

วัสดุเชิงประกอบจากเส้นใยจากมูลม้าและมูลช้าง

COMPOSITE MATERIALS FROM HORSE AND ELEPHANT
MANURE FIBERS



ทศพร ฤทธิ์คำรพ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ
คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2564

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

วัสดุเชิงประกอบจากเส้นใยจากมูลม้าและมูลช้าง

ทศพร ฤทธิ์คำรพ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2564
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์ วัสดุเชิงประกอบจากเส้นใยจากมูลม้าและมูลช้าง
Composite Materials from Horse and Elephant Manure Fibers
ชื่อ - นามสกุล นายทศพร ฤทธิ์คำรพ
สาขาวิชา วิศวกรรมวัสดุ
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุนนมาลย์ เนียมกลาง, Ph.D.
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิมลพรรณ เนียมกลาง, Ph.D.
ปีการศึกษา 2564

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....
ฉัตรชัย วีระนิติสกุล ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ฉัตรชัย วีระนิติสกุล, Ph.D.)

.....
กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์นพวรรณ ปาระดี, วท.ด.)

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

.....
กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิมลพรรณ เนียมกลาง, Ph.D.)

.....
กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุนนมาลย์ เนียมกลาง, Ph.D.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวกร อ่างทอง, Ph.D.)
วันที่ 3 เดือน ธันวาคม พ.ศ. 2564

หัวข้อวิทยานิพนธ์	วัสดุเชิงประกอบจากเส้นใยจากมูลม้าและมูลช้าง
ชื่อ-นามสกุล	นายทศพร ฤทธิ์คำรพ
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุนนมาลย์ เนียมกลาง, Ph.D
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิมพ์พรรณ เนียมกลาง, Ph.D
ปีการศึกษา	2564

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเส้นใยจากมูลม้าและเส้นใยจากมูลช้าง สำหรับใช้เป็นสารเสริมแรงในวัสดุเชิงประกอบเส้นใยจากมูลม้าและช้างนั้นเป็นเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพผิวโดยกระบวนการย่อยของสัตว์ซึ่งไม่ผ่านกระบวนการทางเคมี ซึ่งเป็นทางเลือกที่น่าสนใจสำหรับกระบวนการผลิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

เส้นใยจากมูลม้า (Horse manure fiber; HMF) และมูลช้าง (Elephant manure fiber; EMF) ถูกเตรียมโดยการนำมาล้าง อบให้แห้ง แยกขนาดผ่านตะแกรงร่อน และนำเส้นใยที่ได้มาปรับสภาพผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (4% w/w) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (Treated horse manure fiber; THMF, Treated elephant manure fiber; TEMF) หล้าเนเปียซึ่งเป็นหนึ่งในชนิดของอาหารม้าและช้างถูกนำมาเป็นตัวอย่างเส้นใยก่อนผ่านกระบวนการย่อยในกระเพาะอาหารของสัตว์ทั้ง 2 ชนิด (Natural Fiber; NF) สมบัติทางเคมีของเส้นใย NF, HMF, EMF, THMF และ TEMF ถูกตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FT-IR spectroscopy และศึกษาโครงสร้างผลึกด้วยเทคนิค X-Ray Diffraction พบว่าปริมาณเซลล์ลูโลสของเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิว (THMF, TEMF) มีปริมาณสูงกว่าเส้นใยจากมูลสัตว์ (HMF, EMF) เล็กน้อย และมีปริมาณสูงกว่าเส้นใย NF ตามลำดับ เมื่อศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบว่าผิวของเส้นใย HMF, EMF, THMF และ TEMF มีความขรุขระใกล้เคียงกัน เส้นใยจากมูลม้าและมูลช้าง (HMF, EMF) มีศักยภาพที่จะใช้เป็นสารเสริมแรงในวัสดุเชิงประกอบซึ่งสามารถลดการปรับปรุงผิวด้วยสารละลายต่างโดยมูลสัตว์ทั้ง 2 ชนิด ถูกนำมาผสมกับพอลิโพรพิลีน และพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง ในสัดส่วน 10, 20, 30, 40 และ 50 phr ด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง และขึ้นรูปเป็นแผ่นโดยเครื่องอัดเข้าแบบไฮดรอลิก ผลจากการทดสอบเชิงกลพบว่าค่ามอดุลัสของยังก์ เพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของเส้นใยที่เพิ่มขึ้น โดยความต้านทานต่อแรงกระแทกและความแข็งเกร็ง มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างไม่มีนัยสำคัญ

ดังนั้นเส้นใยจากมูลสัตว์จึงเป็นทางเลือกสำหรับใช้เป็นสารเสริมแรงในวัสดุเชิงประกอบที่มีกระบวนการเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

คำสำคัญ มูลม้า มูลช้าง การปรับสภาพผิวด้วยต่าง เส้นใยเซลลูโลส เส้นใยธรรมชาติ

Thesis Title Composite Materials from Horse and Elephant Manure Fibers
Name-Surname Mr. Tossapon Ritkumrop
Program Materials Engineering
Thesis Advisor Assistant Professor Sumonman Niamlang, Ph.D.
Thesis Co-advisor Assistant Professor Pimolpun Niamlang, Ph.D.
Academic Year 2021

ABSTRACT

This research aimed to study the physical and chemical properties of horse manures fibers (HMF) and elephant manures fibers (EMF) to use as reinforcement fiber in composites. Fiber from horse and elephant manures was treated by digestion process without chemical process which is environmental friendly.

The horse manure fiber (HMF) and elephant manure fiber (EMF) were washed, dried, and sieved. The cleaned HFM and EFM were treated by sodium hydroxide solution (4 % w/w) for 24 hrs. Napier grass fiber, feeding resource for both horse and elephant, was selected as a sample fiber before digestion process in the stomachs of two animals. (Natural Fiber; NF) The functional group and crystallinity of NF, HMF, EMF, treated HMF (THMF) and treated EMF (TEMF) were characterized by FT-IR spectroscopy and X-Ray diffractometer, respectively. The amount of cellulose of treated fiber (THMF, TEMF) was a little bit higher than fiber from animal manual (HMF, EMF) and higher than NF, respectively. Surface morphology was studied by scanning electron microscopy. The surface roughness was observed on HMF, EMF, THMF and TEMF surface. Thus, HMF and EMF have potential to be used as a natural treated fiber by reducing an alkali treatment process. To study the possibility of using animal manure fiber as reinforcement in polypropylene (PP) and high density polyethylene (HDPE), HFM and EFM were mixed with polymer matrix (10, 20, 30, 40 and 50 phr) by two roll mills and fabricated by compression molding. The mechanical properties of animal manure fiber/polymer composite were studied. The Young's modulus of composite increased with increasing amount of animal manure fiber. However, the amount of fiber did not affect the hardness and impact strength of composite.

Therefore, manure fiber is an alternative for being used as reinforcing agent in environmentally friendly composite.

Keywords: horse manure, elephant manure, alkali treatment, cellulose fiber, natural fiber

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาจัดทำวิทยานิพนธ์ ฉบับนี้สำเร็จอย่างสมบูรณ์ได้ด้วยความรู้ และความสามารถของบุคคลต่าง ๆ ดังนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุมนมาลย์ เนียมกลาง อาจารย์ที่ปรึกษาที่เสียสละเวลาให้คำแนะนำ และให้ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ จนวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิมลพรรณ เนียมกลาง อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมที่เสียสละเวลาให้คำแนะนำ และให้ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ จนวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรชัยวีระนิติสกุลประธานกรรมการสอบและกรรมการสอบ ดร. ณรงค์ชัย โอเจริญ ประธานหลักสูตรคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีและผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพวรรณ ปาระตี คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีที่ได้ให้ความกรุณาให้คำแนะนำการแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ บุคคลหลายฝ่ายของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้ความช่วยเหลือ แนะนำแนวทางและข้อเสนอแนะทางวิชาการที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตศาลายา ที่คอยอำนวยความสะดวกทางด้านอุปกรณ์และสถานที่ในการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ รุ่นพี่นักศึกษาปริญญาเอก และเพื่อนทุกท่านที่ให้คำชี้แนะ และให้ความช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้จนประสบความสำเร็จด้วยดี

ขอขอบพระคุณ บิดามารดา ผู้ให้การสนับสนุนทุก ๆ ด้านอย่างไม่เคยเหน็ดเหนื่อย และคอยเป็นกำลังใจให้เสมอมา

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า วิทยานิพนธ์เล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจ หากวิทยานิพนธ์นี้ขาดตกบกพร่อง หรือไม่สมบูรณ์ประการใด ผู้วิจัยขอกราบอภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

ทศพร ฤทธิ์คำรพ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อไทย.....	(3)
บทคัดย่ออังกฤษ.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญตาราง.....	(9)
สารบัญภาพ.....	(10)
บทที่ 1 บทนำ.....	14
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	14
1.2 วัตถุประสงค์.....	16
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	17
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	17
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	18
2.1 เส้นใยจากธรรมชาติ.....	18
2.2 วิธีการดัดแปลงพื้นผิวของเส้นใยธรรมชาติ.....	19
2.2.1 การดัดแปลงพื้นผิวเส้นใยด้วยวิธีการทางเคมี (Chemical methods).....	19
2.2.2 การดัดแปลงพื้นผิวเส้นใยด้วยวิธีการทางกล (Physical methods).....	20
2.3 มุลม่า.....	21
2.4 มุลซ้าง.....	21
2.5 คอมโพสิต.....	22
2.6 กระบวนการขึ้นรูปวัสดุคอมโพสิต.....	22
2.6.1 การเตรียมพลาสติกเพื่อการขึ้นรูป.....	23
2.7 กระบวนการอัดขึ้นรูป.....	23
2.8 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ.....	24
2.8.1 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค (Fourier transform Infrared Spectroscopy ; FT-IR Spectrum).....	24
2.8.2 วิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิค (X-ray Diffractometer ; XRD).....	25

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.8.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope / SEM).....	26
2.9 ทางทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุ.....	27
2.9.1 การทดสอบแรงดึง (Tensile strength).....	27
2.9.2 การทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก (Impact Test).....	28
2.9.3 การทดสอบความแข็ง (Hardness).....	30
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	31
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	35
3.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน.....	35
3.1.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	35
3.2 วัสดุ เครื่องมือ และเครื่องจักรที่ใช้ในการทดลอง.....	37
3.2.1 เส้นใยที่ใช้ในการทดลอง.....	37
3.2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	38
3.2.3 กระบวนการขึ้นรูปวัสดุคอมโพสิต.....	49
3.2.4 เครื่องทดสอบที่ใช้ในการทดลอง.....	40
บทที่ 4 ผลและการวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน.....	45
4.1 สมบัติของเส้นใย.....	45
4.1.1 เส้นใยจากหญ้าเนเปีย.....	45
4.2 เส้นใยมูลม้า.....	46
4.2.1 เส้นใยจากมูลม้าที่มีการปรับสภาพผิวด้วยกระบวนการ Alkalinization..	46
4.2.2 การทดสอบสมบัติทางกายภาพและเคมีของเส้นใยมูลม้า.....	47
4.3 สมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบจากมูลม้า.....	50
4.3.1 วัสดุคอมโพสิตพอลิพอพิลีนผสมมูลม้า (HMF / Polypropylene Composite).....	50
4.3.2 High Density Polyethylene (HDPE) พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงคอมโพสิตกับเส้นใยจากมูลม้า (HMF).....	53
4.4 เส้นใยมูลช้าง.....	55
4.4.1 เส้นใยจากมูลช้างที่มีการปรับสภาพผิวด้วยกระบวนการ Alkalinization	56
4.4.2 การทดสอบสมบัติทางกายภาพและเคมีของเส้นใยมูลช้าง.....	57

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.5 สมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบจากมูลช้าง.....	60
4.5.1 Polypropylene (PP) พอลิโพรพิลีนคอมโพสิตกับเส้นใยจากมูลช้าง (EMF).....	60
4.5.2 High Density Polyethylene (HDPE) พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงคอมโพสิตกับเส้นใยจากมูลช้าง (EMF).....	62
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	66
5.1 ผลการทดสอบทางกายภาพของเส้นใยจากมูลม้า.....	66
5.2 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตพอลิเมอร์ผสมเส้นใยจากมูลม้า.....	66
5.2.1 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตพอลิโพรพิลีนผสมมูลม้า (PP/HMF).....	66
5.2.2 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงผสมมูลม้า (HDPE/HMF).....	67
5.3 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของมูลช้าง.....	67
5.4 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตพอลิเมอร์ผสมเส้นใยจากมูลช้าง....	67
5.4.1 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตพอลิโพรพิลีนผสมมูลช้าง (PP/EM).....	67
5.4.2 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงผสมมูลช้าง (HDPE/EMF).....	68
5.5 ข้อเสนอแนะ.....	68
บรรณานุกรม.....	69
ภาคผนวก.ก.....	74
ภาคผนวก.ข.....	99
ประวัติผู้เขียน.....	115

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ประเภทห้วงกตที่ใช้ในการทดสอบความแข็ง.....	30
ตารางที่ 2.2 แสดงการต้านแรงดึงของเส้นใยปอแก้วผสมกับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง.....	32
ตารางที่ 2.3 แสดงการต้านแรงดัดงอของเส้นใยปอแก้วผสมกับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง.	33
ตารางที่ 4.1 FT-IR Spectrum ของมูลม้า.....	47
ตารางที่ 4.2 FT-IR Spectrum ของมูลช้าง.....	57



