.1 เศษเปลือกทุเรียนที่ถูกนำมาทิ้งเป็นปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม

ความแข็งแรงสูงรวมทั้งมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ต่อมาได้มีผู้คิดค้นและปรับปรุงสมบัติของพลาสติกให้มีคุณภาพของไฟเบอร์กลาสที่ดีขึ้นโดยการหาความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบการพันเส้นใยแก้ว (พิพัฒนา โปศลาภานุมาศ และเจตสุตา ชาญศร, 2558 : 90-95) ทำให้มีนักวิจัยบางท่านเห็นถึงการใช้ประโยชน์จากเส้นใยธรรมชาติและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาเป็นวัสดุที่ผสมในพลาสติก (ถิราวุธ พงศ์ประยูร และคณะ, 2546 : 4) ดังนั้นการเติมเส้นใยจากเปลือกทุเรียนเพื่อเป็นวัสดุเสริมแรงที่มีความยืดหยุ่นเพื่อเป็นส่วนประกอบหลักในการผลิตวัสดุชนิดใหม่ที่มีความแข็งแรง และสามารถแก้ปัญหาการคายตกต่านอกจากนี้ การนำคุณสมบัติเด่นของยางพารา ซึ่งเป็นยางธรรมชาติ มีคุณสมบัติเด่นด้านความยืดหยุ่น การทนทานต่อการขีดถู และสามารถนำมาผสมกับแผ่นไฟเบอร์กลาส ซึ่งเป็นวัสดุคอมโพสิตหรือพลาสติกเสริมแรง (Fiber-reinforced Plastic : FRP) หรือ พลาสติกเสริมแรงด้วยแก้ว (Glass-reinforced Plastic : GRP) เส้นใยไฟเบอร์กลาส เพื่อนำมาใช้เป็นวัสดุเสริมแรงในพอลิเมอร์ รวมทั้งพลาสติกเรซินที่สามารถนำมาขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น หลังคาถระบะ อ่างอาบน้ำ เรือ ชิ้นส่วนเครื่องบินเล็ก ถังน้ำขนาดใหญ่ ชิ้นส่วนรถแข่ง เพราะเส้นใยแก้วมีสมบัติ ความแข็งแรง ทนแรงดึงได้สูง ไม่เป็นสนิม และทนต่อการกัดกร่อน เป็นฉนวนความร้อนที่ดีเหมาะที่จะนำมาใช้เป็นฉนวนในเตา ตู้เย็น หรือวัสดุก่อสร้าง (วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา, 2543 : ม.ป.ป.) นอกจากนี้ใยแก้วจะเป็นฉนวนความร้อนแล้วการเลือกใช้เส้นใยจากเปลือกทุเรียนก็เป็นการเลือกใช้เส้นใยธรรมชาติที่เป็นฉนวนความร้อนด้วยเช่นกันโดยกามะพร้าวต้นข้าวโพดและเปลือกทุเรียนเป็นวัสดุประกอบชีวภาพสามารถนำมาใช้ทดแทนไม้ในแผ่นใยอัดความหนาแน่นปานกลางจากผลการทดสอบพบว่า อัตราส่วน MM33 (เส้นใยมะพร้าว : เส้นใยต้นข้าวโพด : เส้นใยเปลือกทุเรียน เท่ากับ 0.33 : 0.33 : 0.33) และอัตราส่วน CC50 (เส้นใยมะพร้าว : เส้นใยต้นข้าวโพด : เส้นใยเปลือกทุเรียน เท่ากับ 0.50 : 0.25 : 0.25) มีสมบัติทาง

กายภาพและสมบัติทางกลผ่านตามที่มาตรฐานกำหนดนอกจากนี้แผ่นใยชีวภาพอัดยังมีความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนได้ดีซึ่งเป็นสัดส่วนที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน (ปราโมทย์ วีรานุกูล, 2554 : 59 )

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

เพื่อศึกษาคุณสมบัติความต้านทานแรงดึงและโมดูลัสความยืดหยุ่นของไฟเบอร์กลาสที่ผสมน้ำยางพาราชั้นและเส้นใยจากเปลือกทุเรียน

## 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ทราบถึงสัดส่วนที่เหมาะสมในการผสมไฟเบอร์กลาสกับน้ำยางพาราชั้นและเส้นใยแก้วกับใยจากเปลือกทุเรียน

1.3.2 ทราบถึงคุณสมบัติความต้านทานแรงดึงของไฟเบอร์กลาสผสมน้ำยางพาราชั้นเมื่อผสมเส้นใยจากเปลือกทุเรียน

1.3.3 สนับสนุนและส่งเสริมการใช้น้ำยางพาราชั้นภายในประเทศและช่วยแก้ปัญหาเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

## 1.4 ขอบเขตของการศึกษา

1.4.1 ศึกษาส่วนผสมที่เหมาะสมไฟเบอร์กลาสผสมน้ำยางพาราชั้น และเส้นใยจากเปลือกทุเรียน และใยแก้ว 5 สัดส่วน ดังตาราง 1.1 คือ น้ำยางพาราชั้น 60% และ เรซิน, สารลดแรงตึงผิว, ตัวทำแข็ง, ตัวเร่งปฏิกิริยา ในอัตราส่วน 10 : 100 : 10 : 0.2 : 0.2 (อุกฤษฏ์ นาจำปา, 2558 : 27)

ตาราง 1.1 สัดส่วนระหว่างใยแก้วกับเส้นใยจากเปลือกทุเรียน

สัดส่วนที่	เส้นใยแก้ว	เส้นใยเปลือกทุเรียน
1	600 กรัม / ตารางเมตร	ไม่มี
2	550 กรัม / ตารางเมตร	50 กรัม / ตารางเมตร
3	500 กรัม / ตารางเมตร	100 กรัม / ตารางเมตร
4	450 กรัม / ตารางเมตร	150 กรัม / ตารางเมตร
5	400 กรัม / ตารางเมตร	200 กรัม / ตารางเมตร

1.4.2 ศึกษาคุณสมบัติความต้านทานแรงดึงของไฟเบอร์กลาสผสมน้ำยางพาราชั้นเมื่อผสมเส้นใยจากเปลือกทุเรียนและใยแก้ว ในสัดส่วน 5 สัดส่วน ดังตาราง 1.1 น้ำยางพาราชั้น 60% กับ เรซิน, สารลดแรงตึงผิว, ตัวทำแข็ง, ตัวเร่งปฏิกิริยา ในอัตราส่วน 10 : 100 : 10 : 0.2 : 0.2

## 1.5 นิยามศัพท์ที่ใช้ในการศึกษา

1.5.1 ไฟเบอร์กลาส หมายถึง ใยแก้วหรือเส้นใยของแก้วที่ปั่นให้เป็นเส้นละเอียดบางๆ เพื่อนำมาใช้เป็นวัสดุเสริมแรง

1.5.2 เส้นใยธรรมชาติ หมายถึง เส้นใยที่ได้จาก พืช สัตว์และหินแร่ต่างๆ Amphibole rock มีลักษณะเป็นชั้นลื่นเหมือนสปู

1.5.3 เส้นใยทุเรียน หมายถึง เส้นใยที่ได้จากเปลือกทุเรียน

1.5.4 เรซิน หมายถึง พลาสติกที่อยู่ในสภาพเป็นของเหลวเมื่อนำมาขึ้นรูปแล้ว จะไม่สามารถกลับมาอยู่ในสภาพเดิมได้อีก



ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

## บทที่ 2

### แนวคิดทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาคุณสมบัติความต้านทานแรงดึงในไฟเบอร์กลาสผสมน้ำยาพาราและเส้นใยจากเปลือกทุเรียนในครั้งนี้เป็นการศึกษาแนวความคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

- 2.1 ทุเรียน
- 2.2 ยางพารา
- 2.3 เส้นใยธรรมชาติ
- 2.4 ไฟเบอร์กลาส
- 2.5 การทดสอบคุณสมบัติความต้านทานแรงดึง
- 2.6 มาตรฐาน ASTM
- 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ทุเรียน

ทุเรียนเป็นไม้ผลในวงศ์ฝ้าย (Malvaceae) ในสกุลทุเรียน (Durio) ถึงแม้ว่านักอนุกรมวิธานบางคนจัดให้อยู่ในวงศ์ทุเรียน (Bombacaceae) ก็ตาม ทุเรียนเป็นผลไม้ซึ่งได้ชื่อว่าเป็นราชา ของผลไม้ ผลทุเรียนมีขนาดใหญ่และมีหนามแข็งปกคลุมทั่วเปลือก อาจมีขนาดยาวถึง 30 ซม. และอาจมีเส้นผ่าศูนย์กลางยาวถึง 15 ซม. โดยทั่วไปมีน้ำหนัก 1-3 กิโลกรัม ผลมีรูปรีถึงกลม เปลือกมีสีเขียวถึงน้ำตาล เนื้อในมีสีเหลืองซีดถึงแดง แตกต่างกันไปตามสปีชีส์ มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Durio Zibenthinus* Murr. เป็นไม้ผลเขตร้อนอยู่ในวงศ์ Bombacaceae ชื่อ “ทุเรียน” ในภาษาไทย มีรากศัพท์มาจากคำในภาษามลายูและอินโดนีเซียว่า “ดูเรียน” ซึ่งมาจากคำว่า “ดูริ” แปลว่า “หนาม” ต่อมาสำเนียงแปลงเป็น “ทุเรียน ” และ “ทุเรียน ” ในที่สุด ใน ภาษาอังกฤษเรียกชื่อทุเรียนว่า “Durian” ทุเรียนเป็นไม้ผลยืนต้นไม่ผลัดใบ ลำต้นตรง สูง 25-50 เมตรขึ้นกับชนิด แตกกิ่งเป็นมุมแหลม ปลายกิ่งตั้งกระจายกึ่งกลางลำต้นขึ้นไป เปลือกชั้นนอกของลำต้นสีเทาแก่ ผิวขรุขระ หลุดลอกออกเป็นสะเก็ด ไม่มียาง ใบเป็นใบเดี่ยว เกิดกระจายทั่วกิ่ง เกิดเป็นคู่อยู่ตรงกันข้ามระนาบเดียวกัน ก้านใบกลมยาว 2-4 ซม. แผ่นใบรูปไข่แกมขอบขนานปลายใบใบเรียวแหลม ยาว 10-18 ซม. ผิวใบเรียบลื่น มีไขนวล ใบด้านบนมีสีเขียว ท้องใบมีสีน้ำตาลเส้นใบด้านล่างนูนเด่น ขอบใบเรียบ ดอกเป็นดอกช่อ มี 3-30 ช่อบนกิ่งเดียวกัน เกิดตามลำต้น และกิ่งก้านยาว 1-2 ซม. ลักษณะดอกสมบูรณ์เพศ มีกลีบเลี้ยงและกลีบดอก 5 กลีบ (บางครั้งอาจมี 4 หรือ 6 กลีบ) มีสีขาวหอม ลักษณะดอกคล้ายระฆัง มีช่วงเวลาออกดอก 1-2 ครั้งต่อปี ช่วงเวลาออกดอกขึ้นกับชนิด สายพันธุ์ และสถานที่ปลูกเลี้ยง โดยทั่วไปทุเรียนจะให้ผลเมื่อมีอายุ 4-5 ปี โดยจะออกตามกิ่งและสุกหลังจากผสมเกสรไปแล้ว 3 เดือน ผลเป็นผลสดชนิดผลเดี่ยว อาจยาวมากกว่า 30 ซม. เส้นผ่าศูนย์กลางอาจยาวกว่า 15 ซม. มีน้ำหนัก 1-3 กก. เป็นรูปรีถึงกลม เปลือกทุเรียนมีหนามแหลมเมื่อแก่ผลมีสีเขียว เมื่อสุกมีสีน้ำตาลอ่อน แตกตามแต่ละส่วนของผลเรียกเป็นพู เนื้อในมีตั้งแต่สีเหลืองอ่อนถึงแดง ขึ้นกับชนิด เนื้อในจะนุ่ม กิ่งอ่อนกึ่งแข็ง มีรสหวาน เมล็ดมีเยื่อหุ้ม กลมรี เปลือกหุ้มสีน้ำตาล ผิวเรียบ เนื้อในเมล็ดสีขาว รสชาติฝาด (วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, ออนไลน์ : 2555)

##### 2.1.1 พันธุ์ทุเรียนที่นิยมปลูกในประเทศไทย

(1) พันธุ์หมอนทอง ผลมีขนาดใหญ่ น้ำหนักประมาณ 3-4 กิโลกรัม ทรงผลค่อนข้างยาวมีบ่าผล ปลายผลแหลม พูมักไม่ค่อยเต็มทุกพู หนามแหลมสูง ฐานหนามเป็นเหลี่ยม ระหว่างหนามใหญ่จะมีหนามเล็กวางแซมอยู่ทั่วไป ซึ่งเรียกหนามชนิดนี้ว่า เขี้ยวงู ก้านผลใหญ่แข็งแรง ช่วงกลางก้านผลจนถึงปากปลิงจะ

อ้วนใหญ่เป็นทรงกระบอก เนื้อหนาสีเหลืองอ่อนละเอียด เนื้อค่อนข้างแห้งไม่ฉะติดมือ รสชาติหวานมัน เมล็ดน้อยและลีบเป็นส่วนใหญ่

(2) พันธุ์ชะนี ผลมีขนาดปานกลางถึงใหญ่ น้ำหนักประมาณ 2.5-3 กิโลกรัม ผลมีรูปทรงหวด กล่าวคือ กลางผลป่อง หัวเรียว ก้นตัด ร่องพูค่อนข้างลึกเห็นได้ชัด ขั้วผลใหญ่และสั้น เนื้อละเอียด สีเหลืองจัดเกือบเป็นสีจำปา ปริมาณมาก รสชาติหวานมัน เมล็ดค่อนข้างเล็กและมีจำนวนเมล็ดน้อย

(3) พันธุ์ก้านยาว ผลมีขนาดปานกลาง น้ำหนักประมาณ 3 กิโลกรัม ทรงผลกลมเห็นพูไม่ชัดเจน พูเต็มทุกพู หนามเล็กถี่สั้นสม่ำเสมอทั้งผล ก้านผลใหญ่และยาวกว่าพันธุ์อื่นๆ เนื้อละเอียดสีเหลืองหนาปานกลาง รสชาติหวานมัน เมล็ดมากค่อนข้างใหญ่

(4) พันธุ์พวงมณี ผลรูปรี ปลายผลแหลม ฐานผลป้าน ก้านผลยาว 5-11 เซนติเมตร หนามผลนูนปลายแหลม หนามตรง ผลยาว 18.38 เซนติเมตร กว้าง 14.88 เซนติเมตร เส้นรอบวงผล 48.16 เซนติเมตร น้ำหนักผล 1.36 กิโลกรัม มีกลิ่นอ่อนๆ รสชาติหวานมันพอดี เนื้อละเอียดไม่มี เส้นใย

(5) พันธุ์กระดุม ผลจะมีขนาดค่อนข้างเล็ก น้ำหนักประมาณ 1 กิโลกรัม ผลมีลักษณะค่อนข้างกลมด้านหัวและด้านท้ายผลค่อนข้างป้าน ก้นผลบวมเล็กน้อย หนามเล็กสั้นและถี่ ขั้วค่อนข้างเล็กและสั้น ลักษณะของพูเต็มสมบูรณ์ ร่องพูค่อนข้างลึก เนื้อละเอียดอ่อนนุ่มสีเหลืองอ่อน เนื้อค่อนข้างบาง รสชาติหวานไม่ค่อยมัน และง่ายเมื่อสุกจัด เมล็ดมีขนาดใหญ่

นอกจากนี้เปลือกทุเรียนยังประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นเยื่อเส้นใยเซลลูโลสซึ่งสามารถนำมาเป็นวัสดุเสริมแรงในไฟเบอร์กลาสได้ โดยเส้นใยทุเรียนได้ถูกนำมาใช้ในงานวิจัยต่างๆมากมายอาทิเช่น การศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมระหว่างเส้นใยจากเปลือกทุเรียนกับน้ำยางพารา โดยเมื่อเพิ่มเส้นใยจากเปลือกทุเรียนเข้าไปทำให้มีความต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้นถึง 2 เท่า โดยเส้นใยทุเรียนจะมีลักษณะเป็นเส้นใยที่มีการเชื่อมด้วยเจลและเพคติน ทำให้ต้านทานการซึมของน้ำและไขมันคล้ายเส้นใยที่ได้จากไม้เนื้อแข็ง (พอพันธ์ สุทธิวิวัฒนะ, 2553 : 6) หรือ การใช้ดินขาวผสมกากมะพร้าว เส้นใยจากต้นข้าวโพด และเส้นใยจากเปลือกทุเรียนเพิ่มประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนและลดน้ำหนักในผนังคอนกรีตบล็อก พบว่าการใส่เส้นใยในคอนกรีตบล็อกกากดินขาวทำให้ความหนาแน่นสัมประสิทธิ์การนำความร้อนและความต้านทานแรงอัดมีค่าน้อยลง (ปราโมทย์ วีรานุกูล, 2554 : 1)

## 2.2 ยางพารา

ชาวพื้นเมืองในแถบอเมริกากลางและอเมริกาใต้เรียกต้นไม้ที่ให้ยางว่า "เกาซู" (Cao tchu) แปลว่า ต้นไม้ร้องไห้ จนถึงปี พ.ศ. 2313 โจเซฟพริสตี พบว่ายางสามารถบร่ายคำของดินสอได้โดยที่กระดาษไม่เสีย จึงเรียกยางว่า ยางลบหรือตัวลบ (Rubber) ซึ่งเป็นคำเรียกยางเฉพาะในอังกฤษและฮอลแลนด์ ต่อมาได้มีการปลูกและมีการซื้อขายยางอย่างแพร่หลาย และศูนย์กลางของการซื้อขายยางอยู่ที่เมือง ชื่อพารา (Para) บริเวณบนฝั่งแม่น้ำอะเมซอน ประเทศบราซิล จึงมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า "ยางพารา"

ประมาณ พ.ศ. 2425 ได้มีการขยายเมล็ดกล้ายางพารา จากพันธุ์ยาง 22 ต้น นำมาปลูกในทวีปเอเชีย โดยพระยารัษฎานุประดิษฐ์มหิศรภักดี ได้นำต้นยางพารามาปลูกที่อำเภอถ้ำก้นตั้ง จังหวัดตรังเป็นครั้งแรก หลังจากนั้นก็ได้มีการขยายพื้นที่ปลูกยาง ในภาคใต้ก่อน ตั้งแต่ชุมพรไปถึงจังหวัดที่ติดชายแดนประเทศมาเลเซีย ในปัจจุบันประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกยางพาราทั้งหมดประมาณ 12.62 ล้านไร่ โดยภาคใต้คิดเป็นร้อยละ 90 ส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 10 กระจายอยู่ในภาคตะวันออก ตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคเหนือ ปัจจุบันมียางพาราประมาณ 2.6 ล้านต้น ส่งออกประมาณ ร้อยละ 89 ที่เหลือร้อยละ 11 ใช้ในอุตสาหกรรมภายในประเทศ ผลผลิตยางพาราที่เกษตรกรผลิตได้จะถูกนำไปแปรรูป สำหรับอุตสาหกรรมได้แก่ ยางแผ่นรมควัน ยางแท่ง เป็นต้น วัตถุดิบจากอุตสาหกรรมยางสามารถนำไปใช้เป็นผลิตภัณฑ์ยางชนิดต่างๆ เช่น ยางถุงมือ ยาง ยางอนามัย ผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ เป็นต้น

### 2.2.1 ชนิดและคุณสมบัติของยาง

ยางเป็นวัสดุพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งและเป็นวัตถุดิบสำคัญในการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ยางต่างๆ ยางที่ได้จากต้นพืชเรียกว่ายางธรรมชาติ (Natural Rubber) และยางที่ได้จากการสังเคราะห์ทางเคมีเรียกว่า ยางเทียมหรือยางสังเคราะห์ (Synthetic Rubber) ยางมีสมบัติที่เป็นเอกลักษณ์คือความยืดหยุ่น (Elasticity) เมื่อให้แรงดึงหรือกดยางจะยืดหรือยุบได้ และสามารถกลับสู่สภาพเดิมได้เมื่อปล่อยให้ยางเป็นอิสระ (พงษ์ธร แซ่ฮุย, 2554 : ม.ป.ป.)