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1	โครงสร้างเส้นใยจากธรรมชาติ..... 19
รูปที่ 2.2	เครื่องผสมแบบ 2 ลูกกลิ้ง (two-roll mill)..... 23
รูปที่ 2.3	เครื่องกดอัด (Compression moulding machine)..... 24
รูปที่ 2.4	ส่วนประกอบหลักของเครื่องกดอัด..... 24
รูปที่ 2.5	เครื่องวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมี Fourier Transform Infrared Spectro photometer, FT-IR Spectrum 25
รูปที่ 2.6	เครื่องวิเคราะห์โครงสร้างผลึก X-ray diffractometer, XRD..... 26
รูปที่ 2.7	แสดงส่วนประกอบการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด..... 27
รูปที่ 2.8	การทดสอบแรงดึง (Universal testing machine)..... 28
รูปที่ 2.9	เครื่องทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก (Impact Test)..... 28
รูปที่ 2.10	ลักษณะรูปแบบชิ้นงานทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก..... 29
รูปที่ 2.11	เครื่องบากชิ้นงาน (Nothing)..... 29
รูปที่ 2.12	เครื่องทดสอบแบบ Shore Durometer..... 31
รูปที่ 2.13	แสดงการต้านแรงดึงของเส้นใยปานสรนารายณ์กับ พอลิเอทิลีนที่มีค่าความ หนาแน่นสูง และพอลิเอทิลีนที่มีค่าความหนาแน่นสูงรีไซเคิล โดยการปรับสภาพ ผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์..... 32
รูปที่ 2.14	แสดงการต้านแรงดึงและแรงกระแทกของเส้นใยจากเปลือกข้าวโพด..... 33
รูปที่ 3.1	แสดงขั้นตอนการปฏิบัติงาน..... 36
รูปที่ 3.2	เส้นใยมูลม้า..... 38
รูปที่ 3.3	เส้นใยมูลช้าง..... 38
รูปที่ 3.4	เครื่องชั่งน้ำหนักที่มีความละเอียดทศนิยม 3 ตำแหน่ง..... 39
รูปที่ 3.5	เครื่องอบไล่ความชื้น..... 39
รูปที่ 3.6	เครื่องผสม (Mixer) หรือ เครื่องคอมปาวด์ (Compounding)..... 40
รูปที่ 3.7	เครื่องกดอัด (Compression moulding machine)..... 40

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.8 เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FT-IR Spectrum).....	41
รูปที่ 3.9 เครื่อง X-ray diffractometer (XRD).....	41
รูปที่ 3.10 เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM).....	42
รูปที่ 3.11 เครื่องเคลือบตัวอย่าง (Sample Coater).....	42
รูปที่ 3.12 เครื่อง Universal testing machine สำหรับการทดสอบแรงดึง.....	43
รูปที่ 3.13 เครื่องทดสอบความแข็ง.....	43
รูปที่ 3.14 เครื่องทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก.....	44
รูปที่ 4.1 เส้นใยจากหญ้าเนเปีย.....	45
รูปที่ 4.2 เส้นใยจากมูลม้า.....	46
รูปที่ 4.3 เป็นภาพของเส้นใยของมูลม้าที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยสารเคมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 2% w/w (ก) 4% w/w (ข) 6% w/w (ค) 8% w/w (ง) ที่เวลา 24 ชั่วโมง.....	46
รูปที่ 4.4 FT-IR Spectrum ของ เส้นใยจากมูลม้าที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารเคมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 2 4 6 8 % w/w ที่เวลา 24 ชั่วโมง (THMF)	48
รูปที่ 4.5 FT-IR Spectrum ของเส้นใยธรรมชาติ (NF) เส้นใยจากมูลม้า (HMF) และเส้นใยจากมูลม้า ที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารเคมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 4 %w/w ที่เวลา 24 ชั่วโมง (THMF).....	48
รูปที่ 4.6 XRD pattern ของเส้นใยธรรมชาติ (NF) เส้นใยจากมูลม้า (HMF) และเส้นใยจากมูลม้าที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารเคมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 4 % w/w ที่เวลา 24 ชั่วโมง (THMF).....	49
รูปที่ 4.7 สัณฐานวิทยาของ เส้นใยเนเปีย (ก) เส้นใยจากมูลม้า (ข) เส้นใยจากมูลม้าที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยสารเคมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4% w/w ที่เวลา 24 ชั่วโมง (ค).....	50
รูปที่ 4.8 Tensile Strength (MPa) ของพอลิโพรพิลีนคอมโพสิตกับเส้นใยจากมูลม้า (PP-HMF) โดยการผสมเส้นใยมูลม้าปริมาณที่ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 phr.....	51

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.9 Young's Modulus (MPa) ของพอลิโพรพิลีนคอมโพสิตกับเส้นใยจากมูลม้า (PP-HMF) โดยการผสมเส้นใยมูลม้าปริมาณที่ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 phr	51
รูปที่ 4.10 Impact strength (kJ/m ²) ของพอลิโพรพิลีน (PP-HMF) โดยการผสมเส้นใยมูลม้าปริมาณที่ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 phr.....	52
รูปที่ 4.11 Hardness ของพอลิโพรพิลีน (PP-HMF) โดยการผสมเส้นใยจากมูลม้าปริมาณที่ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 phr.....	52
รูปที่ 4.12 Tensile Strength (MPa) ของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงคอมโพสิตกับเส้นใยจากมูลม้า (HDPE-HMF) โดยการผสมเส้นใยมูลม้าปริมาณที่ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 phr.....	53
รูปที่ 4.13 Young's Modulus (MPa) ของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงคอมโพสิตกับเส้นใยจากมูลม้า (HDPE-HMF) โดยการผสมเส้นใยมูลม้าปริมาณที่ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 phr.....	54
รูปที่ 4.14 Impact strength (kJ/m ²) ของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE-HMF) โดยการผสมเส้นใยจากมูลม้าปริมาณที่ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 phr.....	54
รูปที่ 4.15 Hardness ของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE-HMF) โดยการผสมเส้นใยจากมูลม้าปริมาณที่ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 phr.....	55
รูปที่ 4.16 เส้นใยที่ได้จากมูลช้าง.....	55
รูปที่ 4.17 เป็นภาพของเส้นใยจากมูลช้างที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารเคมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น w/w (ก) 4% w/w (ข) 6% w/w (ค) 8% w/w (ง) ที่เวลา 24 ชั่วโมง.....	56
รูปที่ 4.18 FT-IR Spectrum ของเส้นใยจากมูลช้างที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารเคมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 2 4 6 8 % w/w ที่เวลา 24 ชั่วโมง (TEMF)....	57
รูปที่ 4.19 FT-IR Spectrum ของเส้นใยธรรมชาติ (NF) เส้นใยจากมูลช้าง (EMF) และเส้นใยจากมูลช้างที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารเคมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 4 %w/w ที่เวลา 24 ชั่วโมง (TEMF).....	58

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.20 XRD pattern ของเส้นใยธรรมชาติ (NF) เส้นใยจากมูลช้าง (EMF) และเส้นใยจาก มูลช้างที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารเคมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 4 % w/w ที่เวลา 24 ชั่วโมง (TEMF).....	59
รูปที่ 4.21 สัณฐานวิทยาของ เส้นใยเนเปีย (ก) เส้นใยจากมูลช้าง (ข) เส้นใยจากมูลช้างที่ผ่าน การปรับสภาพผิวด้วยสารเคมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4% w/w ที่เวลา 24 ชั่วโมง (ค).....	60
รูปที่ 4.22 Tensile Strength (MPa) ของพอลิโพรพิลีนคอมโพสิตกับเส้นใยจากมูลช้าง (PP- EMF) โดยการผสมเส้นใยมูลช้างปริมาณที่ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 phr	60
รูปที่ 4.23 Young's Modulus (MPa) ของพอลิโพรพิลีนคอมโพสิตกับเส้นใยจากมูลช้าง (PP-EMF) โดยการผสมเส้นใยมูลช้างปริมาณที่ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 phr.	61
รูปที่ 4.24 Impact strength (kJ/m ²) ของพอลิโพรพิลีน (PP-EMF) โดยการผสมเส้นใยจาก มูลช้างปริมาณที่ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 phr.....	61
รูปที่ 4.25 Hardness ของพอลิโพรพิลีน (PP-EMF) โดยการผสมเส้นใยมูลช้างปริมาณที่ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 phr.....	62
รูปที่ 4.26 Tensile Strength (MPa) ของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE-EMF) โดย การผสมเส้นใยมูลช้างปริมาณที่ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 phr.....	63
รูปที่ 4.27 Young's Modulus (MPa) ของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงคอมโพสิตกับเส้นใย จากมูลช้าง (HDPE-EMF) โดยการผสมเส้นใยมูลช้างปริมาณที่ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 phr.....	63
รูปที่ 4.28 Impact strength (kJ/m ²) ของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE-EMF) โดย การผสมเส้นใยมูลช้างปริมาณที่ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 phr.....	64
รูปที่ 4.29 Hardness ของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE-EMF) โดยการผสมเส้นใย มูลช้างปริมาณที่ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 phr.....	65

บทที่ 1

บทนำ

วิทยานิพนธ์นี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาผลของการเติมเส้นใยจากมูลม้า และมูลช้างซึ่งผ่านกระบวนการปรับปรุงพื้นผิวโดยกระบวนการธรรมชาติในสัตว์ สำหรับใช้เป็นเส้นใยในวัสดุคอมโพสิตในวัสดุเนื้อเทอร์โมพลาสติกหลายประเภท เพื่อสร้างต้นแบบวัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและใช้กระบวนการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันวัสดุธรรมชาติ มีบทบาทสำคัญในการขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบหรือเรียกอีกอย่างว่าวัสดุคอมโพสิต (Composite material) [1-6] เพื่อผลิตชิ้นส่วนอุตสาหกรรมบางชนิดให้สามารถใช้งานได้เทียบเท่ากับวัสดุเสริมแรงด้วยเส้นใยสังเคราะห์ เช่น เส้นใยแก้ว เส้นใยคาร์บอน [7,8] ซึ่งเส้นใยสังเคราะห์นั้นมีต้นทุนและใช้เชื้อเพลิงในการผลิตค่อนข้างมาก ทำให้ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) มากตามไปด้วย ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมในอากาศ ดังนั้นจึงได้ศึกษาการขึ้นรูปคอมโพสิตเพื่อที่จะสามารถเลือกใช้วัสดุจากธรรมชาติประเภทต่างๆ อาทิ เช่น เส้นใยมะพร้าว (Coir fibers) เส้นใยสับปะรด (Pineapple fibers) เส้นใยปอ (Sisal fibers) เส้นใยอะรามิด (Aramid fibers) [9-11] มาทำการขึ้นรูปวัสดุ เพื่อต้องการพัฒนาและขจัดปัญหาในข้อจำกัดการนำวัสดุธรรมชาติมาใช้ให้สามารถผลิตชิ้นส่วนได้สมบัติเชิงกลตรงตามที่ต้องการ การผลิตต้องการ โดยมีปัจจัยที่จะต้องพิจารณาที่สำคัญได้แก่ ความแข็งแรงทนทานต่อการดัดงอ รอยแตกแยก เสียหายจากการกัดกร่อนอันเกิดจากความชื้น โดยสมบัติเหล่านี้ควรมีค่าเทียบเท่าหรือมากกว่าวัสดุสังเคราะห์ สามารถลดต้นทุนในการผลิตสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม [12-13]

ปัจจุบันมีการใช้วัสดุคอมโพสิตในอุตสาหกรรม เช่น ชิ้นส่วนยานยนต์ พาหนะอากาศยานอุปกรณ์กีฬา การแข่งขัน อุปกรณ์สวมใส่ ชุดเกราะ วัสดุก่อสร้าง โครงสร้างอาคาร เนื่องจากสภาพปัญหาสิ่งแวดล้อมและมลพิษทำให้หน่วยงานองค์กรต่างๆ ให้ความสำคัญกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น ผลจากสภาวะของโลกที่เปลี่ยนแปลงไป การนำวัสดุจากธรรมชาติมาใช้จึงมีบทบาทเพิ่มมากขึ้น วัสดุจากเส้นใยธรรมชาติ เป็นแนวทางที่สำคัญถูกนำมาใช้เป็นวัสดุพอลิเมอร์คอมโพสิต (Polymer composite) แบ่งชนิดของวัสดุพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ใช้ในอุตสาหกรรมได้ 2 ประเภท

1. คอมโพสิตจากวัสดุสังเคราะห์ ได้แก่ เส้นใยที่มนุษย์สังเคราะห์ขึ้นจากสารอนินทรีย์หรือสารอินทรีย์ใช้ทดแทนเส้นใยจากธรรมชาติ แบ่งเป็น 3 ประเภท

1.1 เส้นใยพอลิเอสเตอร์ เช่น เทโทรอน ใช้บรรจุในหมอน เพราะมีความยืดหยุ่นไม่เป็นอันตรายต่อผิวหนัง สำหรับตาครอน (Dacron) เป็นเส้นใยสังเคราะห์พอลิเอสเตอร์อีกชนิดหนึ่ง ซึ่งเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Mylar มีประโยชน์ทำเส้นใยทำเชือก และฟิล์ม