ชนิดของยาง และคุณสมบัติของยาง แบ่งออกเป็น 2 ชนิดหลัก ๆ ได้แก่ ยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์

(1) ยางธรรมชาติ (NR) คือ ยางที่มาจากต้นยางพาราโดยตรง ไม่ผ่านกรรมวิธีการใดๆ การนำยางธรรมชาติไปใช้งานมีอยู่ 2 รูปแบบคือ รูปแบบน้ำยาง และรูปแบบยางแท่ง ในรูปแบบน้ำยางนั้นน้ำยางสดจะถูกนำมาแยกน้ำออกเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของเนื้อยางขึ้นตอนหนึ่งก่อนด้วยวิธีการต่าง ๆ แต่ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมคือการใช้เครื่องเซนตริฟิวส์ ในขณะที่การเตรียมยางแท่งนั้นมักจะใช้วิธีการใส่กรดอะซิติกลงในน้ำยางสด การใส่กรดอะซิติกเจือจางลงใน น้ำยาง ทำให้น้ำยางจับตัวเป็นก้อน เกิดการแยกชั้นระหว่างเนื้อยางและน้ำ ส่วนน้ำที่ปนอยู่ในยางจะถูกกำจัดออกไปโดยการรีดด้วยลูกกลิ้ง 2 ลูกกลิ้ง วิธีการหลักๆ ที่จะทำให้น้ำยางแท่งสนิทมี 2 วิธีคือ การรมควันยาง และการทำยางเครพ แต่เนื่องจากยางผลิตได้มาจากเกษตรกรจากแหล่งที่แตกต่างกัน ทำให้ต้องมีการแบ่งชั้นของยางตามความบริสุทธิ์ของยางนั้นๆ ผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติ ได้แก่ ยางรถยนต์, รองเท้า, ท่อยาง, ปูพื้น, ลูกกลิ้ง, ยางแท่นเครื่อง

(2) ยางสังเคราะห์ คือ ยางวิทยาศาสตร์เป็นยางที่มนุษย์ผสมขึ้นมาเองได้แก่ ยาง NBR, SR, EPDM, SILICONE, VITON, HYPALON, CR, NEOPRENE, THERMOPLASTIC POIYURTEHANES และ URETHANE แต่ละชนิดมีคุณสมบัติดังนี้ ยางสังเคราะห์ (Synthesis Rubber SR) เป็นยางสังเคราะห์ที่ใช้งานกันมากในสหรัฐอเมริกา ยางมีส่วนผสมของบิวทาไดน์ ร้อยละ 78 กับสไตรีน ร้อยละ 22 มันอาจจะถูกผสมกัน ที่อุณหภูมิ 40 องศาฟาเรนไฮต์ เมื่อนำมาผสมกันที่ 40 องศาฟาเรนไฮต์ยางจะมีคุณสมบัติพิเศษกว่า ยางธรรมชาติจึงนำไป ใช้ทำยางรถยนต์ ยางสังเคราะห์มีความต้านทานต่อการขูดถลอก สภาวะของลมฟ้าอากาศที่

แปรเปลี่ยนไป ด้านทานไฟฟ้าได้ดี เมื่อทิ้งไว้ให้ตากแดด ตากลม โอโซน แก๊สโซลีน และน้ำมัน ยางจะชำระ  
เสียหายได้ ยางนี้ยังใช้ทำท่ออย่าง พื้นฉนวน สายพานลำเลียง วัสดุหีบห่อ พื้นรองเท้า

(3) น้ำยางข้น (Concentrated latex) : หมายถึงน้ำยางธรรมชาติที่ผ่านกระบวนการเพิ่มความ  
เข้มข้น แล้วจะมีปริมาณเนื้อยางประมาณร้อยละ 55-65 ซึ่งสูงกว่าน้ำยางสดที่มีปริมาณเนื้อยางประมาณร้อย  
ละ 25-30 ทำให้สามารถทำการขนส่งได้ง่ายขึ้นเป็นอย่างมาก นอกจากนี้ น้ำยางขั้ยังเป็นวัตถุดิบสำคัญในการ  
นำมาทำเป็นแบบแม่พิมพ์ ถ้วยยาง ลูกโป่ง เครื่องมือทางการแพทย์ อื่นๆ

ขั้นตอนการผลิตน้ำยางข้น โดยออกมาในรูปของน้ำยางบริสุทธิ์ซึ่งเป็นวัตถุดิบประเภทยางพารา  
ที่สะอาดที่สุด หลังจากนั้นจะถูกนำไปจัดเก็บโดยเติมสารเคมีและผ่านเครื่องแยกอีกครั้งเพื่อให้ได้น้ำยางขั้ที่มี  
ค่า DRC 60% (ค่าเปอร์เซ็นต์เนื้อยางในน้ำยาง) โดยสารเคมีที่เติมลงไปคือ สารแอมโมเนีย มีคุณสมบัติในการ  
รักษาสภาพน้ำยาง แต่สัดส่วนการผสมขึ้นอยู่กับความต้องการคุณภาพน้ำยางขั้ 60% - ชนิดไฮแอมโมเนีย (HA)  
น้ำยางขั้ 60% - ชนิดโลแอมโมเนีย (LA) น้ำยางขั้ 60% - ชนิดมีเดียมแอมโมเนีย (MA)

## 2.3 เส้นใยธรรมชาติ

ใยธรรมชาติ แบ่งได้หลายชนิดตามแหล่งที่มา เช่น พืช สัตว์ และแร่ต่างๆ เส้นใยจากพืช ทุกชนิด  
ประกอบด้วยเซลลูโลส และมาจากหลายแหล่ง เช่น ก้าน ใบ ผล เมล็ด เนื้อ และเปลือก เป็นต้น ในขณะที่  
เส้นใยจากสัตว์ประกอบด้วยโปรตีน เช่น เส้นผม ไหม และขนสัตว์ เป็นต้น การนำเส้นใย ธรรมชาติเหล่านี้มา  
ประยุกต์ใช้เป็นสารเสริมแรงในคอมโพสิตมีมานานหลายสิบปี และมีแนวโน้ม เพิ่มขึ้นเนื่องจากคอมโพสิตที่ได้มี  
ราคาถูกลง นำมาใช้ใหม่ได้ และมีความแข็งแรงสูงและน้ำหนักเบา เส้นใยจากพืชเป็นเส้นใยที่ได้รับความนิยม  
มากที่สุด เส้นใยจากพืชประกอบด้วยสายเซลลูโลส (Cellulose fibrils) หลายๆ สายรวมกันโดยมีลิกนินเป็น  
สารช่วยประสาน องค์ประกอบหลักของเส้น ใยพืช ได้แก่

- 1) แอลฟา-เซลลูโลส ( $\alpha$ -Cellulose)
- 2) เฮมิเซลลูโลส (Hemicelluloses)
- 3) ลิกนิน (Lignin)
- 4) เพคติน (Pectin)
- 5) แวกซ์ (Wax) (John & Thomas, 2008)

สายเซลลูโลสเหล่านั้นจะเรียงตัวตาม แนวยาวของเส้นใยซึ่งเป็นผลให้เส้นใยมีความทนต่อแรงดึง  
ความทนต่อแรงดัด และความแข็ง (Rigidity) สูง อย่างไรก็ตาม ความสามารถในการเสริมแรงของเส้นใย  
ธรรมชาติก็ขึ้นอยู่กับธรรมชาติของ เซลลูโลสและความเป็นผลึกของเส้นใยสมบัติเชิงกลของเส้นใย-ธรรมชาตินั้น  
ด้อยกว่าเส้นใยคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยใยแก้วมาก แต่เนื่องจากเส้นใยธรรมชาติมีความ หนาแน่นต่ำจึงมี  
สมบัติที่น่าสนใจ เช่น ความแข็งแรงสูงเมื่อเทียบกับความหนาแน่น จึงเป็นจุดเด่นที่ แข่งขันกับเส้นใยแก้วได้  
นอกจากนี้เส้นใยจากพืชยังเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและสามารถปลูกทดแทนได้

## 2.4 ไฟเบอร์กลาส

ผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส หรือผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ใส่วัสดุอื่นเพื่อเสริมความแข็งแรง (มีวัสดุมากกว่า  
2 ชนิดมาประสานกัน) วัสดุที่นำมาเสริมแรงให้พลาสติกคือ “ใยแก้ว” ซึ่งมีลักษณะอ่อนนุ่มแต่เหนียวทนความ  
ร้อนได้สูงส่วนพลาสติกที่นำมาใช้เป็นเนื้อมีความแข็งแรงมากซึ่งถ้าหากไม่มีการเสริมแรงแล้วตัวชิ้นงานจะเปราะ  
ดังนั้นเราจึงเลือกเอาพลาสติกประเภทโพลีเอสเตอร์เรซินไวนิลเอสเตอร์เรซินและอีพอกซีเรซินพลาสติกจำพวก  
นี้เป็นพลาสติกเหลวซึ่งภายหลังจากการผสมกับตัวช่วยเร่งปฏิกิริยาหรือตัวทำให้แข็งแล้วจะเกิดปฏิกิริยาทาง

เคมีเกิดความร้อนขึ้นสูงกว่า 100 °C แล้วจะเปลี่ยนเป็นพลาสติกแข็งและจะไม่คืนรูปอีกซึ่งเรียกว่ากระบวนการนี้ว่าเทอร์โมเซตติ้ง (Thermoseting)

#### 2.4.1 คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส

ใยแก้วหรือไฟเบอร์กลาสเป็นวัสดุสังเคราะห์ชนิดหนึ่งเป็นวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการขึ้นรูปงานไฟเบอร์กลาส

ประเภทของใยแก้วแบ่งเป็น

- (1) ชนิด A glass (Alkali) ใช้สำหรับงานที่ต้องการทนสารเคมีที่เป็นด่าง
- (2) ชนิด C glass (Chemical) ใช้สำหรับงานที่ต้องการทนสารเคมีที่เป็นกรดและกัดกร่อน
- (3) ชนิด E glass (Electrical) ใช้สำหรับงานที่ต้องการรับแรงและเป็นฉนวน
- (4) ชนิด S glass (High Strength) ใช้สำหรับงานที่ต้องการรับแรงสูงที่สูงกว่าชนิด E glass

#### 2.4.2 ชนิดของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส

ใยแก้วแบ่งเป็นชนิดต่างๆดังนี้

(1) ใยแก้วชนิดผืนเส้นสั้น (Chopped Strands Mat) เป็นใยแก้วที่นิยมโดยทั่วไปมีขนาดแตกต่างกัน เช่น เบอร์ 300, 450 และ 600 กรัม/ ตร.ม โดยใยแก้วที่เบาใช้กับงานขึ้นเล็กงานขึ้นใหญ่ใช้ใยแก้วหนา

(2) ใยแก้วตาสาน (Woven Roving) เป็นใยแก้วเส้นยาวนำมาทอเป็นผืนรูปตาสาน (90 องศา) ใช้สำหรับงานไฟเบอร์กลาสที่ต้องการการเสริมกำลังรับแรงให้สูงขึ้น ขนาดที่นิยมได้แก่ เบอร์ 400, 600 และ 800 กรัม/ ตร.ม

(3) ใยแก้วทอผ้า (Glass Fabrics, Glass Cloth) เป็นใยแก้วเส้นเหมือนด้าย นำมาทอเป็นผืนเหมือนผ้า ใช้สำหรับงานไฟเบอร์กลาสที่ต้องการทำชิ้นงานน้ำหนักเบาและได้ชิ้นงานที่บางเบา แต่รับแรงกระแทกสูงๆเช่น กระจาดนไต้คลื่น เครื่องบินวิทยุบังคับ ขนาดที่นิยมใช้ได้แก่ เบอร์ 100, 160 และ 200 กรัม/ ตร.ม.

(4) ใยสานแบบเย็บติด (Stitch mat) เป็นใยแก้วแบบผืนเย็บด้วยเส้นใยโพลีเอสเตอร์ตลอดทั้งผืน เวลานำไปใช้งานแล้วเส้นใยแก้วจะไม่เคลื่อนตัว ใช้สำหรับงานที่มีการรับแรงสูงแทนที่ ใยแก้วตาสานหรือใยแก้วผืนธรรมดาได้ แต่ในเมืองไทยไม่ค่อยเป็นที่นิยมใช้กันขนาด 300, 450, 600 และ 900 กรัม/ตร.ม

(5) ใยแก้วผิว (Surfacing mat) เป็นใยแก้วแบบผืนบางเหมือนกระดาษทิชชู มีขนาดน้ำหนัก 20, 30 และ 50 กรัม/ตารางเมตรช่วยยึดเกาะผิวชั้นเจลโค้ทให้แข็งแรงขึ้นและช่วยลดปริมาณฟองอากาศของชั้นเจลโค้ทกับใยแก้วได้

(6) เทปไฟเบอร์ (Glass tape) เป็นเส้นใยแก้วนำมาทอเป็นผืนกว้าง 2 นิ้ว, 3 นิ้ว และ 4 นิ้วไว้ใช้สำหรับเชื่อมรอยต่อระหว่างแผ่นใยแก้วและเสริมกำลังบริเวณขอบของชิ้นงาน

(7) ใยแก้วเส้นด้าย (Roving) เป็นเส้นใยแก้วยาวตลอดทั้งม้วนเรียกตามน้ำหนัก/ความยาว 1 กม. เช่น TEX1200 = ความยาว 1 กม. น้ำหนัก 1 กก. ที่นิยมใช้มีขนาด 1,200, 2,200, 2,400 และ 4,800 เป็นต้น

(8) ใยแก้วเส้นสั้น (Chopped strand) เป็นเส้นใยแก้วเส้นสั้นขนาดความยาวเส้น 3, 6, 9 และ 12 มิลลิเมตรใช้เพิ่มความแข็งแรงของชิ้นงาน

(9) ใยแก้วผง (Glass powder) เป็นผงใยแก้วสีขาวใช้เพิ่มความแข็งแรงป้องกันการขีดข่วนและแรงกระแทกบนผิวงาน

(10) โยแก้วแบบทิศทางเดียว (Unidirection mat) เป็นโยแก้วเส้นยาวเรียงเป็นแถวในแนวเดียวกันตลอดทั้งผืน เย็บติดกันด้วยเส้นด้าย Polyester เรียงตัวแบบแนวยาวหรือแนวตรง ใช้สำหรับงานที่ต้องการรับแรงดึงสูงๆในแนวยาว

### 2.4.3 หลักการและกระบวนการผลิตไฟเบอร์กลาส

วิธีการผลิตไฟเบอร์กลาสมีหลายวิธีได้แก่

#### 2.4.3.1 วิธีการทำแม่แบบ (Hand-Lay-Up)

1) เตรียมแม่แบบที่จะทำชิ้นงาน ซึ่งอาจเป็นแม่แบบไม้ ปูนพลาสติก โลหะ หรือพลาสติกก็ได้ผิวของแม่แบบจะต้องขัดเรียบและช่วยถอดแบบได้ง่าย

2) ทาหรือพ่นน้ำยาถอดแบบ (Release Agent) ซึ่งส่วนมากจะใช้พริกขี้ผึ้งถอดแบบ (Mold Release Wax) หรือ พี.วี.เอ. (P.V.A)

3) ทาหรือพ่นเจลโค้ต (Gel coat) โดยใช้แปรงหรือเครื่องพ่นเป็นชั้นรองพื้นหรือชั้นผิวหน้าหนาพอสมควร ทิ้งไว้ให้แข็งตัว

4) นำวัสดุเสริมกำลังในรูปแผ่นเช่น โยแก้ววางทับลงไป

5) ใช้ลูกกลิ้งหรือแปรง กลิ้งหรือทาพลาสติกเหลวโพลีเอสเตอร์เรซินให้ซึมเข้าแผ่นโยแก้วให้ทั่ว และไล่ฟองอากาศออกให้หมดวางแผ่นโยแก้วชั้นต่อไปทับลงไปอีกเพื่อเพิ่มความหนาแล้วทาพลาสติกเหลวทับลงไป

6) ปลอ่ยให้พลาสติกเหลวแข็งตัวโดยอุณหภูมิปกติ หรือจะนำไปอบให้แข็งตัวเร็วขึ้นในห้องอบก็ได้ ขณะที่พลาสติกกำลังหมาดอยู่ ควรรีบตบแต่งขอบนอกโดยใช้มีดคมๆ ฉีดยาออกจะสะดวกมาก หากปลอ่ยให้พลาสติกแห้งแข็งตัวจะทำงานลำบาก

7) ถอดชิ้นงานออกจากแม่แบบโดยใช้ลิ้มไม้ดอกหรือใช้ลมหรือใช้น้ำอัดออกแล้วนำชิ้นส่วนอื่นๆ เข้าประกบหรือตกแต่งผิวชิ้นงานให้สวยงามมากขึ้นอีกก็ได้ ชิ้นงานจะมีผิวเรียบด้านเดียวคือด้านที่ติดกับแม่แบบ

#### 2.4.3.2 แบบใช้เครื่องพ่น

กรรมวิธีเหมือนกันกับใช้มือทา ผิดกันตรงที่วัสดุเสริมกำลังจะไม่ใช้แผ่น แต่ใช้ในรูปเส้นโยเส้นยาว (Roving) แล้วตัดให้เป็นท่อนสั้นๆ พ่นออกมาพร้อมกับพลาสติกเหลวลงไปในผิวหน้าของแบบ และใช้ลูกกลิ้งบดทับช่วยอีก แรงอัดจากเครื่องพ่นจะทำให้เส้นโยกับพลาสติกเหลวเกาะผิวหน้าอย่างสนิท กรรมวิธีแบบนี้ใช้กับการผลิตที่มีจำนวนมากชิ้นงานมีผิวเรียบด้านเดียวที่ติดกับแม่แบบ

#### 2.4.3.3 แบบใช้แม่แบบอัด

เป็นกรรมวิธีที่ใช้แรงอัดกับความร้อน ใช้กับการผลิตชิ้นงานที่ต้องการความแข็งแรงเป็นพิเศษ ชิ้นงานมีผิวเรียบ 2 ด้าน เช่น ช่วงล่างของตัวถังรถยนต์ แก้วใช้งานสาธารณะ สนามกีฬา และใช้ผลิตชิ้นงานปริมาณที่มาก

1) ทาหรือพ่นแม่แบบซึ่งปกติเป็นโลหะเป็นแม่แบบคู่ คือมีทั้งตัวผู้ตัวเมียด้วยน้ำยาถอดแบบ

2) นำวัสดุเสริมกำลังในรูปแผ่นหรือเส้นโยสั้นวางหรือพ่นในแม่แบบตัวล่าง

3) เทพลาสติกเหลวให้ทั่วบนวัสดุเสริมกำลัง

4) กดแม่แบบตัวบนลงมาพร้อมทั้งให้ความร้อนในแม่แบบ ทิ้งไว้ตามเวลาที่กำหนด

5) ถอดชิ้นงานออกได้ (พิชิต เลี่ยมพิพัฒน์, 2542 : ม.ป.ป.)

### 2.4.4 โพลีเอสเตอร์เรซิน (Polyester Resin)

โพลีเอสเตอร์เรซินหรือเรซินคือพลาสติกหล่อชนิดหนึ่งเกิดจากการรวมตัวเป็น โพลีเมอร์ แบบ Condensation Polymerization ของสารประกอบจำพวกไกลคอล (Glycol) และไดเบซิกอะซิด (Dibasic Acid) โดยทั่วไปแบ่งเป็นสองชนิดได้แก่ชนิดอิ่มตัว (Saturated Polyester Resin) และชนิดไม่อิ่มตัว (Unsaturated Polyester Resin) ซึ่งชนิดไม่อิ่มตัวเป็นเรซินที่จำหน่ายในปัจจุบันโพลีเอสเตอร์เรซิน อยู่ในสภาพของเหลวหลังเกิดปฏิกิริยาความร้อนจะทำให้แข็งตัวเป็นพลาสติกแข็งที่ไม่สามารถแปรสภาพเป็น พลาสติกเหลวคืนรูปได้อีกเรียกพลาสติกชนิดนี้ว่า Thermosetting Plastic

#### 2.4.4.1 ประเภทของโพลีเอสเตอร์เรซิน

เรซินเป็นพลาสติกเหลวชนิดหนึ่งมีลักษณะข้นคล้ายน้ำมันเครื่องกลื่นฉุนแข็งตัวด้วยความร้อนสูงเป็นวัตถุไวไฟชนิดหนึ่งมีอัตราการหดตัว 2 - 8 % หลังเซทตัวเต็มที่เรซินสามารถหล่อขึ้นรูปได้มากมายหลากหลายรูปแบบเรซินสำหรับหล่องานทั่วไปเช่นหล่อพระหล่อของที่ระลึกหล่อตุ๊กตา ฯลฯ เรซินสำหรับหล่องานไฟเบอร์กลาสและเรซินสำหรับงานเคลือบเช่นงานเคลือบกรอบรูปวิทยาศาสตร์ในขณะที่ทำการหล่อเรซินจะปล่อยกลิ่นเคมีออกมาซึ่งมีกลิ่นเหม็นฉุนสถานที่ทำงานควรเป็นที่โปร่งอากาศถ่ายเทสะดวกไม่ควรทำงานในสถานที่ที่เป็นห้องที่บึบที่ไม่มีกระแสลมของอากาศหรือการระบายอากาศที่ดีพอเรซินแบ่งได้เป็น 3 ประเภทได้แก่

ประเภท ก แบ่งตามคุณสมบัติของเนื้อเรซิน

- 1) เกรด Ortho - Phthalic Type คือชนิดเกรดใช้งานได้ทั่วไป
- 2) เกรด Isophthalic Type คือชนิดที่ทนกรด - ต่างได้ดี
- 3) เกรด Bisphenol Type คือชนิดที่ทนกรด - ต่างสูง
- 4) เกรด Chlorendics Type คือชนิดทนกรด - ต่างสูง
- 5) เกรด Vinyl Ester คือชนิดที่ทนกรด - ต่างสูงมากแข็งแรงมีคุณสมบัติที่เป็นรอง

แต่ Epoxy Resin

ประเภท ข แบ่งตามเนื้อเรซิน

1) Promote คือเรซินชนิดที่ผสมสารช่วยเร่งปฏิกิริยามาแล้วลักษณะของเนื้อเรซินจะเป็นของเหลวข้นคล้ายน้ำมันเครื่องมีสีชมพูบานเย็นเพราะเป็นเรซินที่ได้ผสมสารช่วยเร่งปฏิกิริยาแล้วเมื่อนำมาใช้งานก็แค่เติมสารเร่งฯลงไปบางบริษัทผู้ผลิตอาจมีการใช้สารช่วยเร่ง ที่แตกต่างกันดังนั้นเรซินชนิดผสมสารช่วยเร่งบางตัวจะมีสีคล้ายน้ำเฉาก๊วยและสำหรับชนิดที่ใช้กับงานหล่อใสแล้วเรซินจะมีสีใสอมน้ำเงินอ่อนๆจุดเด่นคือใช้งานง่ายและคล่องไม่ยุ่งยากแต่ข้อเสียคือมีอายุการเก็บสั้นอายุการเก็บไม่เกิน 2 เดือนในการใช้งานจริงควรใช้ให้หมดภายใน 1 เดือน

2) Non Promote คือเรซินชนิดที่ยังไม่ผสมสารช่วยเร่งปฏิกิริยาลักษณะของเนื้อเรซินจะเป็นของเหลวข้นคล้ายน้ำมันมีสีใสอมเหลืองและมีจุดเด่นคือมีอายุการเก็บ 3 เดือน สำหรับประเทศไทยมีอากาศร้อนชื้นควรใช้ให้หมดภายใน 1 เดือนเพราะเมื่อเข้าสู่เดือนที่ 2 และ 3 เรซินจะเริ่มมีความเหนียวขึ้นขึ้นเรื่อยๆและสามารถประยุกต์สูตรได้อีกมากมายเพื่อให้เหมาะสมกับรูปแบบงานต่างๆ

ประเภท ค แบ่งตามลักษณะการใช้งาน

- 1) High Reactive Type ชนิดปฏิกิริยาสูง (การแข็งตัวเร็ว)
- 2) Middle Reactive Type ชนิดปฏิกิริยาปานกลาง (แข็งตัวใช้เวลาปานกลาง)
- 3) Low Reactive Type ชนิดปฏิกิริยาดำ (การแข็งตัวช้า)
- 4) General Purpose ( G ) Type ชนิดธรรมดาทั่วไป
- 5) Flexible Type ชนิดยืดหยุ่นตัวได้

- 6) Heat Resistant Type ชนิดทนความร้อน
- 7) Corrosion Resistant Type ชนิดทนทานต่อสารเคมี
- 8) Flame Retardant Type ชนิดไฟไม่ลุกลาม
- 9) Low Shrinkage Type ชนิดหดตัวต่ำ
- 10) Good Weather Ability Type ชนิดทนทานสภาพดินฟ้าอากาศ

#### 2.4.4.2 คุณสมบัติของโพลีเอสเตอร์เรซิน

1) คุณสมบัติทั้งทางกายภาพมีคุณสมบัติให้เนื้อแข็งใสเงาทนอุณหภูมิสูงดีกว่าพลาสติกชนิดเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) แต่น้อยกว่าโลหะเมื่อเสริมแรงด้วยใยแก้วจะได้รับความแข็งแรงที่เพิ่มมากขึ้นมีความเบาแข็งแรงเหนียวไม่เปราะ

2) คุณสมบัติทางไฟฟ้าเรซินมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่ครบถ้วนสามารถนำไปใช้เป็นฉนวนไฟฟ้า (Insulator) ได้

3) คุณสมบัติทางเคมีมีความสามารถในการทนการกัดกร่อนของสารเคมีได้ดีและไม่เป็นสนิม

ลักษณะการใช้งานของโพลีเอสเตอร์เรซิน

เรซินนำไปใช้งานได้มากมายหลายกลุ่มงานโดยแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มได้แก่

1) กลุ่มงานหล่อ (Casting) เช่นหล่อพระหล่อของชำร่วย หล่อตุ๊กตาหล่อกระดุม หล่อแก้วเทียม ฯลฯ

2) กลุ่มงานเคลือบ (Laminate) เช่นงานเคลือบกรอบรูปวิทยาศาสตร์

3) กลุ่มงานขึ้นรูปแบบ (Molding) เช่นการผลิตงานไฟเบอร์กลาสหรือ FRP (Fiberglass Reinforce Plastic) พลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว

การแข็งตัวของเรซิน

โพลีเอสเตอร์เรซินสามารถแข็งตัวได้หลายวิธีดังนี้

1) โดยใช้ตัว Catalyst หรือตัวทำให้แข็ง + ความร้อน  
 2) โดยใช้ตัว Catalyst หรือตัวทำให้แข็ง + ตัวช่วยเร่งปฏิกิริยา Promote / Accelerator ที่อุณหภูมิห้อง

3) โดยใช้แสงอุลตราไวโอเล็ต

4) โดยใช้ไอเล็กตรอน

5) โดยให้แสงแดด

6) โดยใช้ความร้อน

โดยทั่วไปการแข็งตัวของเรซินแบ่งออกเป็น 2 ช่วงคือช่วงที่ 1) Gel Time คือช่วงหลังจากเติมตัว Catalyst แล้วจนเรซินจับตัวเป็นวุ้นช่วงที่ 2) Cure Time คือช่วงที่เรซินแข็งตัวเต็มที่และเป็นช่วงที่เรซินเย็นตัวลงหลังจากที่มีความร้อนสูงในขณะที่ทำปฏิกิริยา

องค์ประกอบที่มีผลต่อการแข็งตัวของเรซิน

1) อุณหภูมิอุณหภูมิสูงเรซินแข็งตัวเร็วกว่าอุณหภูมิต่ำ  
 2) ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาและตัวช่วยเร่งปฏิกิริยาปริมาณที่มากแข็งตัวเร็วกว่าปริมาณที่น้อย

3) ความชื้นหรือน้ำความชื้นสูงการแข็งตัวของเรซินจะช้าลงผิวงานขึ้นฝ้าขาวโดยปกติปริมาณน้ำที่อยู่ในเรซินจะต้องมีค่าไม่เกินร้อยละ 0.05

4) ปริมาณออกซิเจนออกซิเจนเป็นตัวป้องกันการแข็งตัวของเรซินถ้าปริมาณออกซิเจนสูงเช่นการกวนเรซินมากๆ เป็นเวลานานการแข็งตัวของเรซินจะช้าลงและออกซิเจนมีประโยชน์มากในเรื่องการยืดอายุการเก็บของเรซินหากเริ่มเก็บเรซินไว้นานขึ้นควรสร้างออกซิเจนให้เกิดในถังหรือปิดด้วยการกลิ้งถังไปมาเพื่อให้เรซินข้างในเกิดการเคลื่อนไหวจะเกิดออกซิเจนและจะทำให้เรซินมีอายุการเก็บเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อย (All Art Center ออลอาร์ทเซ็นเตอร์, ม.ป.ป.)

#### 2.4.5 สารลดแรงตึงผิว

สารลดแรงตึงผิวหรือ Surfactant เดิมมาจากภาษาเยอรมันว่า Tensid ซึ่งตั้งโดย นักเคมีชาวเยอรมันในปี 1960 และ Surfactant มาจากคำสามคำว่า Surface Active Agent หรือสารที่มีการแยกที่ฟหรือทำงานบนผิวหรือผิวที่แตกต่างเพสกันสารลดแรงตึงผิวเป็นสารที่มีผลต่อพื้นผิวหรือระหว่างพื้นผิว (Surface or interface) โดยที่จะไปขจัดความแตกต่างระหว่างผิวหรือไปช่วยลดแรงตึงผิวตัวอย่างเช่นโดยปกติ น้ำและน้ำมันจะไม่รวมตัวกันโดยน้ำมันจะลอยอยู่บนน้ำเสมอเมื่อใส่สารลดแรงตึงผิวลงไปอินเทอร์เฟสระหว่างน้ำและน้ำมันจะถูกขจัดไปทำให้สามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้

คุณสมบัติของสารลดแรงตึงผิวเกิดจากโครงสร้างที่มีลักษณะพิเศษคือสารลดแรงตึงผิวประกอบด้วยสองส่วนคือส่วนที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) และส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ส่วนที่ไม่ชอบน้ำนั้นเรียกว่าส่วนที่ชอบน้ำมัน (Lipophilic) เนื่องจากส่วนประกอบสองส่วนที่มีสมบัติตรงข้ามกันทำให้สารลดแรงตึงผิวเข้าไปเชื่อมระหว่างสองเฟสที่ต่างกันให้เข้ากันได้

##### 1) คุณสมบัติของสารลดแรงตึงผิว

สารลดแรงตึงผิวจะทำหน้าที่ลดแรงตึงผิวของน้ำให้น้ำซึมเข้าไปสัมผัสกับ สิ่งสกปรกต่างๆ ได้และยังทำให้ไขมันละลายน้ำหรือมีสมบัติเป็น Emulsifier จึงช่วยในการกำจัด สิ่งสกปรกและคราบไขมันเมื่อใส่สารลดแรงตึงผิวลงไปใต้น้ำจะมีการจัดเรียงตัวของน้ำโดยด้านหาง ที่ไม่ชอบน้ำจะพยายามวางตัวไปด้านบนส่วนหัวซึ่งเป็นด้านที่ชอบน้ำจะอยู่ในน้ำทำให้เสมือนว่าผิวน้ำถูกทำให้เป็นช่องๆจึงทำให้ความตึงผิวของน้ำลดลงเมื่อผิวหน้าของน้ำเต็มไปด้วยสารลดแรงตึงผิวส่วนที่เพิ่มขึ้นมาจำเป็นต้องไปอยู่ในน้ำโมเลกุลสารลดแรงตึงผิวจะเรียงในลักษณะที่เอาส่วนหางมารวมกันตรงกลางและส่วนหัวจะชี้ออกไปดูเหมือนเป็นก้อนกลมๆก่อนที่เกิดจากการรวมตัวแบบนี้เรียกทับศัพท์ว่าไมเซลล์ (Micell) ไมเซลล์เหล่านี้มีรูปร่างหลายๆแบบ อาจจะเป็นก้อนกลมๆเป็นแท่งหรือเป็นชั้นๆ ก็ได้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวในน้ำ

สารลดแรงตึงผิวที่เป็นส่วนประกอบหลักในผงซักฟอกมีประสิทธิภาพในการทำความสะอาดสองประการคือขจัดคราบมันบนใยผ้าโดยการจับให้คราบมันรวมกันเป็นก้อนๆ แล้วนำพาออกจากเส้นใยผ้าเมื่อไม่มีคราบมันจะสามารถเข้าถึงเส้นใยผ้าได้กระบวนการนี้เรียกว่าการทำให้เปียกอีกครั้งหรือ รีเวตติง (Rewetting) ความสามารถอีกอย่างในการทำความสะอาดคือการดึงคราบสกปรกขึ้นมาจากพื้นผิวโดยที่ส่วนหางจะเกาะจับคราบสกปรกและหันส่วนหัวไปด้านหน้าวิธีดังกล่าวสิ่งสกปรกที่ส่วนใหญ่จะเป็นน้ำมันจะถูกดึงออกมาจากพื้นผิวหรือใยผ้าได้และจะถูกน้ำชะล้างออกไป

##### 2) ประเภทของสารลดแรงตึงผิว

สารลดแรงตึงผิวทุกชนิดมีโครงสร้างหลักคล้ายกันคือมีส่วนหาง (ไม่ชอบน้ำ) และส่วนหัว (ชอบน้ำ) แต่อย่างไรก็ตามไม่ใช่ทุกตัวจะมีคุณสมบัติที่เหมือนกันแต่ละชนิดกลับมีความแตกต่างกันทาง

คุณสมบัติเป็นผลมาจากความแตกต่างของส่วนหัวที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) เมื่อสารลดแรงตึงผิวละลายในน้ำมันจะแตกตัวเป็นไอออน (สารที่มีประจุไฟฟ้า) ตัวอย่างเมื่อสบู่ละลายในน้ำโซเดียมไอออน (ประจุเป็นบวก) จะทำให้ตัวเองเป็นประจุลบรูปแบบเช่นที่เป็นประจุลบคือสารลดแรงตึงผิว

สารลดแรงตึงผิวแบ่งออกเป็นหลายกลุ่มขึ้นกับประจุไฟฟ้าบนส่วนประกอบที่ละลายน้ำเช่น ชนิดประจุลบ (Anionic), ประจุบวก (Cationic), ไม่มีประจุ (Nonionic) และสองประจุ (Amphoteric) ซึ่งมีความเหมาะสมในการใช้งานต่างกันตัวอย่างของสารลดแรงตึงชนิดต่างๆ แสดงได้ดังต่อไปนี้

#### ก) สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ

สารลดแรงตึงผิวประจุลบใช้เป็นส่วนประกอบหลักในผลิตภัณฑ์ซักล้าง, น้ำยาซักผ้า, น้ำยาล้างจานและผงซักฟอกเนื่องจากมีความสามารถในการขจัดสิ่งสกปรกและให้ฟองมากตัวอย่างเช่น Alkyl sulphate, Alkanesulphonate, Linear Alkylbenzene (LAS) เช่น Sodium Dodecyl Benzene Sulphonate, Olefin Sulphonate, Sarcosinate, Sodium Lauryl EthoxySulphate, Sulphosuccinate,  $\alpha$ -SulphoMethyl Ester

#### ข) สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก

สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวกใช้เป็น Antistatic agent และสารปรับสภาพเส้นผมในแชมพูตัวอย่างเช่น Quaternary Ammonium Compound เช่น Polyquaternium-6,-7,-10,-16, Alkyltrimethyl Ammonium chloride

#### ค) สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ

สารลดแรงตึงผิวไม่มีประจุนี้ไม่แตกตัวเมื่อละลายในน้ำมีความเป็นกลางทางไฟฟ้า ตัวอย่างคือแอลกอฮอล์ไขมันอีทอกซิลเอต (fatty alcohol ethoxylates) และอัลคิลโพลีกลูโคไซด์ (alkyl polyglucosides) โดยสามารถใช้งานได้ในหลายๆผลิตภัณฑ์เช่นน้ำยาทำความสะอาด, น้ำยาล้างจาน, น้ำยาซักผ้าหรือในแชมพูตัวอย่างเช่น Alcohol, alkylphenolEthoxylate, Alkyl Diethanol, Monoethanol และ Isopropanol Amides, Alkyl Ethoxylate, Alkyl Polyglucoside, Amine Oxides, Fatty Alcohol Ethylene Oxide/ Propylene เช่น Cetyl Steary Alcohol

#### ง) สารลดแรงตึงผิวชนิดสองประจุ

โครงสร้างมีทั้งประจุบวกและประจุลบอยู่ในโมเลกุลการทำงานจะขึ้นอยู่กับสภาวะกรดต่างในสารละลายที่อยู่เช่นที่สภาวะเป็นกรดจะแสดงความเป็นประจุบวกมากกว่าในขณะที่สภาวะเป็นด่างจะแสดงความเป็นประจุลบมากกว่าจึงเรียกว่าสารลดแรงตึงผิวชนิดสองประจุ (Amphoteric surfactant) ตัวอย่างสารประเภทนี้เช่นพวกบีเทน (Cocamidopropyl Betaine, CAPB) สารกลุ่มนี้ใช้ผสมร่วมกับสารลดแรงตึงผิวประจุลบในแชมพูน้ำยาล้างจานและผลิตภัณฑ์ซักล้างที่ต้องการฟองมากพบว่า มีความอ่อนโยนต่อผิวหนัง ตัวอย่างเช่น Acetate, Alkylamphocarboxyglycinate, Amphoacetate, Betaine, Imidazoline derivatives, Propionate, Sultaine

### 3) ความเป็นพิษของสารลดแรงตึงผิว

สารลดแรงตึงผิวโดยทั่วไปประกอบด้วยส่วนที่ละลายในน้ำและส่วนที่ละลายในไขมันซึ่งส่วนที่ละลายในไขมันจะซึมผ่านเข้าไปในเหงือกปลาทำให้ความสามารถในการควบคุมปริมาณเกลือเสียไป นอกจากนี้สารลดแรงตึงผิวแต่ละชนิดย่อยสลายทางชีวภาพได้แตกต่างกันบางชนิดสลายตัวได้ยากเกิดการสะสมและตกค้างในแหล่งน้ำทำให้สมดุลในสภาวะแวดล้อมทางน้ำเปลี่ยนแปลงอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำได้อย่างไรก็ตามการย่อยสลายทางชีวภาพของสารลดแรงตึงผิวจะเกิดขึ้นมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ

ปัจจัยหลายประการเช่นปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำปริมาณจุลินทรีย์ในแหล่งน้ำหรือระยะเวลาที่ใช้ในการย่อยสลายหากปัจจัยเหล่านี้มีจำกัดจะทำให้การสลายตัวช้าลง

#### 2.4.6 สารลดแรงตึงผิวไตรตันX-100 (Triton X-100 )

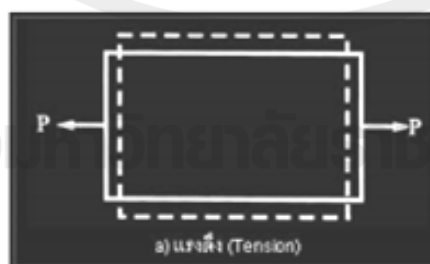
มีสูตรโมเลกุล  $C_{14}H_{22}O(C_2H_4O)_n$  เป็นลดแรงตึงผิวไม่มีประจุ (ไม่มีไอออน) ที่มีห่วงโซ่ออกไซด์เอทิลีนน้ำเป็นของเหลวหนืด (มีความหนืดน้อยกว่ากลีเซอรอล) เนื่องจากพันธะไฮโดรเจนของเอทิลีนออกไซด์ ส่วนของน้ำไม่เจือปน Triton X-100 มีสีเหลืองอ่อนความหนืดของประมาณ 270 centipoise ที่ 25 °C ซึ่งลงมาประมาณ 80 centipoise ที่ 50 °C Triton X-100 เป็นที่ละลายน้ำได้ดีมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย 80,000 molwt 625 สามารถแยกอนุภาคของแข็งออกจากกันได้และช่วยเสริมสภาพการละลายของน้ำมันในน้ำให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น Triton X-100 เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ใช้กันทั่วไปในห้องปฏิบัติการสามารถในการละลายได้ดีในสารละลายที่มีขั้วสูง (Polar Organic Solvents) เสถียรในสารละลายกรดแก่และเบสแก่เข้ากันได้ดีกับสารชะล้างพวกไอออนที่มีประจุลบ (Anionic) ไอออนที่มีประจุบวก (Cationic) และไม่มีไอออน (Nonionic) ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในการสกัดโปรตีนหรือเยื่อหุ้มเซลล์ในสิ่งมีชีวิตและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เนื่องจากสามารถย่อยสลายได้ในธรรมชาติ