1.2 เส้นใยอะคริลิก เช่น ออร์โซใช้ในการทำเสื้อผ้า ผ้านวม ผ้าขนแกะเทียม ร่มชายหาด หลังคากันแดด ผ้าม่าน พรหม เป็นต้น

1.3 เซลลูโลสแอซีเตด เป็นพอลิเมอร์ที่เตรียมได้จากการใช้เซลลูโลสทำปฏิกิริยากับกรดอะซิติกเข้มข้น โดยมีกรดซัลฟูริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา การใช้ประโยชน์จากเซลลูโลสอะซีเตด เช่น ผลิตเป็นเส้นใยอาร์แนล 60 ผลิตเป็นแผ่นพลาสติกที่ใช้ทำแผงสวิตช์และหุ้มสายไฟ

2. คอมโพสิตจากวัสดุธรรมชาติ เช่น เส้นใยยูคาลิปตัส ไยถั่วชง หย้าแฝก ไยไผ่ เส้นใยจากไม้ ยางพารา ไยปอ ป่านศรนารายณ์ เส้นใยผักตบชวา ไยสับปะรด ไยกล้วย เป็นต้น วัสดุคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยธรรมชาติ (Natural fiber reinforced composite) เป็นอีกหนึ่งวัสดุที่ได้รับความสนใจในยุค Circular economy สำหรับการนำไปใช้เป็นวัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เช่น การทำไม้เทียมคอมโพสิตพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยมะพร้าว [14] การทำโฟมคอมโพสิตพอลิยูรีเทนโฟมผสมเส้นใยจากธรรมชาติ [15] และยางคอมโพสิตเส้นใยปอกระเจาะ [16] เป็นต้น

ด้วยความไม่เข้ากันจากโครงสร้างทางเคมีของเส้นใยธรรมชาติ และวัสดุเนื้อเทอร์โมพลาสติก ทำให้ต้องมีการปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีต่างๆ ได้แก่ แต่วิธีที่นิยมที่สุดคือวิธี Alkalization ซึ่งกระบวนการเหล่านี้จะเพิ่มสมบัติระหว่างเส้นใยและวัสดุได้ กระบวนการปรับปรุงด้วยวิธี Alkalization นั้น การปรับสภาพเส้นใยด้วยด่างมักใช้ NaOH ซึ่งช่วยปรับสภาพเส้นใยธรรมชาติโดยการ กำจัดลิกนินและเอมิเซลลูโลส ซึ่งมีโครงสร้างเป็นอสัณฐาน (Amorphous) ทำหน้าที่ยึดเกาะ เซลลูโลสมีโครงสร้างเป็นผลึกไว้ นอกจากนี้ยังทำลายพันธะระหว่างโมเลกุลของเซลลูโลสช่วยให้ เส้นใยกระจายตัวดีขึ้น โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น คือ ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่หมู่เอสเตอร์ที่ลิกนิน ทำให้โครงสร้างของลิกนินเล็กลงและเปลี่ยนไปไฮดรอกซิล (hydroxyl group) และคาร์บอกซิล (carboxyl group) ซึ่งมีความสามารถในการละลายน้ำได้ดีขึ้น นอกจากนี้ยังเข้าไปทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่หมู่ไฮดรอกซิลระหว่างโมเลกุลของ เอมิเซลลูโลส และเซลลูโลสด้วย ทำให้เอมิเซลลูโลสละลายออกมาและเส้นใยเซลลูโลสกระจายตัวออก[17,18] แต่อย่างไรก็ตาม การใช้สารเคมีในกระบวนการนั้นก็เป็นการสร้างมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม และเป็นการเพิ่มต้นทุนในการจัดการสารเคมี

กระบวนการย่อยในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมที่กินพืชชั้น สามารถปรับปรุงผิวของเส้นใยได้เช่นกัน อีกทั้งเป็นกระบวนการปรับปรุงพื้นผิวด้วยกระบวนการธรรมชาติ การนำเส้นใยจากมูลสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจในงานคอมโพสิต เนื่องจากลดกระบวนการที่ไม่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมออกไปในการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยธรรมชาติ

ม้าและช้างเป็นสัตว์ที่มีการเลี้ยงในประเทศไทย และการใช้มูลในเชิงการค้ายังไม่เป็นที่นิยม ทำให้ผู้เลี้ยงไม่ต้องเสียเงินในการจัดการมูลเหล่านั้น และเป็นการนำมูลม้าและมูลช้างมาใช้ประโยชน์ จึงถือว่าการเพิ่มมูลค่าและลดค่าใช้จ่ายในการบริหารจัดการด้านสิ่งแวดล้อมด้วย

มูลม้าจัดเป็นมูลที่มีเส้นใยสูงเนื่องจากม้าจัดเป็นสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมที่กินพืชที่มีกระเพาะเดี่ยว (Single stomach) มีการย่อยสลายภายในกระเพาะเพียง 50 เปอร์เซ็นต์ และมีขนาดที่เล็กมาก และช้างเป็นสัตว์ที่มีกระเพาะอาหารสองกระเพาะ แต่สามารถย่อยอาหารได้แค่ 40 เปอร์เซ็นต์ จึงทำให้ยังคงเหลือเส้นใยอยู่ภายในมูลม้า และมูลช้างเป็นจำนวนมาก จึงเป็นอีกทางเลือกที่จะนำเส้นใยที่ได้จากมูลม้าและมูลช้างมาผสมลงในพลาสติก เพื่อเพิ่มสมบัติเชิงกลให้กับพลาสติกในการนำไปใช้หรือทำเป็นผลิตภัณฑ์ เทอร์โมพลาสติกประเภทพอลิโอเลฟิน เช่น พอลิโพรพิลีน (Polypropylene, PP) และพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene, HDPE) เป็นพลาสติกที่มีการใช้อย่างแพร่หลายในชีวิตประจำวัน เช่น กล่องเครื่องมือ กระเป๋า ปกแฟ้มเอกสาร กล่องและตลับเครื่องสำอาง กล่องบรรจุอาหาร อุปกรณ์ของรถยนต์ เครื่องใช้ในครัวเรือน ดังนั้นขยะจากพอลิโพรพิลีน พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง และสามารถปรับปรุงสมบัติให้ดีขึ้นสำหรับเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่เหมาะสมได้ด้วยการเติมสารเติมแต่งหรือสารเสริมแรงลงไป ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาการใช้เส้นใยที่ได้จากมูลม้าและมูลช้างนำมาเสริมแรงในพลาสติกพอลิโพรพิลีน (Polypropylene, PP) และพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene, HDPE) รวมถึงการศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เพื่อเป็นแนวทางในการขึ้นรูปวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบสมบัติทางเคมีและกายภาพของเส้นใยที่ไม่ผ่านกระบวนการปรับปรุงพื้นผิว เส้นใยจากมูลสัตว์ (ม้าและช้าง) และเส้นใยมูลสัตว์ (ม้าและช้าง) ที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธี Alkalization

1.2.2 เพื่อศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตของปริมาณเส้นใยมูลม้าและช้างที่เติมในเมทริกซ์

1.2.3 เพื่อศึกษาผลของเมทริกซ์ต่อวัสดุคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยจากมูลสัตว์ (ม้าและช้าง)

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 เตรียมเส้นใยที่เป็นอาหารสัตว์ (เส้นใยที่ไม่ผ่านกระบวนการปรับปรุงพื้นผิว) เส้นใยจากมูลสัตว์ (ม้าและช้าง) และเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธี Alkalization ด้วยสารละลาย Sodium Hydroxide ที่ความเข้มข้น 2 4 6 8 10 % w/w เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง

1.3.2 ขึ้นรูปวัสดุคอมโพสิตแบบเส้นใยสั้นจากเส้นใยมูลม้า และมูลช้างเสริมแรงในพอลิโพรพิลีน (Polypropylene, PP) และพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene, HDPE) ปริมาณการเติมเส้นใยโดย 10 20 30 40 50 phr

1.3.3 ตรวจสอบโครงสร้างระดับจุลภาคของวัสดุคอมโพสิตเส้นใยมูลม้า และมูลช้างเสริมแรงในพอลิโพรพิลีน (Polypropylene, PP) และพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene, HDPE)

1) ตรวจสอบด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR Spectroscopy)

2) ตรวจสอบด้วยเครื่อง X-Ray Diffractometer (XRD)

3) ตรวจสอบด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)

1.3.4 ทดสอบสมบัติทางกลวัสดุคอมโพสิตเส้นใยมูลม้า และมูลช้างเสริมแรงในพอลิโพรพิลีน (Polypropylene, PP) และพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene, HDPE)

1) ทดสอบแรงดึง ASTM D 638

2) ทดสอบแรงกระแทก ASTM D 256 Izod

3) ทดสอบความแข็ง ASTM D 2240

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้วัสดุคอมโพสิตที่ใช้พอลิโพรพิลีน และพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง เป็นวัสดุเนื้อพื้น และเส้นใยมูลม้าและมูลช้างทำหน้าที่วัสดุเสริมแรง

1.4.2 ได้รู้สถานะการขึ้นรูปเทอร์โมพลาสติกเพื่อให้ได้วัสดุคอมโพสิตจากเส้นใยมูลม้าและมูลช้างเสริมแรงในวัสดุเนื้อพื้นพอลิโพรพิลีน และพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง

1.4.3 ได้รู้สมบัติทางกลของวัสดุคอมโพสิตจากเส้นใยมูลม้าและมูลช้างเสริมแรงในวัสดุเนื้อพื้นพอลิโพรพิลีน และพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เพื่อศึกษาผลของเส้นใยที่ได้จากมูลสัตว์ (ม้าและช้าง) ต่อวัสดุคอมโพสิต เพื่อเป็นแนวทางในการดำเนินงานรวมทั้งเป็นแนวทางสำหรับการวิเคราะห์ผลการทดลองของการขึ้นรูปวัสดุคอมโพสิตแบบเส้นใยสั้นจากเส้นใยมูลม้าและมูลช้าง เสริมแรงในพอลิโพรพิลีน พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง ด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูป โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1. เส้นใยจากธรรมชาติ

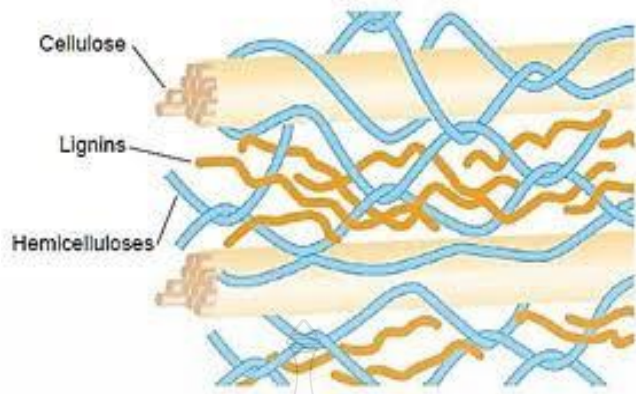
เส้นใยจากธรรมชาติโดยทั่วไปจะมียอดประกอบ คือ เซลลูโลส, เฮมิเซลลูโลส, ลิกนิน, เพคติน, แวกซ์ โดยมีองค์ประกอบหลักเป็นเซลลูโลส

เซลลูโลส (Cellulose) เป็นองค์ประกอบหลักของเนื้อเยื่อในเส้นใยธรรมชาติที่มีสมบัติที่ แข็งแรง มีโครงสร้างเส้นใยที่เสถียร โดยเป็นสารประกอบพอลิแซคคาไรด์ (Polysaccharides) สายตรงที่ประกอบด้วยมอนอเมอร์คือ กลูโคส ($C_6H_{12}O_5$)_n เชื่อมต่อกันด้วย พันธะเบต้า-1,4-ไกลโคไซด์ิก (β 1,4-glycosidic bond) ประกอบด้วยหน่วยย่อยประมาณ 1,000-10,000 โมเลกุล ในแต่ละหน่วยจะพบหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) 3 หมู่ ทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุล และ 1 หมู่ ที่เหลือทำพันธะกับโมเลกุลข้างเคียง [19] โครงสร้างของเซลลูโลสมีความเป็นผลึกสูงมีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ มีอุณหภูมิหลอมตัวสูง จึงมักสลายตัวก่อนถึงอุณหภูมิหลอมตัวมีความสามารถในการละลายต่ำ

เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) มีโครงสร้างและองค์ประกอบคล้ายเซลลูโลส แต่ประกอบของเฮมิเซลลูโลสส่วนใหญ่คือ น้ำตาล โมเลกุลเดี่ยวหลายชนิด เช่น กลูโคส กาแลกโตส แมนโนส ไซโลส และอะราบิโนส โดยจะมีโครงสร้างเป็นโซ่ที่มีกิ่งมากมาย จึงมักมีลักษณะเป็นอสัณฐานและมีน้ำหนักเบาว่าเซลลูโลส 10-100 เท่า ซึ่งเฮมิเซลลูโลสในพืชแต่ละชนิดมีโครงสร้างที่แตกต่างกัน[20]