### 2.5 การทดสอบคุณสมบัติการต้านทานแรงดึง

การทดสอบด้วยการดึงเป็นการทดสอบเพื่อหาสมบัติของวัสดุ เป็นที่รู้จักดี การทดสอบนี้ ช่วยให้ได้ค่าสมบัติด้านความยืดหยุ่น ความแข็งแรงคราก (Yield strength) หรือจุดที่วัสดุรับแรงได้สูงสุดโดยไม่เสียรูป ความแข็งแรงแรงดึง (Tensile strength หรือ Ultimate strength) หรือจุดที่วัสดุรับแรงสูงสุด และอัตราส่วนการหดตัวสัมพัทธ์ของหน้าตัด (Poisson ratio) ซึ่งเหล่านี้เป็นสมบัติที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่งของวัสดุ นอกจากนี้ยังสามารถที่จะหาการยืดตัวเมื่อแตกหักของวัสดุได้อีก ด้วยการทดสอบด้วยการดึงโดยทั่วไป เป็นการให้แรงในแนวแกนเดียว (Uniaxial tensile test) แก่ชิ้นทดสอบ โดยแรงดึงนี้จะกระจาย อย่างสม่ำเสมอตลอดพื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบ หากนำขนาดของแรงดึงกล่าวหารด้วยพื้นที่หน้าตัดที่รับแรงก็จะได้ค่าที่เรียกว่า “ความเค้น (Stress)” ซึ่งมีหน่วยเป็น  $N/m^2$  หรือ Pa ในขณะที่รับแรงดึงวัสดุ จะเกิดการเสียรูปโดยยืดตัวออก สัดส่วนระหว่างระยะยืดตัว ต่อความยาวเดิมของชิ้นงานทดสอบเรียกว่า “ความเครียด (Strain)” ซึ่งมีหน่วยเป็น m/m หรือไม่มีหน่วย

ความเค้น (Stress) ตามความเป็นจริงความเค้นหมายถึงแรงต้านทานภายในเนื้อวัสดุที่มีต่อแรงภายนอกที่มากกระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่แต่เนื่องจากความไม่เหมาะสมทางปฏิบัติและความยากในการวัดหาค่านี้เราจึงมักจะพูดถึง ความเค้นในรูปของแรงภายนอกที่มากกระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ด้วยเหตุผลที่ว่าแรงกระทำภายนอกมีความ สมดุลกับแรง ต้านทานภายในโดยทั่วไปความเค้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ตามลักษณะของแรงที่มากกระทำ

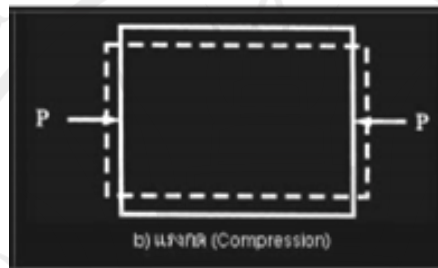
2.5.1 ความเค้นแรงดึง (Tensile Stress) เกิดขึ้นเมื่อมีแรงดึงมากกระทำตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวาง โดย พยายามจะแยกเนื้อวัสดุให้แยกขาดออกจากกัน ภาพประกอบ 2.1



### ภาพประกอบ 2.1 ความเค้นแรงดึง

ที่มา : (<http://www.rmutphysics.com/charud/metal/1/mechanical%20properties.htm>)

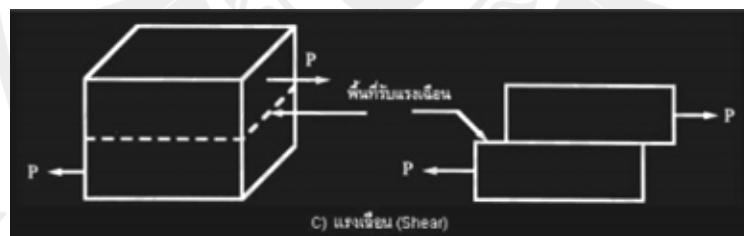
2.5.2 ความเค้นแรงอัด (Compressive Stress) เกิดขึ้นเมื่อมีแรงกดมากระทำตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวาง เพื่อพยายามอัดให้วัสดุมีขนาดสั้นลง ภาพประกอบ 2.2



### ภาพประกอบ 2.2 ความเค้นแรงอัด

ที่มา : (<http://www.rmutphysics.com/charud/metal/1/mechanical%20properties.htm>)

2.5.3 ความเค้นแรงเฉือน (Shear Stress) เกิดขึ้นเมื่อมีแรงมากระทำให้ทิศทางขนานกับพื้นที่ภาคตัดขวาง เพื่อให้วัสดุเคลื่อนผ่านจากกัน ภาพประกอบ 2.3 มีค่าเท่ากับแรงเฉือน (Shear Force) หารด้วยพื้นที่ ภาคตัดขวาง A ซึ่งขนานกับทิศทางของแรงเฉือน ในทางปฏิบัติความเค้นที่เกิดขึ้นจะมีทั้ง 3 แบบนี้พร้อม ๆ กัน



### ภาพประกอบ 2.3 ความเค้นแรงเฉือน

ที่มา : (<http://www.rmutphysics.com/charud/metal/1/mechanical%20properties.htm>)

ความเครียดและการเปลี่ยนรูป (Strain and Deformation) ความเครียด (Strain) คือการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุ (Deformation) เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำ (เกิดความเค้น) การเปลี่ยนรูปของวัสดุนี้เป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ภายในเนื้อวัสดุซึ่งลักษณะของมันสามารถ แบ่งเป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ

1. การเปลี่ยนรูปแบบยืดหยุ่นหรือความเครียดแบบคืนรูป (Elastic Deformation or Elastic Strain) เป็น การเปลี่ยนรูปในลักษณะที่เมื่อลดแรงกระทำอะตอมซึ่งเคลื่อนไหวเนื่องจากผลของความเค้นจะเคลื่อนกลับ เข้าตำแหน่งเดิม ทำให้วัสดุคงรูปร่างเดิมไว้ได้ ตัวอย่างได้แก่ พวงยางยืด สปริงถ้าเราดึงมันแล้วปล่อยมันจะ กลับไปมีขนาดเท่าเดิม

2. การเปลี่ยนรูปแบบพลาสติกหรือความเครียดแบบคงรูป (Plastic Deformation or Plastic Strain) เป็น การเปลี่ยนรูปที่ถึงแม้ว่าจะปลดแรงกระทำนั้นออกแล้ววัสดุก็ยังคงรูปร่างตามที่ถูก

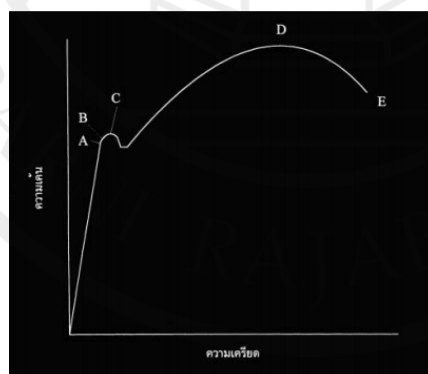
เปลี่ยนไปโดยอะตอมที่ เคลื่อนที่ไปแล้วจะไม่กลับไปตำแหน่งเดิมวัสดุทุกชนิดจะมีพฤติกรรมการเปลี่ยนรูปทั้งสองชนิดนี้ขึ้นอยู่กับแรงที่มากระทำหรือความเค้นว่ามีมากน้อยเพียงใด หากไม่เกินพิกัดการคืนรูป (Elastic Limit) วัสดุนั้นก็จะมี พฤติกรรมคืนรูปแบบอีลาสติก (Elastic Behavior) แต่ถ้าความเค้นเกินกว่าพฤติกรรมการคืนรูปแล้ววัสดุก็จะเกิดการ เปลี่ยนรูปแบบถาวรหรือแบบพลาสติก (Plastic Deformation)นอกจากความเครียดทั้ง 2 ชนิดนี้แล้วยังมี ความเครียดอีกประเภทหนึ่งซึ่งพบในวัสดุประเภทโพลีเมอร์เช่น พลาสติก เรียกว่าความเครียดกึ่งอีลาสติกจะมี ลักษณะที่เมื่อปราศจากแรงกระทำวัสดุจะมีการคืนรูป แต่จะไม่กลับไปจนมีลักษณะเหมือนเดิม การวัดและ คำนวณหาค่าความเครียดมีอยู่ 2 ลักษณะคือ

1. แบบเส้นตรงความเครียดที่วัดได้จะเรียกว่าความเครียดเชิงเส้น (Linear Strain) จะใช้ได้เมื่อแรงที่มากระทำมีลักษณะเป็นแรงดึงหรือแรงกดค่าของความเครียดจะเท่ากับความยาว ที่เปลี่ยนไป ต่อความยาวเดิม

2. แบบเฉือน เรียกว่าความเครียดเฉือน (Shear Strain) ใช้กับกรณีที่แรงมากระทำ มีลักษณะเป็นแรงเฉือน ค่าของความเครียดจะเท่ากับระยะที่เคลื่อนที่ไป ต่อระยะห่างระหว่างระนาบ

ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด (Stress-Strain Relationship) ในการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดในที่นี้เราจะใช้เส้นโค้งความเค้นและความเครียด (Stress-Strain Curve) ซึ่งได้จากการทดสอบแรงดึง (Tensile Test) เป็นหลักโดยจะพล็อตค่าของ ความเค้นในแกนตั้งและความเครียดในแกนนอน การทดสอบแรงดึง นอกจากจะให้ความสัมพันธ์ ระหว่าง ความเค้น-ความเครียด แล้วยังจะแสดงความสามารถในการรับแรงดึงของวัสดุความเปราะเหนียวของวัสดุ (Brittleness and Ductility) และบางครั้งอาจใช้บอกความสามารถในการขึ้นรูปของวัสดุ (Formability) ได้ อีกด้วย

การทดสอบแรงดึง (Tension Test) วิธีการทดสอบนั้น เราจะนำตัวอย่างที่ทดสอบมาดึงอย่างช้า ๆ แล้วบันทึกค่าของความเค้นและ ความเครียดที่เกิดขึ้นไว้แล้วมาพล็อตเป็นเส้นโค้ง ภาพประกอบที่ 2.4 ขนาดและรูปร่างของชิ้นทดสอบมีต่าง ๆ กัน ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ นั้น ๆ มาตรฐานต่าง ๆ ของการทดสอบ เช่น มาตรฐานของ ASTM (American Society of Testing and Materials), BS (British Standards), JIS (Japanese Industrial Standards) หรือแม้แต่ มอก. (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมไทย) ได้กำหนดขนาดและรูปร่างของชิ้นทดสอบไว้ทั้งหมดนี้เพื่อให้ผลของการทดสอบเชื่อถือได้พร้อมกับกำหนดความเร็วในการเพิ่มแรงกระทำเอาไว้ด้วย

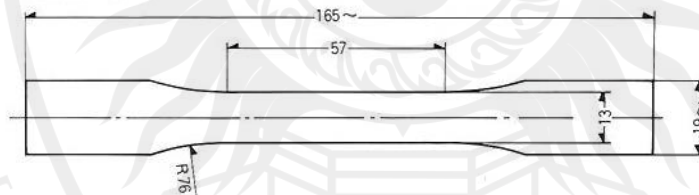


ภาพประกอบ 2.4 เส้นโค้งความเค้นและความเครียด

ที่มา : (<http://www.rmutphysics.com/charud/metal/1/mechanical%20properties.htm>)

จากการศึกษาเส้นโค้งความเค้น-ความเครียดเราพบว่า เมื่อเราเริ่มดึงชิ้นทดสอบอย่างช้า ๆ ชิ้นทดสอบจะค่อย ๆ ยืดออกจนถึงจุดจุดหนึ่ง (จุด A) ซึ่งในช่วงนี้ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดจะเป็นสัดส่วนคงที่ทำให้เราได้กราฟที่เป็นเส้นตรง ตามกฎของฮุก (Hook's law) ซึ่งกล่าวว่าความเค้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ ความเครียดจุด A นี้เรียกว่าพิคัดสัดส่วน (Proportional Limit) และภายใต้พิคัดสัดส่วนนี้วัสดุจะแสดง พฤติกรรมการคืนรูปแบบอีลาสติก (Elastic Behavior) นั่นคือเมื่อปล่อยแรงกระทำ ชิ้นทดสอบจะกลับไปมี ขนาดเท่าเดิม เมื่อเราเพิ่มแรงกระทำต่อไปจนเกินพิคัดสัดส่วน เส้นกราฟจะค่อย ๆ โค้งออกจากเส้นตรงวัสดุหลายชนิด จะยังคงแสดงพฤติกรรมการคืนรูปได้อีกเล็กน้อยจนถึงจุด ๆ หนึ่ง (จุด B) เรียกว่า พิคัดยืดหยุ่น (Elastic limit) ซึ่งจุดนี้จะเป็นจุดกำหนดว่าความเค้นสูงสุดที่จะไม่ทำให้เกิดการแปรรูปถาวร (Permanent Deformation or Offset) กับวัสดุนั้น เมื่อผ่านจุดนี้ไปแล้ววัสดุจะมีการเปลี่ยนรูปอย่างถาวร (Plastic Deformation) ลักษณะการ เริ่มต้นของความเครียดแบบพลาสติกนี้เปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของวัสดุ ในโลหะหลายชนิดเช่น พุกเหล็กกล้า คาร์บอนต่ำ (Low Carbon Steel) จะเกิดการเปลี่ยนรูป อย่างรวดเร็ว โดยไม่มีการเพิ่มความเค้น (บางครั้งอาจจะ ลดลงก็มี) ที่จุด C ซึ่งเป็นจุดที่เกิดการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก จุด C นี้เรียกว่าจุดคราก (Yield Point) และค่าของ ความเค้นที่จุดนี้ เรียกว่าความเค้นจุดคราก (Yield Stress) หรือ Yield Strength ค่า Yield Strength นี้มีประโยชน์ กับวิศวกรมากเพราะเป็นจุดแบ่งระหว่างพฤติกรรมการคืนรูปกับพฤติกรรมการคงรูป และในกรณีของโลหะจะ เป็นค่าความแข็งแรงสูงสุดที่เราคงใช้ประโยชน์ได้โดยไม่เกิดการเสียหาย

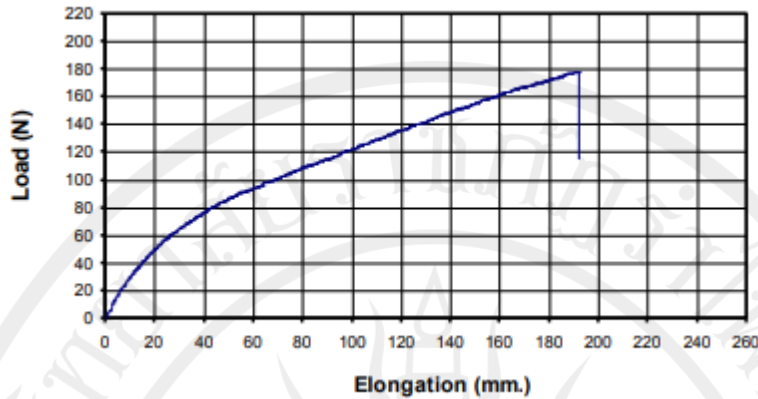
การทดสอบความต้านทานแรงดึง (Tensile test) สิ่งที่สำคัญของการทดสอบสมบัติด้านแรงดึงของพอลิเมอร์ คือ ชิ้นงานทดสอบจะต้องมีรูปร่าง dumbbell ตามมาตรฐาน ASTM D638 ภาพประกอบ 2.5



ภาพประกอบ 2.5 มาตรฐาน ASTM D638

ที่มา : ([www.google.co.th/search?q=มาตรฐาน+astm+d638](http://www.google.co.th/search?q=มาตรฐาน+astm+d638))

ในขณะที่ทดสอบจะใช้เครื่อง Universal testing machine (ภาพประกอบที่ 2.8) โดยจะทำการจับชิ้นงานที่ตำแหน่ง ปลายทั้งสองด้านด้วยระยะคงที่ (ตามมาตรฐานกำหนด) แล้วทำการดึงยืดชิ้นงานด้วยอัตราการดึงที่คงที่ทำการ บันทึกการเปลี่ยนแปลงของแรงและระยะยืดของชิ้นงานบริเวณตรงกลางผลที่ได้เบื้องต้นจากการทดสอบคือ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับระยะทาง ภาพประกอบที่ 2.6 ซึ่ง อาจจะมีรูปร่างแตกต่างกันไปแล้วแต่ชนิดของพอลิเมอร์และสภาวะ (ความเร็ว , อุณหภูมิ) ที่ทำการดึง



ภาพประกอบ 2.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับระยะยืดตัว  
ที่มา : (จตุพร วุฒิภักกกาญจน์. ม.ป.ป. : 10)

การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัตถุก็จะเปลี่ยนไปในลักษณะใด มากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับลักษณะของรูปร่างหรือสภาพของวัตถุ รวมทั้งลักษณะและขนาดของแรงที่กระทำต่อวัตถุนั้นๆ แรงที่กระทำต่อวัตถุนั้น ความเค้น (Stress) หมายถึงแรงที่กระทำต่อวัตถุในแนวตั้งฉากหรือขนานกับพื้นที่ ต่อพื้นที่นั้น

ดังนั้น ความเค้น = แรงในแนวตั้งฉากหรือขนานกับพื้นที่ / พื้นที่ที่แรงกระทำ มีหน่วยเป็น นิวตัน / ตารางเมตร (N/m<sup>2</sup>) (ไพศักดิ์ ธัมมวิจยะ. 2550 : 40)

เมื่อเกิดความเค้นขึ้นในวัตถุ จนทำให้วัตถุเปลี่ยนรูปร่างไปจากเดิมปริมาณที่เปลี่ยนไป ต่อปริมาณรูปร่างเดิมของวัตถุเรียกว่า ความเครียด (Strain)

ดังนั้น ความเครียด = ปริมาตรรูปร่างที่เปลี่ยนไปของวัตถุ / ปริมาตรรูปร่างเดิมของวัตถุ ความเครียด ไม่มีหน่วย

ดังนั้น ค่าความยืดหยุ่น (Young's Modulus) = ความเค้น / ความเครียด มีหน่วยเป็นเมกะพาสคัล (MPa)

การคำนวณหาค่าความเค้น

จากลักษณะของแรงกระทำที่เป็นแรงดึงและแรงอัดเราสามารถหาความเค้นที่เกิดขึ้นได้โดยคิดเป็นอัตราส่วนระหว่างแรงกระทำต่อพื้นที่หน้าตัด ดังสมการ

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

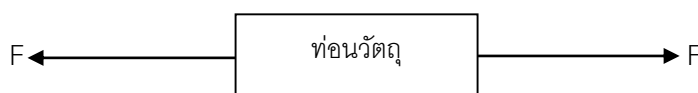
เมื่อ  $\sigma$  แทนความเค้น (Stress) หน่วย พาสคัล (Pa) 1 Pa = 1N/m<sup>2</sup> หรือ kg/fmm<sup>2</sup>หรือปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) lbf/in<sup>2</sup>

F แทน แรงภายนอกที่มากระทำ หน่วย N หรือ kgf หรือ lbf

A แทน พื้นที่ภาคตัดขวางที่แรงกระทำ หน่วย m<sup>2</sup> หรือ mm<sup>2</sup> หรือ in<sup>2</sup>

การคำนวณหาค่าความเครียด

ความเครียด ใช้ สัญลักษณ์  $\epsilon$  อักษรกรีก เรียกว่า *Epsilon* เป็นการเปลี่ยนแปลงของวัตถุเมื่อมีแรงภายนอกมากระทำกับวัตถุ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเป็นการเปลี่ยนแปลงต่อขนาดเดิมซึ่งหมายถึงความยาวที่เปลี่ยนไปต่อความยาวเดิม จะได้ ภาพประกอบ 2.7



## ภาพประกอบ 2.7 การเกิดความเครียด ( $\epsilon$ )

ความเครียด สามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\epsilon = L / \Delta L$$

เมื่อ  $\epsilon$  แทน ความเครียดไม่มีหน่วย

$\Delta L$  แทน ความยาวที่เปลี่ยนไป หน่วย มิลลิเมตร (mm.)

L แทน ความยาวเดิมของวัตถุ หน่วย มิลลิเมตร (mm.)