ลิกนิน (Lignin) มีโครงสร้างแบบอสัณฐานเกิดจากพันธะของโคพอลิเมอร์ของฟีนิลโพรเพน (Pcoumaryl, coniferyl and sinapyl alcohol) พบมากในพืชตระกูลหญ้า ส่วน Coniferyl alcohol จะพบมากในพืชใบแคบ (Softwood) ประมาณ 26-32 เปอร์เซ็นต์ และพืชใบกว้าง (Hardwood) ประมาณ 20-28 เปอร์เซ็นต์ และ Sinapyl alcohols จะพบมากในพืชใบกว้าง[21,22] ทำหน้าที่เป็นเสมือนกาวที่ติดเส้นใยเซลลูโลสไว้กับส่วนประกอบอื่นๆ ทำให้มีสมบัติไม่ละลายน้ำ การกำจัดหรือการ

แยกเส้นใยออกจากลิกนินทำได้โดยใช้สารเคมี เป็นตัวทำละลาย ซึ่งภายหลังการทำปฏิกิริยาด้วยสารเคมีเมื่อลิกนินถูกกำจัดออกไป เส้นใยจะมีพื้นที่ภายในโครงสร้างเพิ่มขึ้นมีโอกาสในการทำปฏิกิริยาในกระบวนการต่างๆ มากขึ้น [23]



รูปที่ 2.1 โครงสร้างเส้นใยจากธรรมชาติ

ที่มา : http://asp.plastics.or.th:8001/files/article_file/20181016080740u.pdf

2.2 วิธีการดัดแปลงพื้นผิวของเส้นใยธรรมชาติ

โดยทั่วไปเส้นใยจากธรรมชาติจะไม่สามารถเข้ากับเนื้อของเมทริกซ์ได้ จึงต้องมีการดัดแปลงพื้นผิวของเส้นใยเพื่อให้สามารถเข้ากันได้กับเมทริกซ์ ในการปรับสภาพผิวของเส้นใยจะมีด้วยกันหลายวิธี จะแบ่งออกเป็นสองวิธีหลักๆ คือการปรับสภาพผิวทางเคมี และการปรับสภาพผิวทางกล

2.2.1 การดัดแปลงพื้นผิวเส้นใยด้วยวิธีการทางเคมี (Chemical methods)

2.2.1.1 การปรับสภาพผิวด้วยอัลคาไลน์ (Alkaline treatment) อัลคาไลน์ทรูทเมนต์เป็นการดัดแปลงพื้นผิวเส้นใยธรรมชาติด้วยสารอัลคาไลน์ที่มีฤทธิ์เป็นด่างแก่ เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) หรือโซดาไฟ (NaOH) ซึ่งสารอัลคาไลน์จะเปลี่ยนแปลงและทำลายการจัดเรียงตัวของโครงสร้างผลึกเซลลูโลสลง ทำให้ง่ายต่อการแทรกซึมทางเคมี อีกทั้งยังทำลายพันธะไฮโดรเจนในโครงสร้างโครงข่าย (Network structure) ทำให้ความหนาแน่นของพื้นผิวเพิ่มขึ้นในบริเวณออสชันฐานในเซลลูโลส โมเลกุลจะถูกแยกออกจากกันและช่องว่างนั้นจะถูกเติมเต็มด้วยโมเลกุลของน้ำหมู่ไฮดรอกซิล (OH) ที่ไวต่อปฏิกิริยาในโมกุลของสารอัลคาไลน์จะแตกตัวออกจากรูปร่างนั้นจะทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของน้ำ (H-OH) และหลุดออกจากเส้นใย โดยโมเลกุลที่เหลืออยู่จะก่อตัวเป็นหมู่เซลล์เส้นใย O-Na (Fiber-cell-O-Na groups) ระหว่างสายโซ่โมเลกุลเซลลูโลส [24] เป็นผลทำให้หมู่ไฮโดรฟิลิกไฮดรอกซิลลดลง อีกทั้งยังช่วยกำจัดบางส่วนของเฮมิเซลลูโลส, ลิกนิน, เพกทิน, แวกซ์, และน้ำมันบนผิวเส้นใย [25,27] นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวประสิทธิภาพของเส้นใย [28] แต่หากความเข้มข้นของอัลคาไลน์มีค่าสูงเกินกว่าค่าที่เหมาะสมจะทำให้เกิดการกัดเซาะโครงสร้างที่มากเกินไปเป็นผลทำให้เกิดความเสียหายให้กับเส้นใยและทำให้ความแข็งแรงของเส้นใยลดลง [29,30]

2.2.1.2 การปรับสภาพผิวด้วยโซเดียมคลอไรท์ (Sodium chlorite treatment)

โซเดียมคลอไรท์ (NaClO) ถูกใช้สำหรับการฟอก (Bleaching) เส้นใยในสารละลายกรดโดย NaClO จะถูกปรับสภาพความเป็นกรดและปลดปล่อยกรดคลอรัส (HClO , Chlorous acid) ผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation reaction) และฟอร์มตัวเป็นคลอรีนไดออกไซด์ (Chlorine dioxide: ClO_2) ซึ่ง ClO_2 จะช่วยกำจัดลิกนินออกจากเส้นใยอีกทั้งยังทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮโดรฟิลิกไฮดรอกซิลของเอมิเซลลูโลส [31] ทำให้ความชื้นถูกกำจัดออกและเพิ่มความไม่ชอบน้ำให้กับเส้นใยหลังจากการกำจัดลิกนิน (Delignification) เส้นใยจะมีความยืดหยุ่นมากขึ้น (More flexible) และมีสมบัติความแข็งดิ่งต่ำลง

2.2.1.3 การปรับสภาพผิวด้วยกรดสเตียริก (Stearic acid treatment)

ในสารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl alcohol solution) ถูกใช้สำหรับการตัดแปลงพื้นผิวเส้นใยโดยหมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl groups) ของกรดสเตียริกจะทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮโดรฟิลิกไฮดรอกซิลของเส้นใยและทำให้เส้นใยมีสมบัติความต้านทานน้ำเพิ่มขึ้นโดยการทรีทเมนต์นี้ทำให้ส่วนของโครงสร้างที่มีลักษณะไม่เป็นผลึก (Non-crystalline) เช่น เพกทิน แวกซ์ ไขมัน และสสารอื่น ๆ บนผิวของเส้นใยถูกกำจัดออกทำให้เส้นใยที่มัดตัวกันเป็นกลุ่มๆ แตกกระจายออกเป็นเส้นใยขนาดเล็ก ๆ [32,33] ทำให้เกิดการยึดเกาะที่อินเตอร์เฟซได้ดีกว่าและทำให้คุณสมบัติของคอมโพสิตดีขึ้น

2.2.2 การตัดแปลงพื้นผิวเส้นใยด้วยวิธีการทางกล (Physical methods)

วิธีการตัดแปลงพื้นผิวทางกลรวมถึงการรีดการผ่านกระบวนการทางความร้อน (Thermal treatment) ซึ่งวิธีการตัดแปลงพื้นผิวเส้นใยทางกลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและสมบัติพื้นผิวของเส้นใยและมีอิทธิพลต่อการสร้างพันธะระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์พอลิเมอร์ซึ่งวิธีการทางกลนั้นไม่ได้เปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของเส้นใย แต่อย่างไรก็ตามวิธีการตัดแปลงพื้นผิวทางกลจะช่วยทำให้การยึดเกาะกันระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์ดีขึ้นวิธีการตัดแปลงเส้นใยทางกลมีหลายวิธี ได้แก่

2.2.2.1 การปรับสภาพผิวด้วยโคโรนา (Corona treatment) โคโรนาทรีทเมนต์เป็นวิธีการตัดแปลงพื้นผิวเส้นใยทางกลโดยพลาสมาโคโรนาถูกสร้างขึ้นจากการจ่ายไฟฟ้าศักย์สูงให้แก่อิเล็กโทรดปลายแหลม (Tips) การประยุกต์โคโรนาลงบนพื้นผิวของเส้นใยที่เป็นหมู่ฟังก์ชันที่มีช่วยช่วยปรับปรุงคุณสมบัติความชอบน้ำของเส้นใยการปรับปรุงสมบัติทางกลของคอมโพสิตระหว่างเส้นใยเพิ่มขึ้นร้อยละ 30 [35]

2.2.2.2 การปรับสภาพผิวด้วยพลาสมา (Plasma treatment)

เป็นวิธีการตัดแปลงพื้นผิวเส้นใยทางกลที่คล้ายกับโคโรนาทรีทเมนต์ทำได้โดยการสร้างประจุขึ้นบนพื้นผิวของวัสดุการตัดแปลงพื้นผิวของวัสดุนั้นขึ้นอยู่กับชนิดและธรรมชาติของแก๊สที่ใช้อนุมูลอิสระที่ไวต่อปฏิกิริยา (Reactive free radical) และหมู่ฟังก์ชันซึ่งสามารถสร้างขึ้นได้โดยที่พลังงานพื้นผิวสามารถเพิ่มขึ้นหรือลดลงก็ได้ซึ่งจะทำให้เกิดการเชื่อมโยงข้ามพื้นผิว (Surface cross-linking) เส้นใยจะ

มีลักษณะพื้นผิวที่สะอาด ช่วยทำให้การยึดเกาะระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์ดีขึ้นส่งผลให้สมบัติทางกลคือ ความแข็งแรงของชิ้นงานดีขึ้น [36]

2.3 มุลม้า

ม้าเป็นสัตว์ที่มีชีวิตที่ใช้เวลาในแต่ละวันไปกับการกินมากถึง 16-20 ชั่วโมง อาหารที่ม้าได้รับก็จะ เป็นหญ้านานาชนิดที่มีความหลากหลายแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ อาหารหยาบ (Forage) จึงเป็น อาหารหลักของม้า เพราะทางเดินอาหารของม้าถูกวิวัฒนาการมาเพื่อรองรับอาหารแบบนั้น กระเพาะ อาหาร (stomach) ของม้ามี่ขนาดเล็กเพียง 8-9% ของระบบทางเดินอาหารทั้งหมด นั้นหมายความว่า ม้าขนาด 400 กิโลกรัม กระเพาะอาหารจะมีความจุเพียง 8-12 ลิตรเท่านั้น

กระเพาะอาหารของม้าถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนด้วยกันได้แก่ glandular และ non-glandular อาหารที่ม้ากินเข้าไปจะผ่านเข้ากระเพาะอาหารในส่วน non-glandular ที่มี pH ค่อนข้างสูง อาหารจะ ใช้เวลาเดินทางผ่านกระเพาะอาหารเพียงแค่ 20-30 นาทีเท่านั้น แล้วอาหารก็จะผ่านเข้าสู่ลำไส้เล็ก ต่อไปลำไส้เล็ก (small intestine) มีความยาว 20-25 เมตร คิดเป็น 75% ของความยาวของทางเดิน อาหารทั้งหมด แต่ลำไส้เล็กกลับมีความจุเพียงแค่ 30% ของทางเดินอาหารทั้งหมดเท่านั้น ในลำไส้เล็กนี้ อาหารจะถูกย่อยและดูดซึมแบบ enzymatic digestion โดยอาหารที่ผ่านเข้าลำไส้เล็กนั้นจะมี pH อยู่ที่ 2.5-3.5 เท่านั้น เอนไซม์ต่างๆ จะทำหน้าที่ย่อยคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน เพื่อเปลี่ยนไปเป็น พลังงานให้แก่ม้า[37]

2.4 มุลช้าง

ช้างเป็นสัตว์เคี้ยวเอื้องทำให้ช้างต้องการปริมาณอาหารเป็นจำนวนมาก และสามารถกินพืช อาหารได้หลากหลายชนิด โดยช้างกินอาหารวันละ 150-200 กิโลกรัม/ตัว/วัน กล่าวได้ว่าช้างกินพืชอาหาร คิดเป็นน้ำหนักแห้งในระหว่างหากินเป็นเวลา 12 ชั่วโมง ปริมาตรร้อยละ 1.5 ของน้ำหนักตัว หรือ 33.60 กิโลกรัม ในช่วงฤดูแล้ง และปริมาตรร้อยละ 1.9 ของน้ำหนักตัว หรือ 44.40 กิโลกรัม ในช่วงฤดู ฝน ซึ่งช้างเป็นสัตว์กินพืช (herbivore) จัดอยู่ทั้งพวกกินหญ้า (grazer) และพวกกินใบ (browser) นอกจากอาหารที่เป็นพืชแล้วช้างยังกินดินโป่งเพื่อเพิ่มแร่ธาตุอื่นๆ ให้กับร่างกายด้วย ช้างเป็นสัตว์ที่ สามารถกินอาหารได้หลากหลายชนิด หลากหลายรูปแบบทั้งใบ กิ่ง เปลือก ผล ราก

อัตราการถ่ายมูลของช้างเลี้ยงวัยเจริญพันธุ์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญโดยช้างเพศเมีย ถ่ายมูลวันละ 11.28 ครั้งเฉลี่ยครั้งละ 6.34 ก้อนน้ำหนักเฉลี่ย 7.5 กิโลกรัมต่อครั้งมูลแต่ละก้อนน้ำหนัก เฉลี่ย 1.26 กิโลกรัมช้างเพศผู้ถ่ายมูลวันละ 15.71 ครั้งเฉลี่ยครั้งละ 5.40 ก้อนน้ำหนักเฉลี่ย 9.74 กิโลกรัมมูลแต่ละก้อนน้ำหนักเฉลี่ย 1.69 กิโลกรัมอาหารที่ช้างเพศเมียกินเข้าไปจะถูกย่อยสลายและ ดูดซึมไปใช้ในช่วง 25 ชั่วโมง 56 นาทีถึง 67 ชั่วโมง 41 นาทีในขณะที่อาหารที่ช้างเพศผู้กินเข้าไปจะถูก ย่อยสลายและดูดซึมไปใช้ในช่วง 27 ชั่วโมง 14 นาทีถึง 79 ชั่วโมง 35 นาทีเมื่อนำข้อมูลอัตราการ ถ่ายมูลของทั้งเพศผู้และเพศเมียมารวมกันพบว่าช้างเลี้ยงวัยเจริญพันธุ์ถ่ายมูลวันละ 13.5 ครั้ง ๆ ละ 5.79 ก้อนน้ำหนักเฉลี่ย 8.87 กิโลกรัมต่อครั้ง[38]

2.5 คอมโพสิต (Composite)

คอมโพสิต (Composite) หมายถึง วัสดุที่มีองค์ประกอบทางเคมีหรือโครงสร้างแตกต่างกัน ตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปมาผสมกัน ซึ่งวัสดุที่ได้จะมีสมบัติของวัสดุเริ่มต้นรวมกัน โดยทั่วไปแล้วคอมโพสิตจะประกอบด้วยวัสดุตัวหนึ่งทำหน้าที่เป็นเนื้อหลักหรือเมทริกซ์ (Matrix) และวัสดุที่ทำหน้าที่เป็นเฟสที่กระจายตัวอยู่ (Dispersed phase) ในเมทริกซ์นั้น หรืออาจเรียกว่าเป็นเฟสเสริมแรง (Reinforced phase)

ยกตัวอย่างคอมโพสิตที่พบในธรรมชาติ เช่น ไม้ ซึ่งเป็นวัสดุเชิงประกอบระหว่างลิกนิน (Lignin) กับเส้นใยเซลลูโลส (Cellulose fiber) ซึ่งเป็น คอมโพสิตระหว่างแร่อะพาไทต์ (Apatite cheap replica breitling watches) กับโปรตีนคอลลาเจน (Collagen) เป็นต้น

2.6 กระบวนการขึ้นรูปวัสดุคอมโพสิต

การผสมนี้ก็เป็นอีกขั้นตอนหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างมากต่อสมบัติและ คุณภาพของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากถ้าสารที่เติมลงไปพลาสติกกระจายตัวได้ไม่ดีก็จะส่งผลโดยตรงต่อความสม่ำเสมอของคุณภาพผลิตภัณฑ์ ดังนั้นการใช้กระบวนการผสมที่แตกต่างกัน เช่น การใช้เครื่องผสมคนละชนิด การใช้สภาวะการผสมที่แตกต่างกัน หรือการจัดลำดับการเติมสารเคมีลงไปเครื่องผสมที่แตกต่างกัน จะส่งผลทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสมบัติที่แตกต่างกันด้วย แม้ว่าจะเป็นสูตรเดียวกันก็ตาม ดังนั้นผู้ผลิตจำเป็นต้องมีการตรวจสอบคุณภาพของการผสม โดยการนำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการผสมแต่ละครั้ง ไปทดสอบสมบัติตามที่ต้องการของผลิตภัณฑ์ เพื่อควบคุมคุณภาพให้คงที่ โดยการขึ้นรูปจะแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่

2.6.1 การเตรียมพลาสติกเพื่อการขึ้นรูป

เครื่องผสมแบบ 2 ลูกกลิ้ง (Two-roll mill) เป็นเครื่องผสมระบบเปิด ประกอบด้วย ลูกกลิ้ง 2 ลูก เรียงตัวในแนวนอน ขนานกัน หมุนเข้าหากันด้วยความเร็วต่างกัน ทำให้เกิดแรงเฉือนเป็นการบดผสมพลาสติกกับเส้นใยจากธรรมชาติ โดยใช้อุณหภูมิเป็นตัวกำหนดเพื่อให้พลาสติกหลอมเหลว ทำให้ พลาสติกที่ถูกตัดพับจะถูกใส่กลับไปยังช่องระหว่างลูกกลิ้ง แรงเฉือนที่เกิดขึ้นจะช่วยให้เกิดการกระจายตัวเข้ากับเนื้อพลาสติกได้ดี เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้งใช้ผสมยางในปริมาณไม่มาก



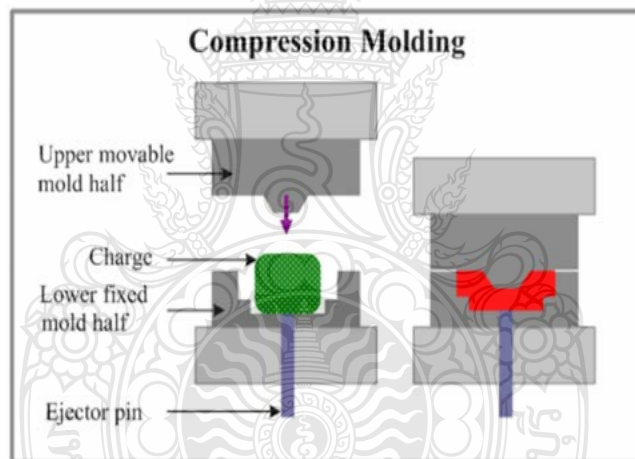
รูปที่ 2.2 เครื่องผสมแบบ 2 ลูกกลิ้ง (Two-roll mill)

2.7 กระบวนการกดอัดขึ้นรูป (Compression molding)

กระบวนการขึ้นรูปแบบกดอัด (Compression molding) เป็นวิธีการขึ้นรูปพลาสติก โดยวิธีนี้เป็นการให้ความดันอัดปิดแม่พิมพ์ ซึ่งมีพลาสติกอยู่ในแม่พิมพ์ พร้อมทั้งให้ความร้อนขณะอัด ให้พลาสติกหลอมและไหลเข้าไปแทนในแม่พิมพ์เพื่อให้เกิดเป็นชิ้นงาน อาจเรียกรูปแบบนี้ว่ากระบวนการขึ้นรูปแบบกดอัดด้วยความร้อน (Hot compression molding) วิธีนี้ใช้ได้กับทั้งเทอร์โมพลาสติกและเทอร์โมเซต แต่ในการผลิตเทอร์โมพลาสติกนั้น จะต้องทำให้แม่พิมพ์เย็นลงภายหลังจากเอาชิ้นงานออกแล้ว และจะต้องทำให้แม่พิมพ์ร้อนให้ก่อนที่จะขึ้นรูปแม่พิมพ์ครั้งต่อไป ซึ่งในทางอุตสาหกรรมจะถือว่าเป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายและเวลา แต่มีข้อเสียจากขบวนการผลิตน้อย มีการเรียงตัวของโมเลกุลในแม่พิมพ์ต่ำ ทำให้เส้นใยที่เป็นตัวเติมกระจายตัวได้ดี สมบัติเชิงกลและทางไฟฟ้ายังคงรักษาไว้ได้ เพราะมีการไหลเฉือนน้อยมาก และราคาต้นทุนต่ำ[39]



รูปที่ 2.3 เครื่องกดอัด (Compression molding machine)



รูปที่ 2.4 ส่วนประกอบเครื่องกดอัด

ที่มา : http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=compression_molding_of_Polymers

2.8 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ

2.8.1 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค (Fourier transform Infrared Spectroscopy ; FT-IR Spectrum)

เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของสารประกอบอินทรีย์ โดยอาศัยหลักการของการดูดกลืนคลื่นรังสีช่วงกลางอินฟราเรด (Middle infrared region) ประมาณ $400\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$ เมื่อโมเลกุลได้รับพลังงานจากคลื่นรังสีอินฟราเรด ที่มีความถี่ตรงกับความถี่ของการสั่น

(Stretching) หรือ การหมุน (Bending) ของพันธะโควาเลนซ์ในโมเลกุล จะทำให้โมเลกุลดังกล่าวเกิดการดูดกลืนแสง IR และมีการเปลี่ยนแปลงค่าโมเมนต์ขั้วคู่ (Dipole moment) ของโมเลกุล จากนั้นเครื่องมือจะวัด ค่าความเข้มแสงต่อความถี่หรือความยาวคลื่น (Wave number) ได้เป็นสเปคตรัมที่เรียกว่า “Interferogram” ซึ่งในแต่ละพันธะของหมู่ฟังก์ชันจะแสดงค่าความยาวคลื่นเฉพาะต่างกัน อาทิ C=O ของ $\sim 1,800 \text{ cm}^{-1}$, O-H Stretching very broad ที่ $3,300\text{-}2,500 \text{ cm}^{-1}$, N-H Stretching $\sim 3500\text{-}3300 \text{ cm}^{-1}$, C=C Stretching $\sim 1667\text{-}1613 \text{ cm}^{-1}$, C-H Stretching $\sim 3,000\text{-}2,840 \text{ cm}^{-1}$ เป็นต้น



รูปที่ 2.5 เครื่องวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมี Fourier Transform Infrared Spectrophotometer, FT-IR Spectrum

2.8.2 วิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิค (X-ray Diffractometer ; XRD)

เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ เป็นเครื่องมือวิเคราะห์เลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ในผลึกของตัวอย่าง โดยอาศัยหลักการของ Bragg's law ในการคำนวณค่าการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ ที่ยิงผ่านชั้นผลึกที่อยู่ในตัวอย่าง โดยจะใช้ Detector รับความเข้มของรังสีเอกซ์ที่เกิดจากการเลี้ยวเบนในมุมต่างๆ ของการทดสอบ โดยสามารถทำการวิเคราะห์ ได้ทั้งสารประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง และนำมาใช้ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างผลึกของสารตัวอย่างได้อีกด้วย ในผลึกของตัวอย่างแต่ละชนิด จะมีขนาดของ Unit Cell ที่ไม่เท่ากัน ทำให้ Pattern ของการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ ที่ออกมาไม่เท่ากัน ทำให้เราสามารถหาความสัมพันธ์ของสารประกอบต่างๆ กับ Pattern การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ได้ ซึ่งจะทำให้เราทราบว่า ในตัวอย่างนั้นๆ มีสารประกอบอะไรอยู่บ้าง ข้อจำกัดของการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ก็คือไม่สามารถทำการวิเคราะห์ตัวอย่าง เพื่อหาปริมาณ หรือ หองค์ประกอบตัวอย่างที่เป็น Amorphous ได้ เนื่องจากสารตัวอย่างกลุ่มนี้ จะไม่เกิดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

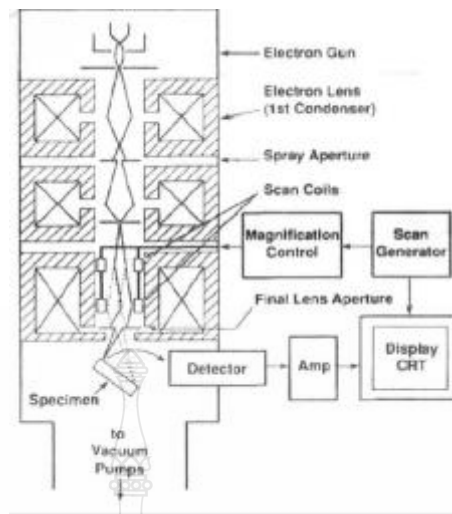


รูปที่ 2.6 เครื่องวิเคราะห์โครงสร้างผลึก X-ray diffractometer, XRD

2.8.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope / SEM)

เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดหนึ่งถ่ายภาพชิ้นงานโดยอาศัยหลักการกราดไปบนพื้นผิวตัวอย่าง ด้วยลำอิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูงที่ถูกปล่อยจากแหล่งกำเนิด (Electron gun) เมื่ออิเล็กตรอนดังกล่าวกระทบกับผิวชิ้นงานที่ประกอบไปด้วยอะตอมต่างๆ จะปล่อยสัญญาณที่สามารถนำไปประมวลผลและให้ข้อมูลเป็นภาพพื้นผิวของวัตถุ องค์ประกอบของพื้นผิว และ คุณสมบัติอื่นๆ เช่น คุณสมบัติการนำไฟฟ้า เป็นต้น

ส่วนประกอบของ SEM ประกอบไปด้วยส่วนบนสุดเป็นแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน ที่เรียกว่าเป็นอิเล็กตรอน (electron gun) อิเล็กตรอนจากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งให้เคลื่อนที่ลงมาตามคอลัมน์ ซึ่งมีสภาพสุญญากาศ ด้วยความต่างศักย์เร่ง (Accelerating Voltage) ในช่วง 0-30 kV (บางเครื่องทำได้สูงถึง 50 kV) โดยทิศทางการเคลื่อนที่จะถูกควบคุมด้วยเลนส์แม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic lens) 2 ชุดหรือมากกว่า และปริมาณของอิเล็กตรอนจะถูกควบคุมด้วย แอปเพเจอร์ (aperture) หรือช่องเปิดที่มีลักษณะต่าง ๆ กันตามลักษณะการใช้งาน



รูปที่ 2.7 แสดงส่วนประกอบการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
ที่มา : http://www.soreda.oas.psu.ac.th/files/944_file_Chapter4

2.9 การทดลองสมบัติเชิงกลของวัสดุ

2.9.1 การทดสอบแรงดึง (Tensile strength)