การคำนวณหาความยืดหยุ่นของโมดูลัสยัง (Young's Modulus)

ค่าความยืดหยุ่นใช้ E เป็นสัญลักษณ์ แทนค่าความชันของกราฟความเค้นกับความเครียดในช่วงสภาวะยืดหยุ่น ความสัมพันธ์ดังกล่าวจะเป็นไปตามกฎของฮุก (Hooke's Law) นั่น คือการเปลี่ยนแปลงขนาดและความเค้นของวัสดุในช่วงที่มีสภาวะยืดหยุ่นจะเป็นอัตราส่วนหรือสัดส่วนกับความเครียดดังสมการ

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

เมื่อ E แทน ความยืดหยุ่น

$\sigma$  แทน ความเค้น (Stress) หน่วย พาสคัล (Pa) 1 Pa = 1N/m<sup>2</sup> หรือ kg/fmm<sup>2</sup>หรือปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) lbf/in<sup>2</sup>

$\epsilon$  แทน ความเครียดตามยาว



ภาพประกอบ 2.8 ตัวอย่างเครื่องทดสอบความต้านทานแรงดึง (Universal testing machine)

ที่มา : (จตุพร วุฒิกนกกาญจน์. ม.ป.ป. : 9)

## 2.6 มาตรฐาน ASTM

มาตรฐาน ASTM เป็นมาตรฐานที่เกิดจากสมาคมวิชาชีพ ทางด้านวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี ที่กำหนด และจัดทำมาตรฐาน ซึ่งเป็นที่นิยมใช้ และเป็นที่ยอมรับทั่วโลก สมาคม ASTM มีชื่อย่อมาจาก American Society for Testing and Materials ซึ่งจัดตั้งขึ้นในสหรัฐอเมริกา เมื่อปี ค.ศ.1898 ทำหน้าที่ส่งเสริมสนับสนุน ทางด้านวิชาการ เพื่อเป็นการช่วยเหลืออุตสาหกรรม หน่วยงานของรัฐ และสาธารณชน

ทั่วไป โดยการพัฒนามาตรฐาน ที่เกี่ยวข้องกับ ลักษณะและการทำงานของ วัสดุ ผลิตภัณฑ์ การบริการ ระบบ การใช้งานASTM ถือได้ว่าเป็นสมาคมที่ใหญ่ที่สุดในโลก ในด้านของระบบ การพัฒนามาตรฐาน ที่ใช้โดยความ สมัยครุใจ มาตรฐาน ASTM จัดขึ้น โดยมติของกรรมการวิชาการเฉพาะสาขาวิชาต่างๆ ถึง 132 คณะ และมีการ จัดพิมพ์มาตรฐานมากกว่า 9,800 เรื่อง ในแต่ละปี โดยมีสมาชิกที่ทรงคุณวุฒิ ทางวิชาการถึง 35,000 คน ประกอบด้วย ตัวแทนกลุ่มผู้ผลิต ผู้บริโภค และผู้สนใจทั่วไป รวมทั้งองค์การที่เกี่ยวข้องต่างๆ ทั้งภาครัฐ และ ภาคเอกชน ทำให้เชื่อได้ว่า มาตรฐาน ASTM นี้ ครอบคลุมวิชาการต่างๆ มากมาย และมีความละเอียด ลึกซึ้ง นอกจากนี้ มาตรฐาน ASTM ยังได้รับการพิจารณา ทบทวนปรับปรุง และแก้ไขเพิ่มเติมอยู่ตลอดเวลา ทำให้ ทันสมัยอยู่เสมอ

### 2.6.1 การจัดแบ่งมาตรฐาน ASTM

มาตรฐาน ASTM ที่ผ่านการรับรองของสมาคมฯ และประกาศใช้เป็นมาตรฐาน สามารถแบ่ง ตามเนื้อหา ออกได้เป็นประเภทต่างๆ ดังนี้

1) Classification เป็นมาตรฐานของ ระบบการจัดการ และการจัดแบ่ง วัสดุผลิตภัณฑ์ การบริการ ระบบ หรือการใช้งาน ออกเป็นกลุ่มๆ โดยอาศัยคุณลักษณะ ที่เหมือนกัน เช่น แหล่งกำเนิด ส่วนประกอบ คุณสมบัติหรือประโยชน์ใช้สอย

2) Specification เป็นข้อกำหนดที่ระบุแน่นอน ถึงคุณลักษณะ และสมบัติต่างๆ ที่ต้องการของวัสดุ ผลิตภัณฑ์ ระบบหรือการใช้งาน ข้อกำหนดเหล่านี้ มักจะแสดงค่าเป็นตัวเลข และมีข้อจำกัดกำหนดไว้ พร้อมทั้งวิธีหาค่าเหล่านั้นด้วย

3) Terminology เป็นเอกสารมาตรฐาน ที่กำหนดคำนิยาม คุณลักษณะ คำอธิบายของศัพท์ต่างๆ เครื่องหมาย ตัวอย่าง คำย่อที่ใช้ในมาตรฐานต่างๆ

4) Test method เป็นมาตรฐานเกี่ยวกับกรรมวิธี ที่กำหนดให้ใช้ในการตรวจสอบ พิสูจน์วัด และ ปริมาณคุณภาพ คุณลักษณะ คุณสมบัติอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือหลายอย่างของวัสดุ ระบบหรือ การใช้งาน ซึ่งมี ผลการทดสอบ ที่สามารถนำไปใช้ ในการประเมินค่าตามข้อกำหนด

5) Guide เป็นคำแนะนำ หรือทางเลือก ให้ผู้ใช้เลือกใช้เทคนิคต่างๆ ที่มีอยู่ รวมทั้งสิ่ง ที่ได้จากการ ประเมิน และการมาตรฐานที่ใช้อื่นๆ ด้วย

6) Practice เป็นวิธีการปฏิบัติเฉพาะ สำหรับงานเฉพาะอย่าง ได้แก่ การเขียนรายงาน การสุ่ม ตัวอย่าง ความแม่นยำ ความละเอียด การเลือก การเตรียม การประยุกต์ การตรวจสอบ ข้อควรระวังใน การใช้ การกำจัดทิ้ง การติดตั้ง การบำรุงรักษา ตลอดจนการใช้เครื่องมือทดสอบ

นอกจากนี้ ASTM มีการจัดแบ่งมาตรฐานออกเป็นกลุ่มๆ เฉพาะเรื่อง โดยใช้ตัวอักษร เป็นสัญลักษณ์แทน กลุ่มของเนื้อเรื่อง เรียงตามลำดับดังนี้

A : Ferrous Metals

B : Nonferrous Metals

C : Cementations, Ceramic, Concrete, and Masonry Materials

D : Miscellaneous Materials

E : Miscellaneous Subjects

F : Materials for Specific Applications

ASTM D638 คือการกำหนดวิธีการทดสอบสำหรับการทดสอบแรงดึงในการทดสอบแรงดึงมาตรฐาน ผลลัพธ์จะขึ้นอยู่กับความเร็วแรงดึงของตัวอย่างที่กำหนดไว้บนตัวอย่าง อย่างไรก็ตาม โหลดของส่วนประกอบ

หรือโครงสร้างในการให้บริการจริงอาจมีอัตราการเปลี่ยนรูปที่กว้างมาก เนื่องจากคุณสมบัติการยืดหยุ่นตัวของพอลิเมอร์ สมบัติทางกลที่แตกต่างจากที่วัดในชิ้นงานทดสอบที่ได้มาตรฐานมักจะให้ผลลัพธ์ภายใต้อัตราความเครียดที่ต่างกัน ดังนั้น ค่าคุณลักษณะที่กำหนดในการทดสอบแรงดึงจึงมีความเกี่ยวข้องจำกัดสำหรับการออกแบบส่วนประกอบเท่านั้น แต่ให้พื้นฐานที่เชื่อถือได้มากสำหรับการเปรียบเทียบวัสดุ ตามขั้นตอนการทดสอบแรงดึงของ ASTM D638 ตัวอย่างจะถูกวางที่ระยะการยึดจับที่กำหนดจากส่วนจับของเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ และดึงออกมาจนกว่าจะล้มเหลว อัตราการทดสอบสำหรับ ASTM D638 ถูกกำหนดโดยข้อมูลจำเพาะของวัสดุ เครื่องวัดการยืดใช้เพื่อกำหนดโมดูลัสการยืดตัวและแรงดึง การคำนวณต่อไปนี้สามารถทำได้ด้วยการทดสอบ ASTM D638 ความต้านทานแรงดึง (ให้ผลและแตกหัก) โมดูลัสแรงดันไฟฟ้า ความดึงเครียด การยืดตัวในผลผลิตและเปอร์เซ็นต์การยืดตัวการยืดตัวที่จุดขาดและเปอร์เซ็นต์การยืดตัว (EUROLAB Laboratory, ออนไลน์ : ม.ป.ป.)

## 2.7 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้อง

เชษฐภัทล ตำนานวัน (2562 : บทคัดย่อ) การศึกษาสมบัติทางกลด้วยวิธีการทดสอบแรงดึง ของวัสดุพลาสติก PLA (Polylactic acid) จากกระบวนการพิมพ์ 3 มิติ ได้ทำการศึกษาลักษณะสมบัติทางกลของวัสดุพลาสติก PLA (Polylactic acid) เพื่อให้สามารถนำผลการทดลองในครั้งนี้ไปช่วย ในการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมและปลอดภัยโดยสร้างชิ้นงานทั้งหมด 18 ชิ้น 6 แบบ แบบละ 3 ชิ้น ซึ่งจะมีความแตกต่างกัน จากกระบวนการผลิตคือการเดินหัวพิมพ์ที่แตกต่างกัน และลดเปอร์เซ็นต์การเติมปริมาณเนื้อพลาสติกลง คือเดินหัวพิมพ์แบบ 45 องศา และ 90 องศา ปริมาณเนื้อวัสดุ 60 %, 80 %, 100 % ตามลำดับ ผลการศึกษารูปได้ ว่า ผลการทดลองทำให้ทราบค่า Young's Modulus , Ultimate Tensile Strength และ Elongation โดยที่ชิ้นงานที่มีปริมาณเนื้อวัสดุ 100 % จะได้ค่า Young's Modulus , Ultimate Tensile Strength และ Elongation ดีที่สุด ซึ่งในการทดลองผู้วิจัยได้นำชิ้นงานมาทำให้ได้ตามมาตรฐาน ASTM D638

ปราโมทย์ วีรานุกูลและคณะ( 2554 : บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาค่าการใช้กากมะพร้าวต้นข้าวโพด และเปลือกทุเรียนเป็นวัสดุประกอบชีวภาพทดแทนไม้ในแผ่นใยอัดความหนาแน่นปานกลาง มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาค่าการใช้กากมะพร้าวต้นข้าวโพดและเปลือกทุเรียนเป็นวัสดุประกอบชีวภาพใช้ทดแทนไม้ในแผ่นใยอัดความหนาแน่นปานกลาง ทำการทดสอบตามมาตรฐาน มอก.786 – 2547 จากผลการทดสอบพบว่า อัตราส่วน MM33 (เส้นใยมะพร้าว : เส้นใยต้นข้าวโพด : เส้นใยเปลือกทุเรียน เท่ากับ 0.33 : 0.33 : 0.33) และอัตราส่วน CC50 (เส้นใยมะพร้าว : เส้นใยต้นข้าวโพด : เส้นใยเปลือกทุเรียน เท่ากับ 0.50 : 0.25 : 0.25) มีสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลผ่านตามที่มาตรฐานกำหนดนอกจากนี้แผ่นใยชีวภาพอัดยังมีความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนได้ดี

ปราโมทย์ วีรานุกูลและคณะ( 2554 : บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาเรื่องการใช้ดินขาวผสมกากมะพร้าวเส้นใยจากต้นข้าวโพดและเส้นใยจากเปลือกทุเรียนเพิ่มประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนและลดน้ำหนักในผนังคอนกรีตบล็อก พบว่า การใส่เส้นใยลงในคอนกรีตบล็อกกาดินขาวทำให้ความหนาแน่นสัมประสิทธิ์การนำความร้อนและความต้านทานแรงอัดคอนกรีตบล็อกมีค่าน้อยลงแต่การเปลี่ยนแปลงความยาวและการดูดซึมน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นโดยคอนกรีตบล็อกกาดินขาวที่ไม่ผสมเส้นใยมีความต้านทานแรงอัดสูงที่สุด รองลงมาคือคอนกรีตบล็อกกาดินขาวผสมต้นข้าวโพด คอนกรีตบล็อกกาดินขาวผสมใยจากมะพร้าว และคอนกรีตบล็อกกาดินขาวผสมเส้นใยจากเปลือกทุเรียนมีความต้านทานแรงอัดต่ำที่สุด ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ใ้มีความเป็นไปได้ที่จะใช้เส้นใยดังกล่าวมาเป็นวัสดุผสมเพิ่มเพื่อลดน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกกาดินขาวให้น้อยลง

วิจิตรา เจริญชัย (2543: บทคัดย่อ) การศึกษาเส้นใยธรรมชาติเป็นวัสดุเสริมแรงในโพลีพรอพิลีน. ได้ศึกษาการศึกษาการใช้เส้นใยธรรมชาติเป็นวัสดุเสริมแรงในโพลีพรอพิลีน โดยงานวิจัยนี้ได้นำเส้นใยคาบิลัสซึ่งเป็นเส้นใยธรรมชาติเป็นสารเสริมแรงให้กับโพลีพรอพิลีน แล้วจึงทำการทดสอบความแข็งและแรงดึง ผลการวิจัยพบว่า ความแข็ง แรงดึงของโพลีพรอพิลีนที่เสริมเส้นใยมีค่าสูงกว่าโพลีพรอพิลีนที่ไม่มีเส้นใยและเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มช่วงความแตกต่างของขนาดเส้นใยแคบลง และเมื่อเติมสาร MAPP จะช่วยให้ โพลีพรอพิลีนมีค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 12 ซึ่งเห็นได้ว่าการเสริมเส้นใยธรรมชาติจะทำให้โพลีพรอพิลีนมีค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้นและยังลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

อุกฤษฏ์ นาจำปา (2558 : บทคัดย่อ) ผลิตแผ่นวัสดุกันกระแทกจากไฟเบอร์กลาสผสมยางพารา เพื่อศึกษาวิธีการผลิตแผ่นวัสดุกันกระแทกจากไฟเบอร์กลาสผสมน้ำยางพารา คุณสมบัติ การกระแทก การทนความร้อน ความยืดหยุ่นของแผ่นวัสดุที่ผลิตขึ้น เปรียบเทียบกับแผ่นทดสอบกันชนหนักรถยนต์ โดยใช้อัตราส่วนผสมน้ำยางพาราชั้น ผสมกับเรซิน สารลดแรงตึงผิว (Triton X-100) ตัวทำแข็ง(Hardener) และตัวช่วยเร่งปฏิกิริยา (Cobalt) ในอัตราส่วน 10: 100 : 10 : 0.2 : 0.2 และใช้แผ่นใยแก้วชนิดฝืนเส้นสั้น (Chopped strands mat) เบอร์ 600 กรัม /ตารางเมตร พบว่า แผ่นวัสดุกันกระแทกจากไฟเบอร์กลาสผสมยางพาราสามารถดูดซับพลังงานหรือรับแรงกระแทกได้มากกว่าแผ่นทดสอบกันชนหนักรถยนต์โดยแผ่นวัสดุกันกระแทกจากไฟเบอร์กลาสผสมยางพาราดูดซับได้ 3.2737J และแผ่นทดสอบกันชนหนักรถยนต์ ดูดซับได้ 2.7612 J นอกจากนี้ แผ่นวัสดุกันกระแทกจากไฟเบอร์กลาสผสมยางพาราสามารถต้านทานแรงดึงสูงสุด โดยมีค่าเท่ากับ 73.23 MPa ค่าการยืดตัว ณ จุดขาดของวัสดุกันกระแทกจากไฟเบอร์กลาสผสมยางพารา โดยมีค่าการยืดตัว ณ จุดขาด 2.47 % ค่าโมดูลัสของวัสดุกันกระแทกจากไฟเบอร์กลาสผสมยางพารามีค่ามากที่สุด มีค่าเท่ากับ 5,098.25 MPa แผ่นวัสดุกันกระแทกจากไฟเบอร์กลาสผสมยางพารา และแผ่นทดสอบกันชนหนักรถยนต์ มีลักษณะทางกายภาพ ทั้งการทดสอบความโค้งงอ ลักษณะผิวสัมผัสไม่เปลี่ยนแปลง พบกลิ่นเรซินเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และสีเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้ม และพบกลิ่นพลาสติกเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

อนรรักษ์ รอดบำรุง (2561 : บทคัดย่อ) ศึกษาคุณสมบัติเชิงกลในไฟเบอร์กลาสผสมน้ำยางพาราและเส้นใยธรรมชาติ โดยเติมอัตราส่วนของใยแก้วและเส้นใยสับปะรด 5 สัดส่วนเท่ากับ 600:0, 550:50, 500:100, 450:150 และ400:200 กรัมต่อตารางเมตร พบว่าการเพิ่มสัดส่วนเส้นใยสับปะรด ทำให้ไฟเบอร์กลาสมีความต้านทานแรงดึงที่ใกล้เคียงกับการใช้เส้นใยแก้วและความต้านทานแรงกระแทกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยความต้านทานแรงดึงเท่ากับ 10.11 MPa ความต้านทานแรงดึง ไฟเบอร์กลาสผสมน้ำยางพาราและเส้นใยธรรมชาติที่อัตราส่วนผสม 400:200 มีคุณสมบัติดีที่สุด และการทดสอบความต้านทานแรงกระแทก โดยความต้านทานแรงกระแทกเท่ากับ 12J/m ไฟเบอร์กลาสผสมน้ำยางพาราและเส้นใยธรรมชาติที่มีอัตราส่วนผสม 450:150 จะมีความต้านทานแรงกระแทกสูงที่สุด และไฟเบอร์กลาสที่ผสมน้ำยางพาราและเส้นใยสับปะรดจะมีคุณสมบัติในการรับแรงกระแทก ได้ดีสามารถนำไปประยุกต์เป็นวัสดุในการรับแรงกระแทกและทดแทนวัสดุที่มีต้นทุนสูงได้ต่อไป

จากการศึกษาค้นคว้าเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจะเห็นว่า การผสมน้ำยางพาราจะทำให้ชิ้นงานมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น ดูดซับพลังงานเพิ่มขึ้นดังนั้นการนำเส้นใยจากเปลือกทุเรียนซึ่งเป็นเส้นใยจากธรรมชาติมา ผสมกับเรซินและน้ำยางพาราในสัดส่วนที่สามารถผสมได้เข้ากันพอดีคือ อัตราส่วนของ ยางพาราชั้น 60% และ เรซิน, สารลดแรงตึงผิว, ตัวทำแข็ง, ตัวเร่งปฏิกิริยา สัดส่วน 10 : 100 : 10 : 0.2 : 0.2 โดยสัดส่วนที่ทำให้ น้ำยางพาราและไฟเบอร์กลาสผสมเข้ากันได้พอดีคือสัดส่วนที่ใช้ใยแก้วชนิดเส้นสั้น 600 กรัม / ตารางเมตร (อุกฤษฏ์ นาจำปา, 2558 : 55) ซึ่งสามารถนำไปใช้งานได้จริง เช่น วัสดุกันกระแทก แบรีเออร์ เรือ อ่างเก็บน้ำหรือเป็นส่วนประกอบอื่นๆ



## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

เพื่อให้การทดสอบเป็นไปอย่างถูกต้องจึงจำเป็นต้องทราบถึง อุปกรณ์ เครื่องมือการทดสอบ วิธีการขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบและการวิเคราะห์ผลการทดสอบซึ่งสามารถอธิบายในรายละเอียดได้ดังต่อไปนี้

- 3.1 วัสดุอุปกรณ์ สารเคมี และเครื่องมือ
- 3.2 ขั้นตอนการผลิตใยจากเปลือกทุเรียน
- 3.3 ขั้นตอนการผลิตแผ่นไฟเบอร์ผสมยางพารากับใยจากเปลือกทุเรียน
- 3.4 การทดสอบความต้านทานแรงดึง

#### 3.1 วัสดุอุปกรณ์ สารเคมี และเครื่องมือ

##### 3.1.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

- 1) บีกเกอร์
- 2) ถาดสแตนเลสใช้เพื่อเป็นแม่แบบ
- 3) แพลงทาสี ใช้เพื่อแต้มเรซินลงในแบบ
- 4) แท่งแก้ว ใช้กวนสารให้เข้ากัน
- 5) ใยแก้ว ใช้เพื่อเป็นวัสดุเสริมแรงให้กับชิ้นงาน
- 6) เปลือกทุเรียนสำหรับนำมาสกัดเอาเส้นใย