เป็นการทดสอบสมบัติทางกล เพื่อหาค่าความแข็งแรงของวัสดุ (Strength) โดยใช้การกีดกันงานให้มีรูปร่างตามมาตรฐานการทดสอบต่างๆ และนำไปทดสอบโดยเครื่องทดสอบแรงดึง ซึ่งปกติแล้วจะดึงด้วยแรงดึงสม่ำเสมอตามข้อกำหนดในแต่ละมาตรฐาน ในหนึ่งทิศทาง (Uniaxial) จนชิ้นงานขาดออกจากกัน ระหว่างการทดสอบเครื่องจะวัดการยืดตัวของชิ้นงานอย่างต่อเนื่อง แล้วทำการสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและการยืดตัวในรูปของกราฟความเค้นและความเครียด และคำนวณค่าต่างๆ เชิงวิศวกรรม อันได้แก่ ความต้านทานแรงดึงที่จุดคราก ความต้านทานแรงดึงสูงสุด และค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดตัวค่าความเค้นเชิงวิศวกรรมคือค่าแรงกระทำหารด้วยค่าพื้นที่หน้าตัดชิ้นงานเริ่มต้น ซึ่งอาจจะมีหน่วยเป็น N/mm^2 , MPa, kgf/mm^2 , psi หรือ ksi ส่วนค่าเปอร์เซ็นต์ความเครียดเชิงวิศวกรรมคือค่าความยาวที่เพิ่มขึ้นของชิ้นงานหารด้วยความยาวเดิมในการพิจารณาค่าความเค้นจริงนั้น ใช้การคำนวณจากค่าพื้นที่หน้าตัดที่เปลี่ยนไป ณ ช่วงเวลาใด ช่วงเวลาหนึ่งที่ชิ้นงานมีหน้าตัดเล็กลงเนื่องจากกราฟที่เกิดจากการทดสอบนั้นใช้ค่าพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานเริ่มต้นในการคำนวณ และในความเป็นจริงเมื่อมีพื้นที่หน้าตัดเปลี่ยนขนาดไปในระหว่างการทดสอบ (โดยเฉพาะอย่างยิ่งในวัสดุเหนียวจะมีพื้นที่หน้าตัดลดลงอย่างรวดเร็ว) จะส่งผลให้แรงกระทำที่ใช้ในการแปรรูปจริงลดลงอย่างรวดเร็ว ทำให้ค่าความเค้นเฉลี่ยในกราฟของความเค้น ความเครียดหลังจากจุดที่รับแรงสูงสุดลดลง ในขณะที่ความเป็นจริงโลหะจะเกิด Strain-hardening อย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้ค่าความเค้นที่ต้องการจริงในการแปรรูปวัสดุเพิ่มขึ้น ดังนั้นค่าความเค้นจริงที่คำนวณจากค่าพื้นที่หน้าตัดจริงของชิ้นงานจะทำให้กราฟความเค้นความเครียดเพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงจุดที่เกิดการแตกหัก



รูปที่ 2.8 เครื่องทดสอบแรงดึง (Universal Testing Machine)

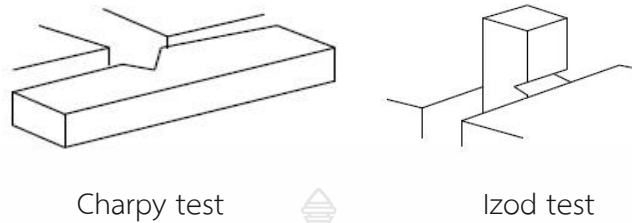
2.9.2 การทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก (Impact Test)

การทดสอบสมบัติด้านการทนแรงกระแทกของพอลิเมอร์จะมีจุดเด่นตรงที่เป็นการทดสอบด้วยอัตราการกระแทกด้วยความเร็วสูง โดยมีรูปแบบ 2 ลักษณะ คือ แบบ Pendulum test และ Falling weight test ลักษณะการทดสอบแบบ Pendulum test จะใช้ค้อนเหวี่ยงลงมากระแทกชิ้นงาน ดังรูปที่ 2.8 พลังงานส่วนหนึ่ง สูญเสียไปในการทำให้ชิ้นงานแตกหัก ซึ่งสามารถอ่านค่าพลังงานที่ใช้ไปได้จากเข็มหน้าปัด (หน่วยเป็น ft-lbs) ซึ่งในกรณีที่ทดสอบแล้วชิ้นงานไม่หักแสดงว่าพลังงานไม่พอ ซึ่งจะต้องเพิ่มน้ำหนักขึ้นไปอีก (หรือใช้เครื่องที่มีขนาดใหญ่กว่าหรือ Specification) หรือชิ้นงานทดสอบจะต้องมีการทำรอยบากเพื่อให้เกิดจุดรวมแรง (Stress concentration point)



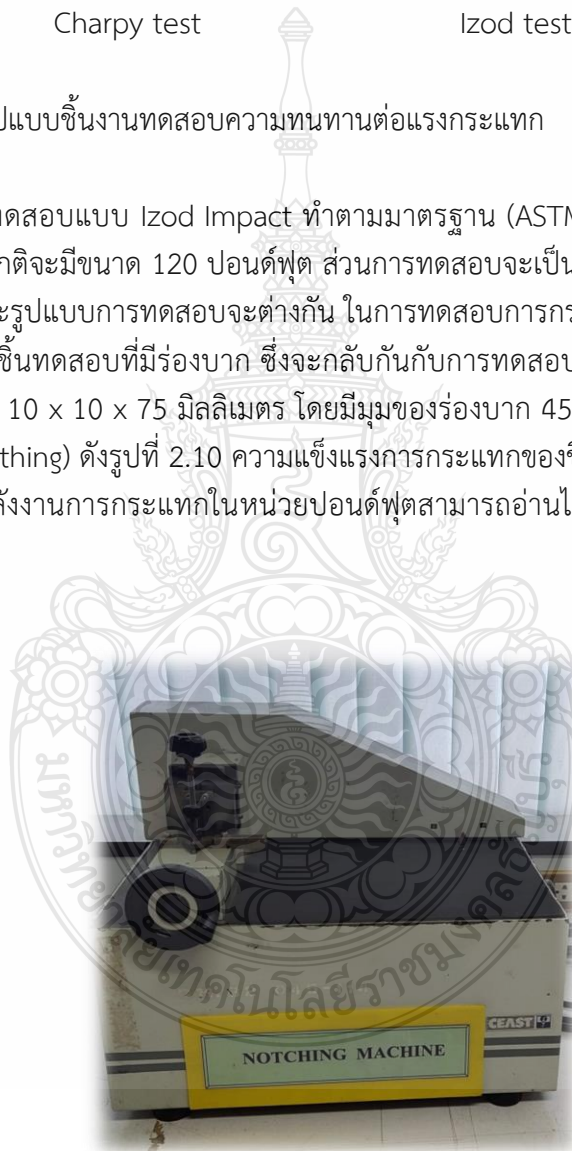
รูปที่ 2.9 เครื่องทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก (Impact Test)

การวางชิ้นงานจะทำได้ 2 ลักษณะตามรูปแบบของการทดสอบกล่าวคือถ้าเป็นแบบ Charpy test จะวางแนวนอน แต่ถ้าเป็นแบบ Izod test จะวางแนวตั้ง ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.10 ลักษณะรูปแบบชิ้นงานทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก

การทดสอบแบบ Izod Impact ทำตามมาตรฐาน (ASTM D256) เครื่องทดสอบการกระแทกแบบไอซอดปกติจะมีขนาด 120 ปอนด์ฟุต ส่วนการทดสอบจะเป็นแบบเดียวกันกับแบบ ชาร์ปี ถึงแม้ว่าชิ้นทดสอบและรูปแบบการทดสอบจะต่างกัน ในการทดสอบการกระแทกแบบไอซอด ลูกตุ้มจะกระแทกด้านหน้าของชิ้นทดสอบที่มีร่องบาก ซึ่งจะกลับกันกับการทดสอบแบบชาร์ปี ส่วนชิ้นทดสอบแบบไอซอดจะมีขนาด 10 x 10 x 75 มิลลิเมตร โดยมีมุมของร่องบาก 45 องศา ลึก 2 มิลลิเมตร โดยเครื่องบากชิ้นงาน (Notching Machine) ดังรูปที่ 2.10 ความแข็งแรงการกระแทกของชิ้นทดสอบจะขึ้นอยู่กับค่ามุมหลังกระแทก ซึ่งค่าพลังงานการกระแทกในหน่วยปอนด์ฟุตสามารถอ่านได้จากหน้าปัดเครื่องทดสอบเลย



รูปที่ 2.11 เครื่องบากชิ้นงาน (Notching Machine)

2.9.3 การทดสอบความแข็ง (Hardness)

การทดสอบแบบ Shore Durometer ตามมาตรฐาน ASTM D2240 ใช้หัวกดชุบแข็งสปริงที่ได้ปรับค่าอย่างถูกต้องดังรูปที่ 2.9 ความลึกของหัวกด และแผ่นกด หัวกดจะถูกติดตั้งตรงกลางของฐานกดและมีระยะยึดตัว 2.5 มิลลิเมตร จากผิวของฐาน ตำแหน่งระยะยึดตัวเต็มๆที่เข็มชี้แสดงค่าศูนย์ เมื่อหัวกดถูกกดจนกระทั่งแนบติดผิวหน้าฐานกด ตัวบ่งชี้แสดงค่า 100 ดังนั้นทุกๆ จุดของ Shore มีค่าเท่ากับ ระยะกด 0.0025 มิลลิเมตร (สเกล M เท่ากับ 0.00125 มิลลิเมตร) การทดสอบความแข็งพลาสติกส่วนมากวัดด้วยการทดสอบ Shore Durometer หรือการทดสอบความแข็งรีอเคเวลล์ ทั้งสองวิธีวัดความต้านทานของพลาสติกต่อรอยกด ทั้งสองสเกลให้ค่าความแข็งตามหลักการไม่เกี่ยวข้องกับสมบัติและคุณลักษณะพื้นฐาน ความแข็ง Shore A หรือ D เป็นวิธีที่นิยมใช้ สำหรับยาง อีลาสโตเมอร์ และปกติใช้กับพลาสติกอ่อน เช่น พอลิเอทิลีน ฟลูออโรพอลิเมอร์ และไวนิล Shore A ใช้สำหรับยางอ่อน ในขณะที่ Shore D ใช้สำหรับยางที่แข็งกว่า ความแข็ง Shore A คือค่าความแข็งสัมพัทธ์ของวัสดุที่ยืดหยุ่น เช่น ยาง หรือพลาสติกอ่อน

ตารางที่ 2.1 ประเภทหัวกดที่ใช้ในการทดสอบความแข็ง

เครื่องทดสอบ - Shore Durometer Type A and D		
Durometer	แผ่นกด (Indenting foot)	ภาระที่ใช้ (กรัม)
Type A	แท่งเหล็กชุบแข็ง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.1 มิลลิเมตร - 1.4 มิลลิเมตร ปลายรูปกรวย มุม 35 องศา ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.79 มิลลิเมตร	822
Type D	แท่งเหล็กชุบแข็ง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.1 มิลลิเมตร - 1.4 มิลลิเมตร ปลายรูปกรวย มุม 30 องศา รัศมีปลาย 0.1 มิลลิเมตร	4550



รูปที่ 2.12 เครื่องทดสอบแบบ Shore Durometer

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

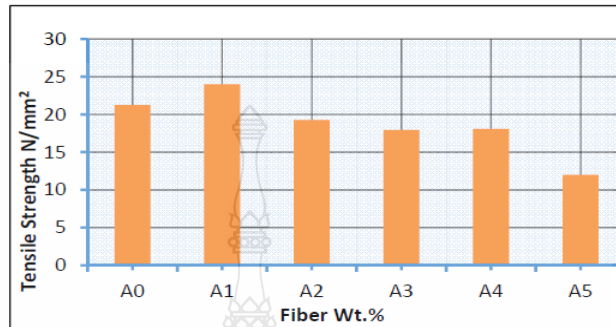
2.10.1 การทนต่อการเสื่อมสภาพของเศษไม้สนรีไซเคิลคอมโพสิต Recycle Low Density Polyethylene (LDPE)

โดย D.D.P. Morena, D. Hirayama, C. Sarona, ได้ทำการศึกษาเศษไม้สนที่ผ่านการใช้งานแล้ว โดยการนำมาบดให้มีขนาด 600-850 ไมครอน แล้วนำมาผสมกับ LDPE ในอัตราส่วน LDPE 70% wt เศษไม้สน 30% wt และใส่แอนไฮไดรด์ 2.5 % wt แล้วนำไปผสมด้วยกระบวนการ extrusion single screw และรูปขึ้นด้วยกระบวนการ injection molding แล้วนำไปทดสอบการต้านทานแรงดึง และทดสอบการเสื่อมสภาพ จากการทดลองพบว่าความเสื่อมสภาพของ LDPE/ เศษไม้สน ที่ 30 % wt มีความต้านทานการเกิดรอยสูงกว่าเมื่อเทียบกับอันที่ไม่ได้เติมเศษไม้สน และอันที่ไม่ได้เติมยังเกิดรอยแตก เนื่องจากความเสื่อนำไปสู่ลักษณะและการเจริญเติบโตของรอยแตกที่อุณหภูมิ 720 ต่อชั่วโมง แต่ LDPE/ เศษไม้สน มีการเกิดรอยที่อุณหภูมิ 4320 ต่อชั่วโมง และการต้านทานแรงดึงสูงถึง 800 MPa เมื่อเทียบกับ LDPE ที่ไม่ได้เติมเศษไม้มีค่าการต้านทานแรงดึงที่ 200 MPa [40]