##### 3.1.2 สารเคมี

- 1) สารลดแรงดึงผิว (Triton X-100) ใช้เพื่อลดแรงดึงผิวระหว่างน้ำยางพาราและเรซินทำให้เข้ากันได้ง่ายขึ้น
- 2) เรซินผสมอะซิโตน (Acetone) คือพลาสติกเหลวมีสีใสใช้เพื่อเป็นตัวผสมกับใยแก้วและใยจากเปลือกทุเรียน กับ น้ำยางพารา
- 3) น้ำยางพาราชั้น 60 % คือน้ำยางสดที่ผ่านกระบวนการปั่นแยกทำให้น้ำในน้ำยางลดลงมีเปอร์เซ็นต์เนื้อยางสูงขึ้นถึง 60%
- 4) ตัวช่วยเร่งปฏิกิริยา (Cobalt) ช่วยเร่งให้กระบวนการทางเคมีระหว่างเรซิน สารลดแรงดึงผิว และน้ำยางพารา หรือเรียกอีกอย่างว่าตัวม่วง
- 5) ตัวทำแข็ง (Hardener) มีลักษณะสีใสและเป็นตัวช่วยทำให้เรซินเซตตัวได้เร็วขึ้น

##### 3.1.3 เครื่องมือวิเคราะห์และทดสอบ

- 1) เครื่องทดสอบแรงดึง Tensile Test Universal testing machine
- 2) เครื่องอบลมร้อน (Hot Air oven)
- 3) เครื่องชั่งแบบดิจิตอล ทศนิยมสองตำแหน่ง

#### 3.2 ขั้นตอนการผลิตใยจากเปลือกทุเรียน (ปรามิทยา วีรานุกูล, 2554 : 40)

- 3.2.1 นำเปลือกทุเรียนสดมาหั่นเป็นชิ้นตามแนวขวางของเปลือกกว้างประมาณ 4-5 เซนติเมตรต่อชิ้น ภาพประกอบ 3.1



ภาพประกอบ 3.1 ลักษณะเปลือกทุเรียนที่นำมาหั่นแล้ว

3.2.2 นำเปลือกทุเรียนที่หั่นแล้วมาใส่ถุงแล้วรัดปากถุงให้แน่น แล้วนำไปวางไว้ในที่ร่มเพื่อให้ขึ้นรา จะเริ่มสังเกตเห็นราได้ใน 1-2 สัปดาห์ ภาพประกอบ 3.2



ภาพประกอบ 3.2 เปลือกทุเรียนที่นำมาใส่ถุงรัดปาก

3.2.3 เมื่อเข้าสู่สัปดาห์ที่ 3 ให้นำเปลือกทุเรียนมาตำด้วยครกหิน วิธีเลือกให้ใช้นิ้วมือบีบ ที่เปลือกทุเรียนขึ้นเหนียวให้นำมาตำ ขึ้นเหนียวแข็งให้ใส่ถุงไว้เหมือนเดิม ภาพประกอบ 3.3



ภาพประกอบ 3.3 การเลือกเปลือกทุเรียนมาตำ

3.2.4 นำเปลือกทุเรียนที่ได้แล้วมาล้างด้วยน้ำสะอาด สิ่งที่ไม่ใช่เส้นใยจะล้างออกไปล้างประมาณ 3-4 ครั้งหรือจนกว่าจะได้เส้นใย ภาพประกอบ 3.4



ภาพประกอบ 3.4 การนำเส้นใยที่ได้ไปล้างน้ำ

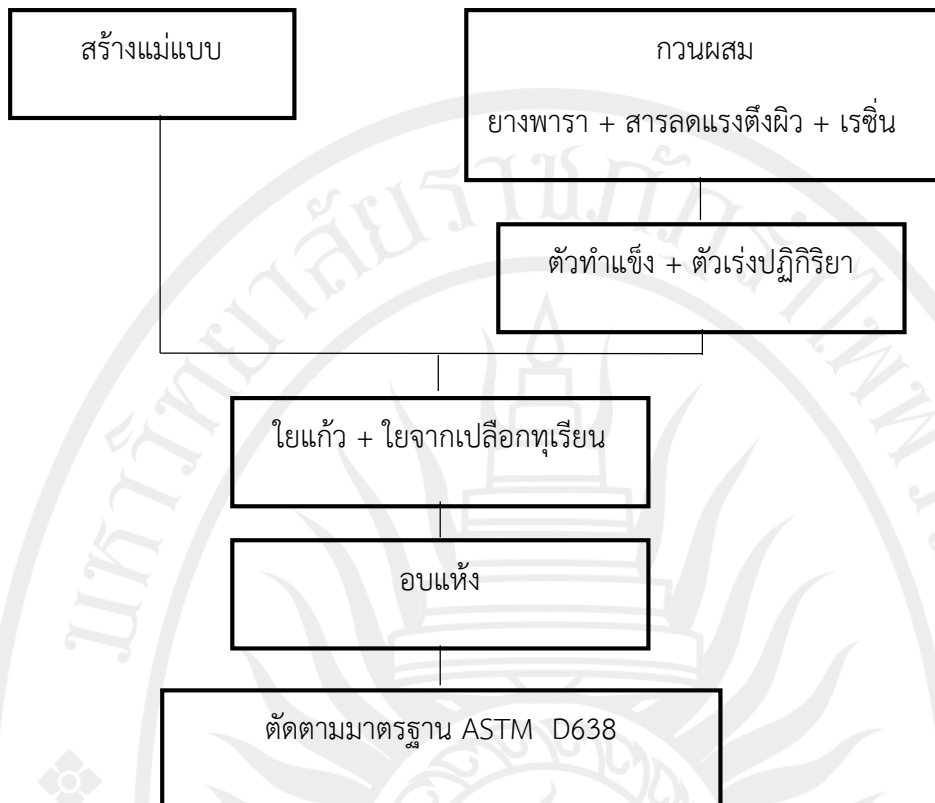
3.2.5 นำเส้นใยที่ได้ไปตากแดดให้แห้ง 5 - 7 วัน แล้วตัดเส้นใยให้มีความยาวประมาณ 1 เซนติเมตรพร้อมใช้งาน ภาพประกอบ 3.5



ภาพประกอบ 3.5 เส้นใยพร้อมใช้งาน

3.3 ขั้นตอนการผลิตแผ่นไฟเบอร์กลาสผสมยางพารากับเส้นใยจากเปลือกทุเรียน

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี



ภาพประกอบ 3.6 ขั้นตอนการผลิตแผ่นไฟเบอร์กลาส

3.3.1 ใช้แผ่นอะคริลิก เป็นแม่แบบสำหรับหล่อชิ้นงาน ขนาด กว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 25 เซนติเมตร ภาพประกอบ 3.7



ภาพประกอบ 3.7 แม่แบบ

3.3.2 ผสมน้ำยางพาราชั้น 60% และ เรซิน, สารลดแรงตึงผิว, ตัวทำแข็ง, ตัวเร่งปฏิกิริยา ในอัตราส่วน 10 : 100 : 10 : 0.2 : 0.2 โดยการตวง น้ำยางพารา 60 กรัม เรซิน 600 กรัม สารลดแรงตึงผิว 60 กรัม ตัวทำแข็ง 1.2 กรัม และตัวเร่งปฏิกิริยา 1.2 กรัม ตามลำดับ

3.3.3 ผสมเรซินและยางพารากับสารลดแรงตึงผิวให้เข้ากันโดยใช้เครื่องกวนเมื่อเรซินผสมเข้ากันได้แล้วจึงเติมตัวทำแข็งและตัวเร่งปฏิกิริยาลงไป ภาพประกอบ 3.8



ภาพประกอบ 3.8 การกวนเรซินด้วยเครื่องกวน

3.3.4 นำใยแก้วกับใยเปลือกทุเรียนในแต่ละอัตราส่วนลงไปแบบแล้วนำส่วนผสมที่เตรียมไว้เทลงไปในบล็อกให้ทั่ว โดยให้ความหนาของชิ้นงาน 3.2 มิลลิเมตร ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง ได้ชิ้นงาน ภาพประกอบ 3.9

3.9



ภาพประกอบ  
การเทเรซินใส่  
แม่แบบ

ลิขสิทธิ์ © 2019 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

3.3.5 นำแผ่นเรซินที่ได้มาอบความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศา ใช้เวลา 5 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้ชิ้นงานเซ็ดตัว ภาพประกอบ 3.10



ภาพประกอบ 3.10 การอบแผ่นไฟเบอร์กลาส

3.3.6 นำชิ้นงานมาตัดให้ได้มาตรฐาน ASTM D638 มาตรฐานการทดสอบแรงดึงของพลาสติก (อุทฤษฎ์ นาจำปา, 2558 : 41) จำนวนทั้งหมด 5 สัดส่วนๆ ละ 4 ชิ้นงาน รวมทั้งหมด 20 ชิ้นงาน สำหรับทดสอบความต้านทานแรงดึงและความยืดหยุ่น ภาพประกอบ 3.11

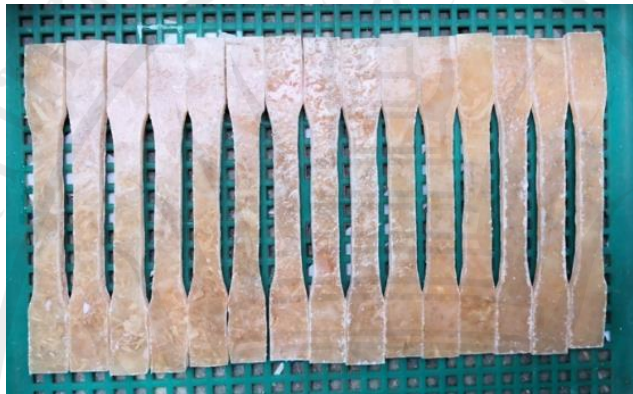


ภาพประกอบ 3.11 การตัดชิ้นงานไฟเบอร์กลาสตามมาตรฐาน ASTM D638

### 3.4 ขั้นตอนการทดสอบ

3.4.1 การทดสอบคุณสมบัติความยืดหยุ่นใช้เครื่องทดสอบการดึง (Tensile testing machine) ตามมาตรฐาน ASTM D638 ภาพประกอบ 3.12

โดยใช้อัตราการดึงคงที่จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ 5 อัตราส่วนโดยแต่ละอัตราส่วนจะมีชิ้นงานตัวอย่างละ 4 ชิ้น ค่าโมดูลัส ค่าความต้านทานแรงดึง และเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดแตกหัก (% Elongation at break) คำนวณจากกราฟความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) และนำค่าที่ได้ไปหาค่าเฉลี่ย



ภาพประกอบ 3.12 ชิ้นงานที่พร้อมนำไปทดสอบ



## บทที่ 4 ผลการวิจัย

ในการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลในไฟเบอร์กลาสผสมน้ำยาพาราและเส้นใยจากเปลือกทุเรียน โดยงานวิจัยนี้มุ่งหมายทดสอบคุณสมบัติความต้านทานแรงดึงซึ่งขึ้นงานที่ทำการทดสอบทำมาจาก ไฟเบอร์กลาสที่ผสมน้ำยาพาราชั้นและเส้นใยจากเปลือกทุเรียน โดยขึ้นงานที่ทำการทดสอบจะมีขนาดตามมาตรฐาน ASTM D638 ซึ่งจะมีลำดับขั้นตอนในการนำเสนอผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลดังนี้

4.1 ผลของการตรวจสอบด้วยสายตาที่พื้นผิวไฟเบอร์กลาสผสมน้ำยาพาราชั้นและเส้นใยจากเปลือกทุเรียน

4.2 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของไฟเบอร์กลาสผสมน้ำยาพาราชั้นและเส้นใยจากเปลือกทุเรียน

ในการทดสอบไฟเบอร์กลาสผสมน้ำยาพาราและเส้นใยจากเปลือกทุเรียนมีส่วนผสมของส่วนประกอบของไฟเบอร์กลาส ยางพาราชั้นกับเส้นใยจากเปลือกทุเรียน ใน 5 สัดส่วนดังนี้คือ ใยแก้ว 600 กรัม/ตารางเมตร : เส้นใยจากเปลือกทุเรียน 0 กรัม/ตารางเมตร, ใยแก้ว 550 กรัม/ตารางเมตร : เส้นใยจากเปลือกทุเรียน 50 กรัม/ตารางเมตร, ใยแก้ว 500กรัม/ตารางเมตร : เส้นใยจากเปลือกทุเรียน 100 กรัม/ตารางเมตร, ใยแก้ว 450/ตารางเมตร : เส้นใยจากเปลือกทุเรียน 150/ตารางเมตร, ใยแก้ว 400 กรัม/ตารางเมตร : เส้นใยจากเปลือกทุเรียน 200 กรัมซึ่งการผสมน้ำยาพาราชั้นและเส้นใยจากเปลือกทุเรียนในไฟเบอร์กลาสจะส่งผลต่อคุณสมบัติเชิงกลของไฟเบอร์ โดยข้อมูลดังกล่าวจะใช้นำมาประกอบและเปรียบเทียบกับไฟเบอร์กลาสที่ไม่มีส่วนผสมของเส้นใยจากเปลือกทุเรียนซึ่งจะมีการตรวจสอบด้วยภาพถ่าย และการทดสอบความต้านทานแรงดึงตามลำดับ

4.1 ผลของการตรวจสอบด้วยสายตาที่พื้นผิวไฟเบอร์กลาสผสมน้ำยาพาราชั้นและเส้นใยจากเปลือกทุเรียน

ภาพถ่ายลักษณะพื้นผิวของไฟเบอร์กลาสผสมน้ำยาพาราชั้นและเส้นใยจากเปลือกทุเรียนแต่ละสัดส่วนหลังจากการนำไปอบมี 5 สัดส่วนคือใยแก้ว 600กรัม/ตารางเมตร : เส้นใยจากเปลือกทุเรียน 0 กรัม/ตารางเมตร, ใยแก้ว 550 กรัม/ตารางเมตร : เส้นใยจากเปลือกทุเรียน 50 กรัม/ ตารางเมตร, ใยแก้ว 500 กรัม/ตารางเมตร : เส้นใยจากเปลือกทุเรียน 100กรัม/ตารางเมตร, ใยแก้ว 450 กรัม/ตารางเมตร : เส้นใยจากเปลือกทุเรียน 150 กรัม/ตารางเมตร, ใยแก้ว 400กรัม/ตารางเมตร : เส้นใยจากเปลือกทุเรียน 200 กรัม/ตารางเมตร ซึ่งขึ้นงานที่ได้จะมีสีและลักษณะทางกายภาพที่ต่างกันเนื่องจากผลจากอัตราส่วนผสมในแต่ละตัวแปรมีค่าที่ไม่เท่ากัน ซึ่งลักษณะทางกายภาพนี้ยังไม่สามารถแสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติเชิงกลได้ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์ความต้านทานแรงดึงในขึ้นงานไฟเบอร์กลาสผสมน้ำยาพาราและเส้นใยจากเปลือกทุเรียนและการวิเคราะห์ทางกายภาพของขึ้นงานไฟเบอร์กลาสผสมน้ำยาพาราและเส้นใยจากเปลือกทุเรียนแสดงดังนี้

4.1.1 ไฟเบอร์กลาสผสมน้ำยางพาราชั้นและเติมเส้นใยจากเปลือกทุเรียนที่สัดส่วน 600:0 กรัม/ตารางเมตร



**ภาพประกอบ 4.1** ภาพลักษณะทางกายภาพของไฟเบอร์กลาสผสมน้ำยางพาราชั้นและเติมเส้นใยจากเปลือกทุเรียนที่สัดส่วน 600:0 กรัม/ตารางเมตร

จากภาพประกอบ 4.1 ไฟเบอร์กลาสผสมน้ำยางพาราชั้นที่สัดส่วน 600:0 กรัม/ตารางเมตร เมื่อทำการวิเคราะห์ทางโครงสร้างพื้นผิวแสดงให้เห็นถึงพื้นผิวของไฟเบอร์กลาสที่มียางพาราชั้นและเส้นใยแก้วแทรกตัวอยู่ในชั้นของไฟเบอร์กลาสที่ทำการผสมซึ่งที่พื้นผิวมีลักษณะไม่เรียบเนียนและมีสีค่อนข้างดำเนื่องจากกระบวนการอบ และเมื่อนำชิ้นงานไปทดสอบผ่านแสงจะพบว่าแสงไม่สามารถทะลุผ่าน เนื่องจากเนื้อไฟเบอร์กลาส ผสมน้ำยางพาราชั้นและเส้นใยแก้วที่อยู่ในไฟเบอร์กลาสที่มีจำนวนมาก

4.1.2 ไฟเบอร์กลาสผสมน้ำยางพาราชั้นและเติมเส้นใยจากเปลือกทุเรียนที่สัดส่วน 550:50 กรัม/ตารางเมตร



**ภาพประกอบ 4.2** ภาพลักษณะทางกายภาพของไฟเบอร์กลาสผสมน้ำยางพาราชั้นและเติมเส้นใยจากเปลือกทุเรียนที่สัดส่วน 550:50 กรัม/ตารางเมตร

จากภาพประกอบ 4.2 ไฟเบอร์กลาสผสมน้ำยางพาราชั้นและเติมเส้นใยจากเปลือกทุเรียนที่สัดส่วน 550:50 กรัม/ตารางเมตร เมื่อทำการวิเคราะห์ทางโครงสร้างพื้นผิวแสดงให้เห็นถึงพื้นผิวของไฟเบอร์กลาสที่มีเส้นใยแก้ว เส้นใยจากเปลือกทุเรียน และน้ำยางพาราชั้นแทรกตัวอยู่ในชั้นของไฟเบอร์กลาสที่ทำการผสมมีผิวที่ลักษณะไม่เรียบเนียน เมื่อนำชิ้นงานไปทดสอบผ่านแสงจะพบว่าแสงไม่สามารถทะลุผ่าน เนื่องจากเนื้อไฟเบอร์กลาสมีใยแก้ว ยางพาราและเส้นใยจากเปลือกทุเรียน รวมทั้งพบฟองอากาศที่แทรกตัวอยู่ในไฟเบอร์กลาส

4.1.3 ไฟเบอร์กลาสผสมน้ำยาพาราซันและเติมเส้นใยจากเปลือกทุเรียนที่สัดส่วน 500:100 กรัม/ตารางเมตร



**ภาพประกอบ 4.3** ภาพลักษณะทางกายภาพของไฟเบอร์กลาสผสมน้ำยาพาราซันและเติมเส้นใยจากเปลือกทุเรียนที่สัดส่วน 500:100 กรัม/ตารางเมตร

จากภาพประกอบ 4.3 ไฟเบอร์กลาสผสมน้ำยาพาราซันและเติมเส้นใยจากเปลือกทุเรียนที่สัดส่วน 500:100 กรัม/ตารางเมตร เมื่อทำการวิเคราะห์ทางโครงสร้างพื้นผิวแสดงให้เห็นถึงพื้นผิวของไฟเบอร์กลาสที่มีเส้นใยแก้ว เส้นใยจากเปลือกทุเรียนและน้ำยาพาราซันแทรกตัวอยู่ในชั้นของไฟเบอร์กลาสที่ทำการผสมซึ่งมีผิวที่ลักษณะไม่เรียบเนียน มีผิวขรุขระมากกว่าสัดส่วน 550:50 กรัม รวมทั้งสีของตัวไฟเบอร์กลาสเริ่มมีสีที่เข้มขึ้นเนื่องจากเส้นใยจากเปลือกทุเรียนที่มีมากขึ้น เมื่อนำชิ้นงานไปทดสอบผ่านแสงจะพบว่าแสงไม่สามารถผ่านได้ โดยเส้นใยแก้วและเส้นใยจากเปลือกทุเรียนที่อยู่ในไฟเบอร์กลาสที่มีจำนวนมาก จึงทำให้เริ่มเห็นเส้นใยจากเปลือกทุเรียนชัดเจนยิ่งขึ้น รวมทั้ง พบฟองอากาศแทรกตัวอยู่ในชิ้นงานไฟเบอร์กลาสด้วย

4.1.4 ไฟเบอร์กลาสผสมน้ำยาพาราซันและเติมเส้นใยจากเปลือกทุเรียนที่สัดส่วน 450:150 กรัม/ตารางเมตร



**ภาพประกอบ 4.4** ภาพลักษณะทางกายภาพของไฟเบอร์กลาสผสมน้ำยางพาราชั้นและเติมเส้นใยจากเปลือกทุเรียนที่สัดส่วน 450:150 กรัม/ตารางเมตร

จากภาพประกอบ 4.4 ไฟเบอร์กลาสผสมน้ำยางพาราชั้นและเติมเส้นใยจากเปลือกทุเรียนที่สัดส่วน 450:150 กรัม/ตารางเมตร เมื่อทำการวิเคราะห์ที่โครงสร้างทางกายภาพพบว่า ไฟเบอร์กลาส ที่มีเส้นใยแก้ว เส้นใยจากเปลือกทุเรียน และน้ำยางพาราแทรกตัวอยู่ในชั้นของไฟเบอร์กลาสที่ทำการผสมซึ่งมีผิวที่มีลักษณะไม่เรียบเนียนรวมทั้งสีของตัวไฟเบอร์กลาสเริ่มมีสีเหลืองที่เข้มขึ้นเนื่องจากเส้นใยจากเปลือกทุเรียนที่มีมากขึ้นมองเห็นชั้นของน้ำยางแยกตัวชัดเจนมากขึ้นเมื่อนำชิ้นงานไปทดสอบผ่านแสงจะพบว่าแสงไม่สามารถผ่านได้ ซึ่งเกิดจากเส้นใยจากเปลือกทุเรียน ที่อยู่ในไฟเบอร์กลาสที่มีจำนวนมาก รวมทั้งพบฟองอากาศแทรกตัวอยู่ในชิ้นงานไฟเบอร์กลาสด้วย

**4.1.5** ไฟเบอร์กลาสผสมน้ำยางพาราชั้นและเติมเส้นใยจากเปลือกทุเรียนที่สัดส่วน 400:200 กรัม/ตารางเมตร



**ภาพประกอบ 4.5** ภาพลักษณะทางกายภาพของไฟเบอร์กลาสผสมน้ำยางพาราชั้นและเติมเส้นใยจากเปลือกทุเรียนที่สัดส่วน 400:200 กรัม/ตารางเมตร

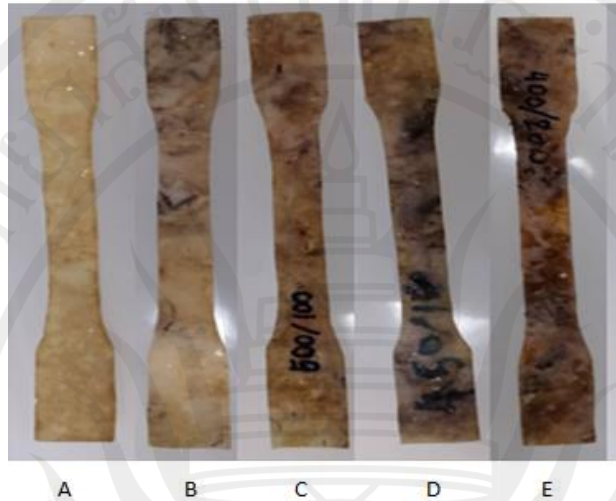
จากภาพประกอบ 4.5 ไฟเบอร์กลาสผสมน้ำยางพาราชั้นและเติมเส้นใยจากเปลือกทุเรียนที่สัดส่วน 400:200 กรัม/ตารางเมตร เมื่อทำการวิเคราะห์ทางโครงสร้างพื้นผิวแสดงให้เห็นถึงพื้นผิวของไฟเบอร์กลาสที่มีลักษณะไม่เรียบเนียนมากที่สุด รวมทั้งสีของตัวไฟเบอร์กลาสเริ่มมีสีที่เหลืองเข้มที่สุด เนื่องจากเส้นใยจากเปลือกทุเรียน ที่มีส่วนผสมมากที่สุด เมื่อนำชิ้นงานไปทดสอบผ่านแสงจะพบว่าแสงไม่สามารถผ่านได้

สรุปการทดสอบลักษณะทางกายภาพของไฟเบอร์กลาสผสมน้ำยางพาราและเส้นใยจากเปลือกทุเรียนด้วยสายตาในทุกๆ สัดส่วนพบว่าเมื่อเติมเส้นใยจากเปลือกทุเรียนเพิ่มขึ้นพื้นผิวจะมีลักษณะไม่เรียบเนียนและความเข้มของสีจะเพิ่มขึ้นตามลำดับของเส้นใยจากเปลือกทุเรียนที่เพิ่มขึ้น

**4.2 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของไฟเบอร์กลาสผสมน้ำยางพาราและเส้นใยจากเปลือกทุเรียน**

ลักษณะชิ้นงานไฟเบอร์กลาสผสมน้ำยางพาราและเส้นใยธรรมชาติตามเงื่อนไขขอบเขต ที่กำหนด 5 สัดส่วนและทำการเตรียมชิ้นงานตามมาตรฐาน ASTM D638 เพื่อใช้ในการทดสอบความต้านทานแรงดึงมีสัดส่วนคือ ใยแก้ว 600 กรัม/ตารางเมตร : เส้นใยจากเปลือกทุเรียน 0 กรัม/ ตารางเมตร ใยแก้ว 550 กรัม/ ตารางเมตร : เส้นใยจากเปลือกทุเรียน 50 กรัม/ ตารางเมตร, ใยแก้ว 500 กรัม/ ตารางเมตร : เส้นใยจากเปลือกทุเรียน 100 กรัม/ ตารางเมตร, ใยแก้ว 450 กรัม / ตารางเมตร : เส้นใยจากเปลือกทุเรียน 150

กรัม / ตารางเมตร, ใยแก้ว 400 กรัม / ตารางเมตร : เส้นใยจากเปลือกทุเรียน 200 กรัม/ ตารางเมตร ในการวิเคราะห์ความต้านทานแรงดึงที่เกิดขึ้นในชิ้นงานไฟเบอร์กลาสผสมน้ำยางพาราและเส้นใยจากเปลือกทุเรียนสามารถแสดงได้ดังนี้



ภาพประกอบ 4.6 ตัวอย่างชิ้นงานไฟเบอร์กลาสผสมน้ำยางพาราและเส้นใยธรรมชาติ ตามมาตรฐาน ASTM D638 เพื่อทดสอบคุณสมบัติความต้านทานแรงดึง

#### 4.2.1 ความต้านทานแรงดึง

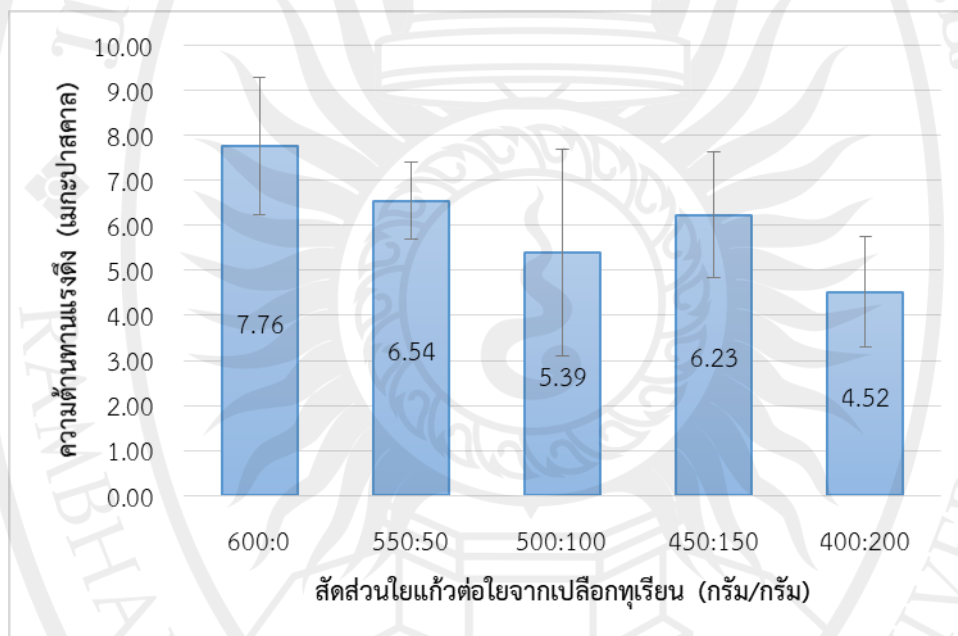
โดยในการทดสอบความต้านทานแรงดึงเป็นการทดสอบที่สำคัญในการทดสอบเชิงกล โดยการทดสอบความต้านทานแรงดึงเพื่อทำการหาค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) ของไฟเบอร์กลาสที่ผสมน้ำยางพาราและเส้นใยจากเปลือกทุเรียน โดยเป็นผลมาจากการยึดระหว่างเฟสที่พื้นผิวและวัสดุเสริมแรงที่อยู่ใกล้กับตัวของไฟเบอร์กลาส ซึ่งถ้ามีการยึดติดกันอย่างดีระหว่าง ไฟเบอร์กลาสที่ผสมน้ำยางพาราและเส้นใยจากเปลือกทุเรียน ก็จะส่งผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงที่เพิ่มขึ้นด้วย จากภาพประกอบ 4.6 ชั้นงาน A คือ โยแก้ว 600กรัม/ตารางเมตร : เส้นใยจากเปลือกทุเรียน 0 กรัม / ตารางเมตร, ชั้นงาน B คือ โยแก้ว 550 กรัม / ตารางเมตร : เส้นใยจากเปลือกทุเรียน 50 กรัม / ตารางเมตร, ชั้นงาน C คือ โยแก้ว 500 กรัม / ตารางเมตร : เส้นใยจากเปลือกทุเรียน 100 กรัม / ตารางเมตร, ชั้นงานD คือ โยแก้ว 450 กรัม/ ตารางเมตร : เส้นใยจากเปลือกทุเรียน 150 กรัม / ตารางเมตร, ชั้นงาน E คือ โยแก้ว 400 กรัม / ตารางเมตร : เส้นใยจากเปลือกทุเรียน 200 กรัม / ตารางเมตร

ตาราง 4.1 ความต้านทานแรงดึง

ส่วนผสม (โยแก้ว:ใยทุเรียน)	ค่าความต้านทานแรงดึง (เมกะปาสคาล)				
	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	เฉลี่ย
600:0	9.18	6.70	6.20	8.96	7.76
550:50	6.62	6.43	7.60	5.53	6.54
500:100	8.82	4.47	4.36	3.91	5.39
450:150	4.53	6.45	6.03	7.93	6.23
400:200	3.23	4.83	3.94	6.07	4.52

ตาราง 4.2 ความต้านทานแรงดึงเฉลี่ย

ส่วนผสม (ใยแก้ว:ใยทุเรียน)	ค่าความต้านทานแรงดึงเฉลี่ย (เมกะ ปาสคาล)
600:0	7.76
550:50	6.54
500:100	5.39
450:150	6.23
400:200	4.52



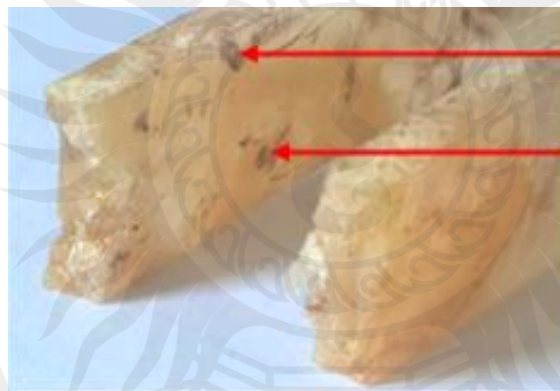
ภาพประกอบ 4.7 ค่าของการทดสอบความต้านทานแรงดึงของไฟเบอร์กลาสที่ผสมน้ำยางพาราชั้นและเส้นใยจากเปลือกทุเรียนในแต่ละสัดส่วน

ผลการทดลองพบว่าไฟเบอร์กลาสที่ผสมน้ำยางพาราชั้นและเส้นใยจากเปลือกทุเรียน ในอัตราส่วนต่างๆ คือ 600:0, 550:50, 500:100, 450:150, 400:200 พบว่า ความต้านทานแรงดึงมีแนวโน้มลดลง ภาพประกอบ 4.7 โดยไฟเบอร์กลาสผสมน้ำยางพาราชั้น 600:0 มีความต้านทานแรงดึงสูงสุดที่สุด คือ 7.76 เมกะปาสคาล และค่าความต้านทานแรงดึงของไฟเบอร์กลาสผสมน้ำยางพาราชั้นและเส้นใยจากเปลือกทุเรียนที่สัดส่วน 550:50 มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดในไฟเบอร์กลาส ที่ผสมน้ำยางพาราชั้นที่ใส่เส้นใยจากเปลือกทุเรียน ซึ่งมีค่าความต้านทานแรงดึงเฉลี่ย 6.54 เมกะปาสคาล ทั้งนี้การเติมเส้นใยจากเปลือกทุเรียนไม่สามารถเสริมความต้านทานแรงดึงให้สูงกว่าไฟเบอร์กลาสที่ผสมน้ำยางพาราชั้นที่สัดส่วน 600:0 เนื่องจากความยาวของเส้นใยมีค่าน้อยทำให้มีผลต่อความต้านทานแรงดึงของวัสดุที่เป็นวัสดุผสม (ครุฑ ศรีสันติ

สุข และคณะ, 2555 : 23-29) รวมทั้งไฟเบอร์กลาสที่ผสมน้ำยาพาราซันที่เติมเส้นใยจากเปลือกทุเรียนมีขนาดเส้นใยต่างกันจึงเป็นผลให้เกิดช่องว่างและฟองอากาศมากกว่าไฟเบอร์กลาสผสมน้ำยาพาราซันที่ไม่เติมเส้นใยจากเปลือกทุเรียน



ภาพประกอบ 4.8 ลักษณะการขาดของชิ้นงานสัดส่วน 600:0 มีลักษณะการกระจายตัวของใยแก้วสม่ำเสมอเกิดช่องว่างของอากาศน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสัดส่วนอื่นๆ



การกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอของเส้นใยทั้ง 2 ชนิดเมื่อนำมาผสมกัน

ภาพประกอบ 4.9 ลักษณะการขาดของชิ้นงานสัดส่วน สัดส่วน 550:50 การผสมกันของใยแก้วกับเส้นใยจากเปลือกทุเรียนมีช่องว่างของอากาศมากกว่า ลักษณะการขาดของชิ้นงานอื่นๆ

#### 4.2.2 โมดูลัสความยืดหยุ่น

โมดูลัสของความยืดหยุ่นเป็นค่าที่บอกถึงระดับความแกร่งของวัสดุซึ่งเป็นค่าที่มาจากการเปลี่ยนแปลงความเค้น (Stress) ต่อความเครียด (Strain) ซึ่งค่าดังกล่าวสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการคำนวณพฤติกรรมในการรับแรงของวัสดุ โดยผลการทดสอบโมดูลัสของยังไนไฟเบอร์กลาสที่ผสมน้ำยาพาราซันและเส้นใยจากเปลือกทุเรียนแต่ละสัดส่วนมีดัง ตารางที่ 4.3

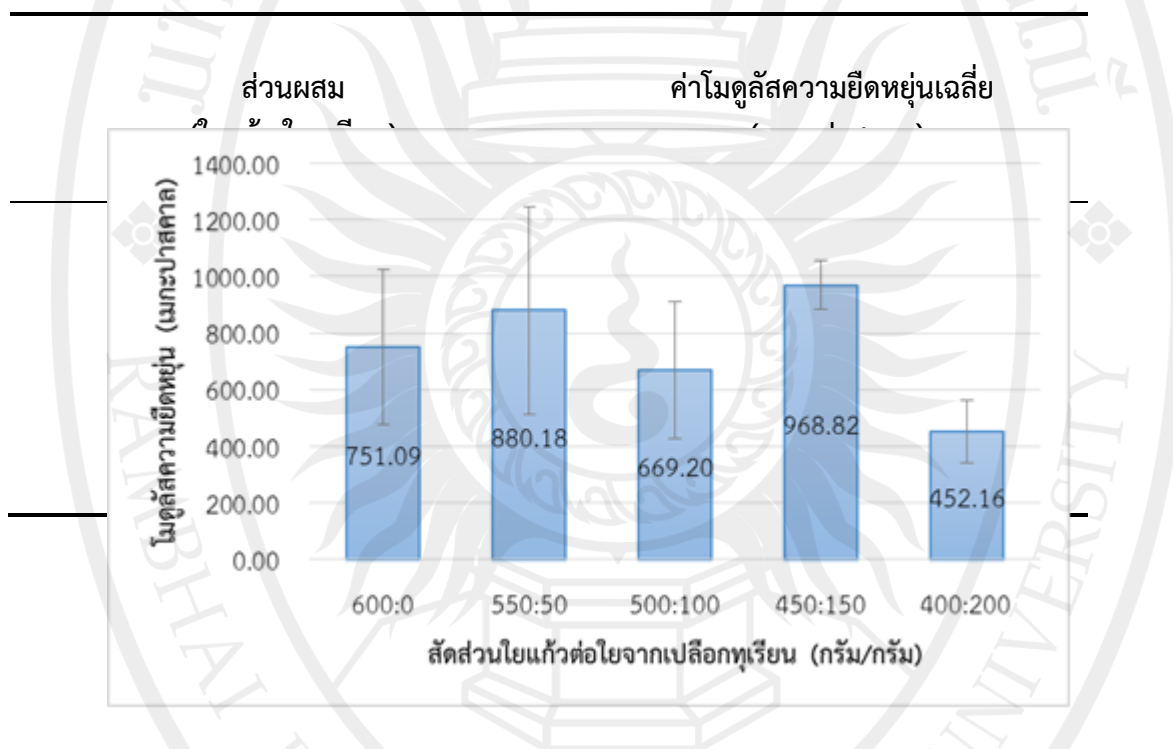
ตาราง 4.3 โมดูลัสความยืดหยุ่น

ส่วนผสม

ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น (เมกะปาสคาล)

(ใยแก้ว:ใยทุเรียน)	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	เฉลี่ย
600:0	1017.74	838.89	370.93	776.80	751.09
550:50	752.75	1407.89	798.35	561.74	880.18
500:100	896.81	575.80	371.43	832.76	669.20
450:150	867.28	938.70	998.93	1070.35	968.82
400:200	422.47	363.43	409.60	613.12	452.16

ตาราง 4.4 โมดูลัสความยืดหยุ่นเฉลี่ย



ภาพประกอบ 4.10 ค่าของโมดูลัสความยืดหยุ่นของไฟเบอร์กลาสที่ผสมน้ำยางพาราชั้นและเส้นใยจากเปลือกทุเรียนในแต่ละสัดส่วน

ผลการทดลองแสดงดังภาพประกอบ 4.10 พบว่า ไฟเบอร์กลาสที่ผสมน้ำยางพาราชั้น ที่สัดส่วน 600:0 มีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นเฉลี่ยที่ 751.09 เมกะปาสคาล และค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นที่ดีที่สุดของไฟเบอร์กลาสที่ผสมน้ำยางพาราชั้นและเส้นใยจากเปลือกทุเรียนที่สัดส่วน 450:150 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 968.82 เมกะปาสคาล จะเห็นได้ว่าไฟเบอร์กลาสผสมน้ำยางพาราชั้นที่เติมเส้นใยจากเปลือกทุเรียนมีความยืดหยุ่นสูงกว่าไฟเบอร์กลาสผสมน้ำยางพาราชั้นที่ไม่เติมเส้นใยจากเปลือกทุเรียน เนื่องจากเส้นใยจากเปลือกทุเรียนเป็นเส้นใยธรรมชาติประเภทเส้นใยพืชซึ่งเป็นวัสดุอินทรีย์ที่มีสารประกอบเคมีประเภทเซลลูโลสที่มีคุณสมบัตินุ่มและเหนียว (พงศธร กองแก้ว, 2559 : 9) ส่งผลให้เมื่อเติมเส้นใยจากเปลือกทุเรียนลงในไฟเบอร์กลาสที่ผสมน้ำยางพาราชั้นแล้ว ทำให้ไฟเบอร์กลาส มีความยืดหยุ่นเพิ่มมากขึ้น