2.10.2 สมบัติการรับแรงดึงของเส้นใยป่านครนารายณ์ พลาสติกรีไซเคิลพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (Recycle High Density Polyethylene, r-HDPE) โดยการปรับสภาพผิวด้วยสารเคมี

โดย Mohit Sooda และคณะ ได้นำเส้นใยป่านครนารายณ์มาตัดให้มีขนาด 0.5-1.0 เซนติเมตร แล้วนำไปปรับสภาพผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10% แล้วนำมาผสมกับ พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง และพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงรีไซเคิล ที่อัตราส่วน 50% ต่อ 50% ของกับ พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง และพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงรีไซเคิล และใส่เส้นใยป่านครนารายณ์ ในอัตราส่วน

7.5 15 22.5 30 % wt ขึ้นรูปด้วยกระบวนการฉีดขึ้นรูป และนำไปทดสอบสมบัติการทนแรงดึง พบว่าการต้านทานแรงดึงสูงสุดในอัตราส่วนของการเติมเส้นใยที่ 7.5 % wt มีการต้านทานแรงดึงสูงสุดที่ 19.27 N/mm²[41] ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.13 แสดงการต้านแรงดึงของเส้นใยป่านครนารายณ์กับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง และพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงรีไซเคิล โดยการปรับสภาพผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์[25]

2.10.3 การศึกษาลักษณะสมบัติทางกลของเส้นใยปอแก้วแบบสั้นผสมกับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene , HDPE)

โดย Rajneesh Vermaa , M. Shuklaa ได้นำเส้นใยปอแก้วไปปรับสภาพผิวด้วย NaOH 5 % wt แล้วนำมาผสมกับ HDPE ในอัตราส่วน 10 20 30 % wt และเส้นใยที่ไม่ผ่านการปรับสภาพผิวที่ 20% wt นำไปผสมด้วย Two roll mill ขึ้นรูปด้วยกระบวนการ Compression molding แล้วนำไปทดสอบแรงดึง และแรงดัดงอ จากการศึกษาพบว่าสมบัติการต้านแรงดึงของวัสดุคอมโพสิตเสริมแรงของเส้นใยปอแก้วสูงสุดอยู่ที่ K10T แต่สมบัติการต้านทานการดัดงอของ วัสดุคอมโพสิตเสริมเส้นใยมีค่าสูงสุดถึง 119.55 MPa ที่ K30T พบว่าเมื่อประมาณเส้นใยเพิ่มการต้านทานการดัดงอจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณเส้นใย แต่ในทางกลับกันกานต้านทานแรงดึงจะลดลงตามปริมาณของเส้นใย[42]

ตารางที่ 2.2 แสดงการต้านแรงดึงของเส้นใยปอแก้วผสมกับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง[42]

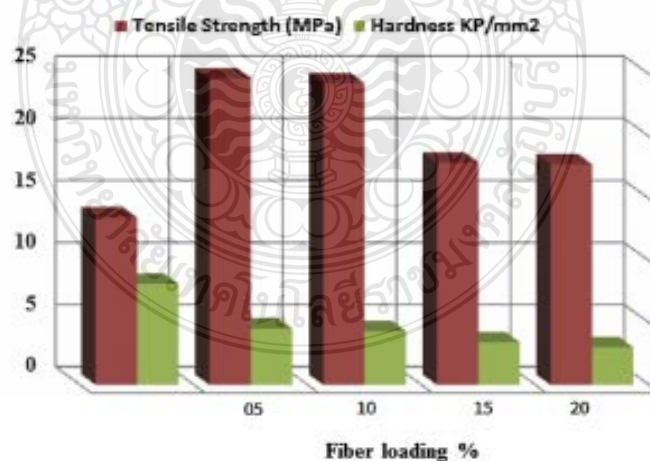
Composite	Tensile strength (MPa)	Tensile modulus (GPa)
HDPE	17.39	0.042
K10T	14.18	0.036
K20T	13.68	0.032
K20UT	11.12	0.028
K30T	12.16	0.031

ตารางที่ 2.3 แสดงการต้านแรงดัดของเส้นใยปอแก้วผสมกับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง[42]

Composite	Flexural strength (MPa)	Flexural modulus (GPa)
HDPE	61.28	4.650
K10T	66.18	5.620
K20T	73.21	7.248
K20UT	88.79	8.820
K30T	119.55	9.480

2.10.4 ประสิทธิภาพการเติมเส้นใยข้าวโพดคอมโพสิต Recycle Linear Low Density Polyethylene, (r-LLDPE)

โดย Ahmed M. Youssef , Ahmed และคณะได้ทำการนำเส้นใยจากเปลือกข้าวโพดมาตัดให้มีขนาด 125 m แล้วนำมาผสมกับ r-LLDPE ในอัตราส่วน 5 10 15 20 % wt จากนั้นนำไปผสมด้วยเครื่อง Two roll mill แล้วนำไปขึ้นรูปด้วยเครื่อง Compression molding แล้วนำไปทดสอบแรงดึงและแรงกระแทก จากการทดสอบพบว่า การต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้นสูงสุดอยู่ที่ 363 MPa ของการเติมเส้นใยที่ 10 % wt แล้วจะค่อยๆลดลงตามปริมาณของเส้นใยที่เพิ่มขึ้น แต่ทดสอบการต้านทานแรงกระแทกสูงสุดอยู่ที่ 454 ของการเติมเส้นใยที่ 5 % wt [43]



รูปที่ 2.14 แสดงการต้านแรงดึงและแรงกระแทกของเส้นใยจากเปลือกข้าวโพด[43]

2.10.5 การทำกระดาษจากมูลช้าง

โดย อาจารย์มยุรี เรืองสมบัติ และคณะ ได้ทำกระดาษจากมูลช้าง ได้นำมูลช้างใส่ลงในถัง 5 ถัง ในปริมาณน้ำ 1,000 ลิตรต่อมูลช้าง 700 กิโลกรัม จากนั้นใส่กากน้ำตาล 1.5 กก. ต่อ 1 ถัง และใส่น้ำยา E.M. (Effective Microorganisms) ที่ผสมแล้วในอัตราส่วน 40 ลิตรต่อ 1 ถัง หลังจากนั้นคนให้น้ำยาและมูลช้างเข้ากันแล้วทิ้งไว้ประมาณ 3 วัน เมื่อครบกำหนดนำมูลช้างมาทำการล้าง จากนั้นนำมูลช้างไปต้มในอัตราส่วน 70 ลิตร: 40 กก. ใช้เวลาต้มประมาณ 1-2 ชั่วโมงจนเปื่อยยุ่ย นำเส้นใยที่ได้ใส่เครื่องปั่นโดยใช้เวลานานประมาณ 1 ชั่วโมง เมื่อทำการปั่นเสร็จแล้ว เอาเส้นใยที่ได้ใส่ลงในตะแกรงเพื่อให้สะเด็ดน้ำ ต่อมานำไปแช่ลงในเฟรมหรือตัวแบบกระดาษเพื่อนำไปตาก เมื่อกระดาษที่นำไปตากนั้นแห้งแล้วเอามาแกะแล้วนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ[44]

2.10.6 Thermophysical Properties of Cement Based Composites with Addition of Plastic Fibers and Horse Manure

โดย Pavlendova.G และคณะ ได้นำเส้นใยพอลิโพรพิลีนและเส้นใยจากมูลม้ามาผสมกับปูนคอนกรีต การเตรียมตัวอย่างจะใช้ปูนคอนกรีต 250 cm³ ทราาย 750 cm³ และเส้นใยพอลิโพรพิลีน 100 cm³ โดยใช้แบบที่มีขนาด 100x100 mm และชั้นที่สองจะใช้ปูนคอนกรีต 250 cm³ ทราาย 750 cm³ ผสมกับเส้นใยจากมูลม้า 100 cm³ ใช้แบบที่มีขนาด 100x100 mm เหมือนกัน แล้วปล่อยให้ชิ้นงานทั้งสองให้แห้งเป็นเวลา 30 วัน และจากนั้นนำเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน จากผลทดสอบพบว่า การเปลี่ยนแปลงของค่าการนำความร้อนสำหรับมูลม้าหลังการบ่มขึ้นอยู่ที่ 6 – 16% ค่าการนำความร้อนของเส้นใยไม่เปลี่ยนแปลงตามการบ่ม เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความร้อน ค่าการนำไฟฟ้าของปูนคอนกรีตกับเส้นใยมูลม้าและปูนคอนกรีตบริสุทธิ์ มีความแตกต่างอยู่ที่ 27-37% ก่อนการบ่ม และ 27% หลังจากการบ่ม เมื่อเทียบกับปูนคอนกรีตกับเส้นใยมูลม้าดีกว่าปูนคอนกรีตบริสุทธิ์ เมื่อเปรียบเทียบกับปูนคอนกรีตกับเส้นใยพอลิโพรพิลีนกับคอนกรีตบริสุทธิ์ ความแตกต่างของค่าการนำความร้อนอยู่ในช่วง 19 – 29% ค่าความจุความร้อนสำหรับปูนคอนกรีตกับเส้นใยสูงกว่าปูนคอนกรีตกับมูลม้า 7 – 21% เมื่อเปรียบเทียบกับปูนคอนกรีตกับมูลม้ากับปูนคอนกรีต ค่าความต่างคือ 50 – 76% หลังจากการบ่ม ความแตกต่างระหว่างคอนกรีตกับเส้นใยพอลิโพรพิลีนและคอนกรีตกับมูลม้าอยู่ระหว่าง 5%[45]

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

การขึ้นรูปวัสดุคอมโพสิตจากเส้นใยจากมูลม้า และมูลช้าง เสริมแรงในพอลิโพรพิลีน พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง ด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูปได้กำหนดขั้นตอน และวางแผนการดำเนินงานวิจัย จัดเตรียมวัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือ และเครื่องทดสอบ กำหนดขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ออกแบบการทดลอง ดำเนินการทดลองขึ้นรูป และทดสอบสมบัติของวัสดุคอมโพสิตที่ได้ โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน

วิทยานิพนธ์เรื่องนี้ได้ออกแบบขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยและได้มีการวางแผนการดำเนินงานวิจัยอย่างเป็นขั้นตอน โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

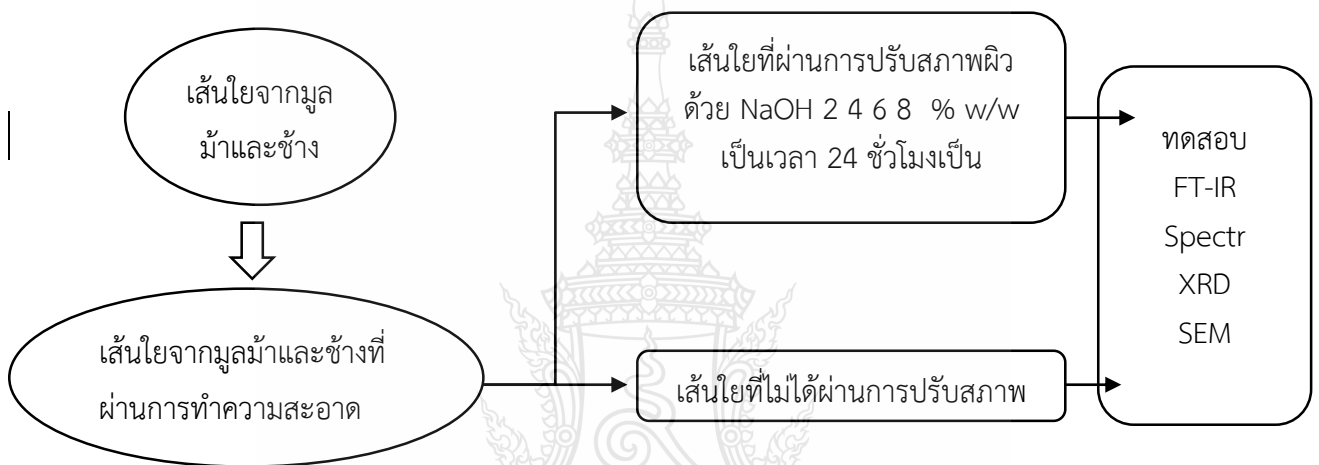
1) ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในขั้นตอนนี้จะดำเนินการศึกษาทฤษฎีพื้นฐานของวัสดุคอมโพสิต ชนิดของวัสดุเสริมแรง และศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการขึ้นรูปวัสดุคอมโพสิตด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูป โดยข้อมูลจากงานวิจัยที่ทำการศึกษามาแล้ว เป็นแนวทางในการวิเคราะห์ออกแบบการทดลองเพื่อเลือกชนิดของเส้นใย และชนิดของเมทริกที่ใช้ในการเสริมแรง

2) กำหนดวิธีการ ขั้นตอนการดำเนินงาน และเตรียมวัสดุอุปกรณ์

- ออกแบบขั้นตอนและวางแผนการดำเนินงานเพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัย
- เตรียมวัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือ และเครื่องทดสอบ สำหรับดำเนินงาน
- วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค (Fourier Transform Infrared Spectroscopy ; FT-IR) Spectrophotometer) วิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิค (X-ray Diffractometer; XRD) และวิเคราะห์สัณฐานวิทยาและลักษณะพื้นผิวของเส้นใยด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ของเส้นใยมูลม้า และมูลช้าง