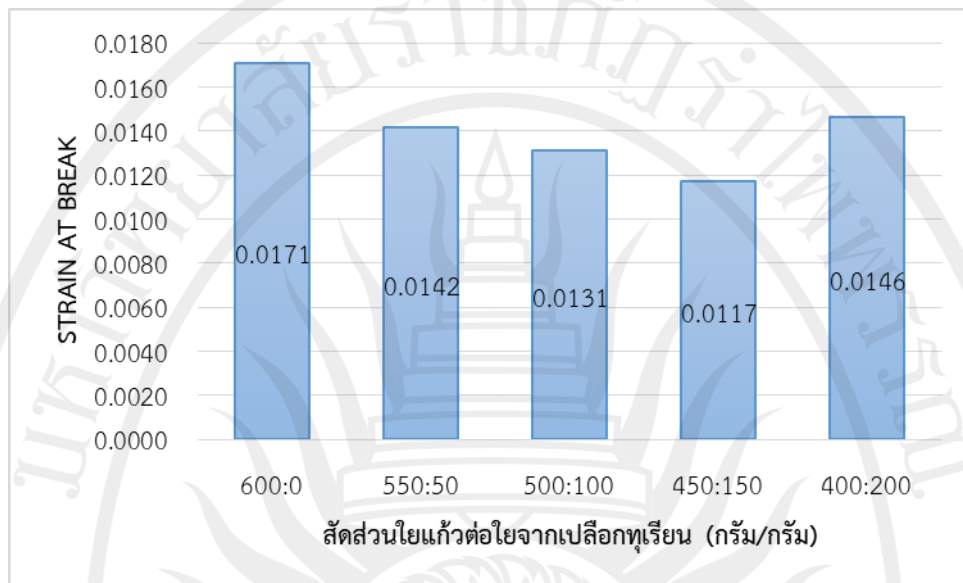
### 4.2.3 ค่า Strain at Break

ตาราง 4.5 Strain at Break

ส่วนผสม (ใยแก้ว:ใยทุเรียน)	Strain at Break				เฉลี่ย
	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	
600:0	0.0124	0.0130	0.0283	0.0146	0.0171
550:50	-	-	0.0146	0.0137	0.0142
500:100	0.0129	-	0.0156	0.0109	0.0131
450:150	0.0104	0.0091	0.0118	0.0156	0.0117
400:200	0.0118	0.0158	0.0168	0.0142	0.0146

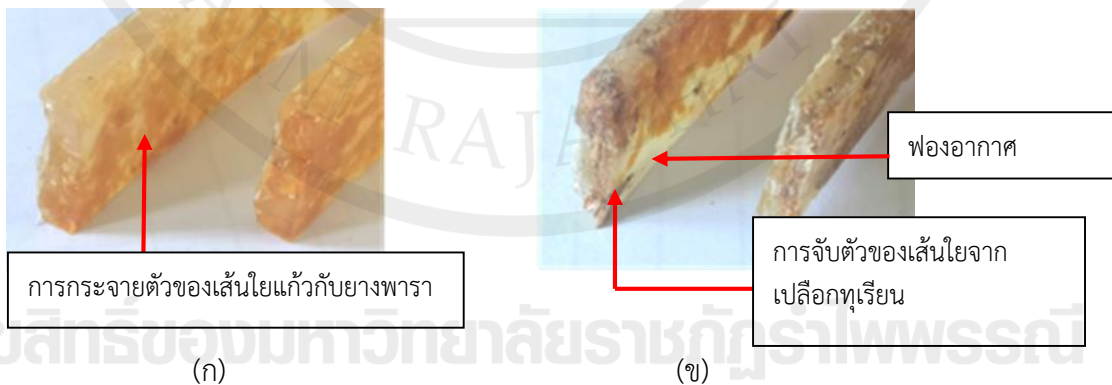
ตาราง 4.6 Strain at Break เฉลี่ย

ส่วนผสม (ใยแก้ว:ใยทุเรียน)	ค่า Strain at Break (เฉลี่ย)
600:0	0.0171
550:50	0.0142
500:100	0.0131
450:150	0.0117
400:200	0.0146



ภาพประกอบ 4.11 Strain at break

จากการผลการทดลองพบว่า ค่า Strain at Break มีแนวโน้มลดลง ดังภาพประกอบ 4.11 โดยไฟเบอร์กลาสผสมน้ำยางพาราชั้นที่สัดส่วน 600:0 มีค่า Strain at Break เฉลี่ย สูงที่สุด คือ 0.0171 และค่า Strain at Break ของไฟเบอร์กลาสผสมน้ำยางพาราชั้นและเส้นใยจากเปลือกทุเรียนที่สัดส่วน 400:200 มีค่า Strain at Break เฉลี่ย สูงที่สุดของทุกสัดส่วนที่มีการเติมเส้นใยจากเปลือกทุเรียน โดยมีค่า Strain at Break เฉลี่ย 0.0146 ค่า Strain at Break ซึ่งมีแนวโน้มลดลงเนื่องจากไฟเบอร์กลาสเป็นวัสดุผสมที่มีส่วนผสมหลายชนิด มีผลต่อความเหนียว ความเข้ากันของวัสดุผสม ทำให้เกิดการจัดวางของเส้นใยจากเปลือกทุเรียนและเส้นใยแก้วไม่เป็นระเบียบ และเกิดฟองอากาศ ซึ่งมีผลต่อค่า Strain at Break ดังภาพประกอบ 4.2 ลักษณะการกระจายตัวของเส้นใยในไฟเบอร์กลาสผสมน้ำยางพาราชั้นที่เติมเส้นใยจากเปลือกทุเรียนในสัดส่วน 600:0 และ 400:200



ภาพประกอบ 4.12 ลักษณะการขาดของชิ้นงานและการจัดวางตัวของเส้นใย

- (ก) สัดส่วนโยแก้วต่อโยจากเปลือกทุเรียน 600:0
- (ข) สัดส่วนโยแก้วต่อโยจากเปลือกทุเรียน 400:200



ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

## บทที่ 5

### สรุปผล อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยการศึกษาคุณสมบัติคุณสมบัติความต้านทานแรงดึงของไฟเบอร์กลาสผสมน้ำยาพาราซีน เมื่อผสมเส้นใยจากเปลือกทุเรียน โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาสัดส่วนของเส้นใยจากเปลือกทุเรียนเมื่อนำไปผลิตไฟเบอร์กลาสผสมน้ำยาพาราซีน โดยสามารถสรุปได้ดังนี้

#### สรุปผลและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ใช้เส้นใยธรรมชาติคือเส้นใยจากเปลือกทุเรียน เพื่อศึกษาคุณสมบัติความต้านทานแรงดึง และโมดูลัสความยืดหยุ่น ผลการวิจัยพบว่า ความต้านทานแรงดึง และค่า Strain at Break มีแนวโน้มลดลง เมื่อเพิ่มสัดส่วนของเส้นใยจากเปลือกทุเรียน และค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของไฟเบอร์กลาสผสมน้ำยาพาราซีน และเส้นใยจากเปลือกทุเรียนที่ดีที่สุดอยู่ที่อัตราส่วน 450:150 มีค่าเท่ากับ 968.82 เมกะปาสคาล ซึ่งมีค่ามีสูงกว่าสัดส่วนของไฟเบอร์กลาสผสมน้ำยาพาราซีน ที่ไม่ได้ผสมเส้นใยจากเปลือกทุเรียนคือ 751.09 เมกะปาสคาล จะเห็นได้ว่าเส้นใยจากเปลือกทุเรียนส่งผลให้ค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น เนื่องจากเป็นเส้นใยธรรมชาติที่มีคุณสมบัติเหนียวและเหนียว สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุทดแทนในวัสดุผสมของการทำไฟเบอร์กลาส และอาจศึกษาเส้นใยธรรมชาติประเภทอื่นที่มีคุณสมบัติคล้ายกับเส้นใยจากเปลือกทุเรียนเพื่อเป็นวัสดุทดแทนที่สามารถพัฒนาคุณสมบัติเชิงกลได้หลายด้านต่อไปในอนาคต

#### ปัญหาและอุปสรรคในการทำวิจัย

ในขั้นตอนการผสมไฟเบอร์กลาสผสมน้ำยาพาราซีน ไยแก้วและเส้นใยจากเปลือกทุเรียน บางสัดส่วน พบฟองอากาศเกิดขึ้นในชิ้นงานไฟเบอร์กลาส ซึ่งทำให้เกิดจุดที่ไม่แข็งแรง รวมถึงการรวมตัวกันของไฟเบอร์กลาสและน้ำยาพาราซีนเป็นเนื้อเดียวกันได้ค่อนข้างยาก

#### ข้อเสนอแนะ

1. ในการศึกษาครั้งต่อไปควรมีการศึกษาในส่วนของวิธีการลดฟองอากาศและสารช่วยการยึดเกาะระหว่างวัสดุผสม และทำให้เฟสของการยึดเกาะของวัสดุผสมเข้ากันได้ดี ซึ่งอาจจะช่วยลดฟองและจุดที่ไม่แข็งแรง ซึ่งจะส่งผลให้คุณสมบัติทางกลด้านต่างๆ ดีขึ้น
2. เส้นใยจากเปลือกทุเรียนสามารถพัฒนาคุณสมบัติความยืดหยุ่นของไฟเบอร์กลาสได้ดี เราสามารถนำเส้นใยจากเปลือกทุเรียนไปประยุกต์ใช้เป็นวัสดุทดแทนในวัสดุผสมการทำไฟเบอร์กลาสที่สามารถใช้งานและลดต้นทุนการผลิตได้
3. ไม่ควรทำในห้องที่บอบที่มีมีการไหลเวียนของอากาศ สถานที่ทำควรเป็นที่โปร่งโล่งอากาศถ่ายเทสะดวก และใส่หน้ากากป้องกันสารเคมี เนื่องจากเรซินมีกลิ่นฉุนรุนแรง

## บรรณานุกรม

- กรมเจรจาการค้าระหว่างประเทศ. (2563). [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : [https://api.dtn.go.th/files/v3/5e8d8de2ef414017d6406a9d/download#:~:text=7 เมษายน 2563](https://api.dtn.go.th/files/v3/5e8d8de2ef414017d6406a9d/download#:~:text=7%20เมษายน%202563).
- กองวิจัยเศรษฐกิจยาง. (2563). **สถานการณ์ยางพาราเดือนกันยายน (2562)**. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : [http://www.raot.co.th/ewt\\_dl\\_link.php?nid=5659](http://www.raot.co.th/ewt_dl_link.php?nid=5659). 7 เมษายน 2563.
- เชษฐถกุล ตำนานวัน, โสภณ บุญวัง. (2562). **การศึกษาสมบัติทางกลด้วยวิธีการทดสอบแรงดึง ของวัสดุพลาสติก PLA (Polylactic acid) จากกระบวนการพิมพ์ 3 มิติ**. งานวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- ถิราวุธ พงศ์ประยูร, ญัฐสพล เกียรติพานิช และจันทพร ผลากรกุล. (2546). **การพัฒนาและศึกษาคุณสมบัติเชิงกลและคุณสมบัติการไหลที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิตของเทอร์โมพลาสติกเสริมแรงที่เตรียมจากเส้นใยธรรมชาติ**. รายงานการวิจัยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- ปราโมทย์ วีรานุกูลและคณะ. (2554). **การใช้ดินขาวผสมกากมะพร้าวเส้นใยจากต้นข้าวโพดและเส้นใยจากเปลือกทุเรียนเพิ่มประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนและลดน้ำหนักในผนังคอนกรีตบล็อก**. งานวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.
- พงศธร กองแก้ว. (2559). **สมบัติเชิงกลของวัสดุผสมอีพ็อกซีเรซินแบบไฮบริดเสริมแรงด้วยเส้นใยรากหญ้าแฝกและเส้นใยเปลือกถั่วลิสง**. งานวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.
- พงษ์ธร แซ่ฮ้อย. (2554). **ยางพารา**. กรุงเทพฯ : ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค).
- พอพันธ์ สุทธิวัฒน์และคณะ. (2553). **การศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมระหว่างเส้นใยจากเปลือกทุเรียนกับน้ำยางพารา**. งานวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี.
- พิชิต เลี่ยมพิพัฒน์. (2542). **พลาสติก**. กรุงเทพฯ : มิตรนราการพิมพ์.
- พิพัฒน์ ไพศาลภาณุมาศ, เจตสุตา ชาญศร. (2558). **การศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบการพันกับค่าความแข็งแรงของถังไฟเบอร์กลาส**. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 18(3). 90-95.
- ไพศักดิ์ อัมมวิจยะ. (2550). **ปฏิบัติการฟิสิกส์เล่ม 1**. จันทบุรี : มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี.
- วิกิพีเดียสารานุกรมเสรี. (2555). **ทุเรียน**. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : [https://th.wikipedia.org/wiki/](https://th.wikipedia.org/wiki/ทุเรียน) 5 พฤษภาคม 2561.
- วิจิตรา เจริญชัย. (2543). **การศึกษาเส้นใยธรรมชาติเป็นวัสดุเสริมแรงในโพลีโพรพิลีน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ศรุต ศรีสันติสุข, และคนอื่นๆ. (2555, เมษายน). **การเปรียบเทียบความต้านทานแรงดึงของวัสดุคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยไผ่และคาร์บอนไฟเบอร์**. เอกสารเสนอต่อที่ประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. เชียงใหม่.
- อนุรักษ์ รอดบำรุง และคณะ. (2563). **การศึกษาคุณสมบัติเชิงกลในไฟเบอร์กลาสผสมน้ำยางพาราและเส้นใยธรรมชาติ**. งานวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี.
- อุกฤษฏ์ นาจำปา. (2558). **วัสดุกันกระแทกจากไฟเบอร์กลาสผสมยางพารา**. งานวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์.

All Art Center ออลอาร์ตเซ็นเตอร์. (ม.ป.ป.). **ชิ้นส่วนจากไฟเบอร์กลาส**. แหล่งที่มา :

<http://www.allartcenter.com>. 5 มกราคม 2561.

EUROLAB Laboratory. (ม.ป.ป.). **การทดสอบตามมาตรฐาน ASTM**. (ออนไลน์). แหล่งที่มา :

<https://www.laboratuar.com/th/testler/astm-testleri/astm-d638-plastik-cekme-ozellikleri-testi/>. 5 มิถุนายน 2565.



ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี



ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี



ภาคผนวก ก  
ตารางการบันทึกข้อมูล

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ตาราง ก1 ความต้านทานแรงดึง

ส่วนผสม (ใยแก้ว:ใยทุเรียน)	ค่าความต้านทานแรงดึง (เมกะปาสคาล)				
	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	เฉลี่ย
600:0	9.18	6.70	6.20	8.96	7.76
550:50	6.62	6.43	7.60	5.53	6.54
500:100	8.82	4.47	4.36	3.91	5.39
450:150	4.53	6.45	6.03	7.93	6.23
400:200	3.23	4.83	3.94	6.07	4.52

ตาราง ก2 ความต้านทานแรงดึงเฉลี่ย

ส่วนผสม (ใยแก้ว:ใยทุเรียน)	ค่าความต้านทานแรงดึงเฉลี่ย (เมกะปาสคาล)
600:0	7.76
550:50	6.54
500:100	5.39
450:150	6.23
400:200	4.52

ตาราง ก3 โหมดูลัสความยืดหยุ่น

ส่วนผสม (ใยแก้ว:ใยทุเรียน)	ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น (เมกะปาสคาล)				
	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	เฉลี่ย
600:0	1017.74	838.89	370.93	776.80	751.09
550:50	752.75	1407.89	798.35	561.74	880.18
500:100	896.81	575.80	371.43	832.76	669.20
450:150	867.28	938.70	998.93	1070.35	968.82
400:200	422.47	363.43	409.60	613.12	452.16

ตาราง ก4 โหมดูลัสความยืดหยุ่นเฉลี่ย

ส่วนผสม (ใยแก้ว:ใยทุเรียน)	ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นเฉลี่ย (เมกะปาสคาล)
600:0	751.09
550:50	880.18
500:100	669.20
450:150	968.82
400:200	452.16

ตาราง ก5 Strain at Break

ส่วนผสม (ใยแก้ว:ใยทุเรียน)	Strain at break				
	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	เฉลี่ย
600:0	0.0124	0.0130	0.0283	0.0146	0.0171
550:50	-	-	0.0146	0.0137	0.0142
500:100	0.0129	-	0.0156	0.0109	0.0131
450:150	0.0104	0.0091	0.0118	0.0156	0.0117
400:200	0.0118	0.0158	0.0168	0.0142	0.0146

ตาราง ก6 Strain at Break เฉลี่ย

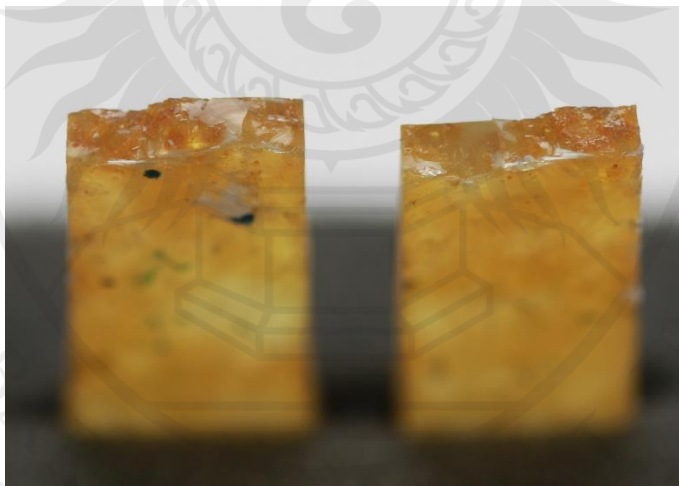
ส่วนผสม (ใยแก้ว:ใยทุเรียน)	ค่า Strain at Break (เฉลี่ย)
600:0	0.0171
550:50	0.0142
500:100	0.0131
450:150	0.0117
400:200	0.0146



ภาคผนวก ข  
การทดสอบความต้านทานแรงดึง

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ภาพประกอบ ข1 รอยขาดชิ้นงานที่สัดส่วน ใยแก้วต่อเส้นใยจากเปลือกทุเรียน ที่สัดส่วน 600:0  
กรัม / ตารางเมตร



ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ภาพประกอบ ข2 รอยขาดชิ้นงานที่สัดส่วน โยแก้วต่อเส้นใยจากเปลือกทุเรียน ที่สัดส่วน 550:50  
กรัม / ตารางเมตร



ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ภาพประกอบ ข3 รอยขาดชิ้นงานที่สัดส่วน ไยแก้วต่อเส้นใยจากเปลือกทุเรียน ที่สัดส่วน 500:100  
กรัม / ตารางเมตร



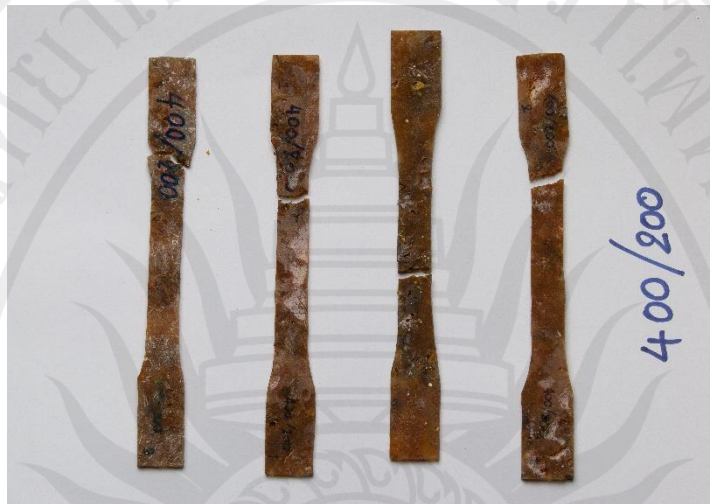
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ภาพประกอบ ข4 รอยขาดชิ้นงานที่สัดส่วน ไยแก้วต่อเส้นใยจากเปลือกทุเรียน ที่สัดส่วน 450:150  
กรัม / ตารางเมตร



ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ภาพประกอบ ข5 รอยขาดชิ้นงานที่สัดส่วน ไยแก้วต่อเส้นใยจากเปลือกทุเรียน ที่สัดส่วน 400:200  
กรัม / ตารางเมตร



ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี



ประวัติย่อผู้วิจัย

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

## ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ-ชื่อสกุล	นายวสันต์ วิเวโก
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 16 กันยายน พ.ศ.2521
สถานที่เกิด	อำเภอท่าใหม่ จังหวัดจันทบุรี
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 155 หมู่ 12 ตำบลเขาบายศรี อำเภอท่าใหม่ จังหวัดจันทบุรี 22120
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	ครู คศ.1
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	โรงเรียนบ้านจันทเขลม ตำบลจันทเขลม อำเภอเขาคิชฌกูฏ จังหวัดจันทบุรี 22210
ประวัติการศึกษา	
2535	มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนมัธยมวัดเขาสุกิม อำเภอท่าใหม่ จังหวัดจันทบุรี
2539	มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนเบญจมราชูทิศ อำเภอเมือง จังหวัดจันทบุรี
2542	ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง โรงเรียนเทคโนโลยีทีพีไอ อำเภอเมือง จังหวัดระยอง
2547	ปริญญาตรี สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จังหวัดจันทบุรี
2554	ประกาศนียบัตรบัณฑิต วิชาชีพครู คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จังหวัดจันทบุรี
2564	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีอุตสาหกรรม) มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จังหวัดจันทบุรี