- เตรียมเส้นมุลม่า และมุลข้าง โดยการล้างทำความสะอาดและนำไปตากให้แห้ง แล้วแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ
 1. เพื่อเตรียมสำหรับปรับสภาพผิวด้วย NaOH ที่ความเข้มข้น 2 4 6 8 % w/w เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง 30C
 2. ส่วนที่ไม่ได้ทำการปรับสภาพผิว
- ขึ้นรูปวัสดุคอมโพสิตเส้นใยที่ไม่ผ่านการปรับสภาพผิว ด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูป



รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการปฏิบัติงาน

3) ออกแบบการทดลอง

การศึกษานี้จะออกแบบการทดลองโดยจะต้องคำนึงถึงตัวแปรหลักที่สำคัญ ประกอบด้วย ปริมาณของเซลล์โลสในเส้นใย วัสดุที่ใช้เป็นเมทริกซ์อีพอกซีเรซินเสริมเส้นใยของวัสดุคอมโพสิตในการเสริมแรง

4) การตรวจสอบสมบัติทางกายภาพ และทดสอบสมบัติทางกล

โดยเส้นใยที่ได้จากการทำความสะอาดเรียบร้อยแล้ว จะถูกนำมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และทดสอบสมบัติทางกล

- ขึ้นทดสอบแรงดึงจะเตรียมขึ้นทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 638 โดยจะถูกตัดให้มีความกว้าง 2.2 เซนติเมตร ยาว 16.5 เซนติเมตร โดยจะใช้ขึ้นทดสอบจำนวน 5 ชิ้น
- ขึ้นทดสอบความแข็งจะเตรียมขึ้นทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D2240
- ขึ้นทดสอบแรงกระแทกจะเตรียมขึ้นทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D256 แบบ I zod โดยจะถูกตัดให้มีความกว้าง 1.2 เซนติเมตร ยาว 6.3 เซนติเมตร และหนา

0.3 เซนติเมตร จากนั้นนำไปทำการบากที่มุม 45 องศา ลึก 2 มิลลิเมตร โดยจะ
ใช้ชิ้นทดสอบจำนวน 8 ชิ้น

6) วิเคราะห์ผลการทดสอบและอภิปรายผล

ผลการตรวจสอบโครงสร้างทางกายภาพ และทดสอบสมบัติทางกล ที่ได้จะถูกนำมา
วิเคราะห์ เปรียบเทียบกับผลงานวิจัยที่ได้ผ่านศึกษาค้นคว้ามา เพื่อหาข้อมูลที่ต้องการนำไป
สรุปผลการดำเนินงานวิจัย ประกอบด้วย

- ลักษณะของโครงสร้างทางกายภาพ ของเส้นใย วัสดุคอมโพสิตแบบเส้นใยสั้น
- อิทธิพลของสมบัติทางกลของชิ้นทดสอบ วัสดุคอมโพสิตแบบเส้นใยสั้น

7) สรุปผลการทดลอง และเผยแพร่ผลงาน

ผลการทดสอบที่ได้ทั้งหมดที่ผ่านการวิเคราะห์และอภิปรายผลเป็นที่เรียบร้อยแล้วจะ
ถูกนำไปจัดเตรียมเป็นบทความวิจัยเพื่อเผยแพร่ในงานประชุมทางวิชาการ เพื่อให้ได้รับข้อเสนอแนะที่
เป็นประโยชน์จากผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความ รวมทั้งข้อคิดเห็นจากผู้ที่เข้าร่วมประชุมวิชาการ อีกทั้ง
เป็นการถ่ายทอดผลงานวิจัยที่จะสามารถใช้ประโยชน์ได้ในทางวิชาการ และทางการผลิตจริงใน
อุตสาหกรรม

8) จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

ผลงานทั้งหมดที่ผ่านการดำเนินงานวิจัยตามรูปแบบของการจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์
ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เพื่อขออนุมัติสำเร็จการศึกษา และเป็นข้อมูลสาธารณะ
สำหรับผู้สนใจจะศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติม

3.2 วัสดุ เครื่องมือ และเครื่องจักรที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 เส้นใยที่ใช้ในการทดลอง

ในการออกแบบการทดลองนี้ใช้เส้นใย 2 ชนิด ประกอบด้วย

1) เส้นใยที่ได้จากมูลม้า

ในการทดลองนี้จะเลือกใช้เส้นใยสั้น สำหรับใช้เป็นวัสดุเสริมแรง ในการขึ้นรูปวัสดุ
คอมโพสิต โดยเส้นใยที่เลือกใช้จะเป็นเส้นใยจะเป็นเส้นใยที่ได้จากมูลม้าของกองทัพทหารม้าที่ 29 รักษา
พระองค์ แสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 เส้นใยมูลม้า

2) เส้นใยมูลช้าง

ในการทดลองนี้จะเลือกใช้เส้นใยสั้น สำหรับใช้เป็นวัสดุเสริมแรง ในการขึ้นรูปวัสดุคอมโพสิต โดยเส้นใยที่เลือกใช้จะเป็นเส้นใยที่ได้จากมูลช้างจากแคมป์ช้างทวีชัย กาญจนบุรี



รูปที่ 3.3 เส้นใยมูลช้าง

3.2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1) เครื่องชั่งน้ำหนัก

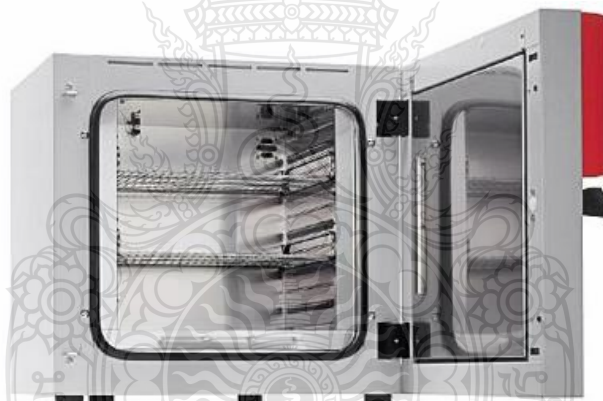
ในการทดลองเครื่องชั่งน้ำหนักที่มีความละเอียดตศนิยม 3 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Pioneer ถูกแสดงดังรูปที่ 3.4 ถูกใช้ในการตรวจสอบน้ำหนักของเส้นใยแต่ละชนิด เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของขนาดเส้นใยอีกครั้ง



รูปที่ 3.4 เครื่องชั่งน้ำหนักที่มีความละเอียดทศนิยม 3 ตำแหน่ง

2) เครื่องอบไล่ความชื้น

ในการทดลองใช้เครื่องอบไล่ความชื้น ยี่ห้อ Binder ถูกแสดงดังรูปที่ 3.5 สำหรับการไล่ความชื้นของเส้นใย ก่อนทำการตรวจสอบขนาดของเส้นใย



รูปที่ 3.5 เครื่องอบไล่ความชื้น

3.2.3 กระบวนการขึ้นรูปวัสดุคอมโพสิต

การขึ้นรูปวัสดุคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยสั้น แบ่งเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่

1) การเตรียมพลาสติกเพื่อการขึ้นรูป

การผสม (Mixing) หรือ การคอมปาวด์ (Compounding) เพื่อช่วยให้เส้นใยสามารถกระจายตัวในพอลิเมอร์ได้อย่างทั่วถึง กระบวนการที่ใช้สำหรับการคอมปาวด์ที่เตรียมระหว่างพอลิเมอร์และเส้นใยเสริมแรงในอัตราส่วนที่ต้องการใช้อุณหภูมิในการผสมที่ 160 องศาเซลเซียส แสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 เครื่องผสม (Mixing) หรือ เครื่องคอมปาวด์(Compounding)

2) กระบวนการกดอัดขึ้นรูป (Compression molding)

นำไปขึ้นเป็นแผ่นโดยเครื่องอัดเข้าแบบไฮดรอลิก (Compression molding) ที่ความดัน 90 MPa อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 นาที แล้วทำการลดอุณหภูมิของชิ้นงานด้วยการหล่อเย็นเป็นเวลา 3 นาที



รูปที่ 3.7 เครื่องกดอัด (Compression molding machine)

3.2.4 เครื่องทดสอบที่ใช้ในการทดลอง

1) Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FT-IR Spectrum)

ใช้สำหรับตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันเคมี ของเส้นใยที่ได้จากมูลม้าและช้างที่ไม่ผ่านการปรับปรุงสภาพผิว และเส้นใยที่ได้จากมูลม้าและช้างที่ผ่านการปรับปรุงสภาพผิว โดยวิเคราะห์ในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง $4000-400\text{ cm}^{-1}$ ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FT-IR Spectrum)

2) X-ray diffractometer (XRD)

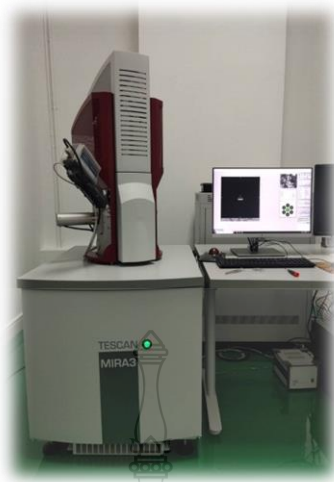
ใช้สำหรับวิเคราะห์การเกิดผลึกภายในเส้นใยโดยตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่ หลั้ว ตัวอย่างที่เป็นอาหารของม้า เส้นใยที่ได้จากมูลม้า และเส้นใยจากมูลช้างที่ผ่านการปรับปรุงสภาพผิว และเส้นใยที่ได้จากมูลม้าและช้างที่ผ่านการปรับปรุงสภาพผิว โดยเตรียมตัวอย่างเป็นผงและนำมาอัดบนแผ่นเพลท จากนั้นนำเข้าเครื่องและทำการกำหนดองค์ประกอบการศึกษาที่ 5 ถึง 80 องศา วิเคราะห์ที่ 1 องศา ต่อ 2 นาที



รูปที่ 3.9 เครื่อง X-ray diffractometer (XRD)

3) Scanning Electron Microscope (SEM)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนนิ่ง (Scanning Electron Microscope, SEM) ใช้ศึกษารายละเอียดของโครงสร้างภายนอกหรือผิวของตัวอย่าง โดยลำแสงอิเล็กตรอนจะส่องกราดไปบนผิวของวัตถุภาพที่ได้จากกล้อง SEM เป็นภาพเสมือน 3 มิติที่มีระยะชัดลึกสูง ทำให้สามารถระบุลักษณะของ พื้นผิวของชิ้นงานได้อย่างชัดเจน แสดงดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)

4) เครื่องเคลือบตัวอย่าง (Sample Coater)

ใช้สำหรับตัวอย่างที่ต้องการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยมีวิธีการเคลือบตัวอย่าง 2 วิธี คือ การเคลือบตัวอย่างด้วยผงโลหะ (Sputter Coater) เช่น ทอง เหมาะสำหรับตัวอย่างทางชีววิทยา และการเคลือบตัวอย่าง ด้วยผงถ่าน (Carbon Coating) เช่น เส้นใยถ่าน (Carbon fibre) เหมาะสำหรับ เคลือบตัวอย่าง ทางอิเล็กทรอนิกส์ งานผิวละเอียด แสดงดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 เครื่องเคลือบตัวอย่าง (Sample Coater)

5) การทดสอบแรงดึง (Tensile Test)

ในการทดสอบสอบแรงดึง จะใช้เครื่อง Universal testing machine ยี่ห้อ Hounsfield โหลด 25 kN และใช้หัวจับสำหรับการทดสอบแรงดึง ถูกแสดงดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 เครื่อง Universal testing machine สำหรับการทดสอบแรงดึง

6) การทดสอบความแข็ง (Hardness Test)

ในการทดสอบความแข็ง โดยวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D2240 Shore D ชิ้นงานที่นำมาทดสอบจะต้องมีความหนา 3 มิลลิเมตร และผิวเรียบ วิธีการทดสอบกดหัวเข็มลงบนชิ้นงานจนหัวเข็มถึงจุดหยุดจับเวลาประมาณ 10 วินาที แล้วอ่านค่าความแข็งของชิ้นงานจากหน้าปัดดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 เครื่องทดสอบความแข็ง

7) การทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก (Impact Test)

ในการทดสอบแบบ Izod ทำตามมาตรฐาน (ASTM D256) เครื่องทดสอบการกระแทกแบบไอซอดปกติจะมีขนาด 120 ปอนด์ฟุต ส่วนการทดสอบจะเป็นแบบเดียวกันกับแบบ ชาร์ปี ถึงแม้ว่าชิ้นทดสอบและรูปแบบการทดสอบจะต่างกัน ในการทดสอบการกระแทกแบบไอซอด ลูกตุ้มจะกระแทก

ด้านหน้าของชิ้นทดสอบที่มีร่องบาก ซึ่งจะกลับกันกับการทดสอบแบบชาร์ปี ส่วนชิ้นทดสอบแบบไอซอด จะมีขนาด $10 \times 10 \times 75$ มิลลิเมตร โดยมีมุมของร่องบาก 45 องศา ลึก 2 มิลลิเมตร ความแข็งแรงการกระแทกของชิ้นทดสอบจะขึ้นอยู่กับค่ามุมหลังกระแทก ซึ่งปกติค่าพลังงานการกระแทกในหน่วยปอนด์ ฟุตสามารถอ่านได้โดยตรงจากหน้าปัดเครื่องทดสอบดังรูป 3.14



รูปที่ 3.14 เครื่องทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก



บทที่ 4

ผลและการวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน

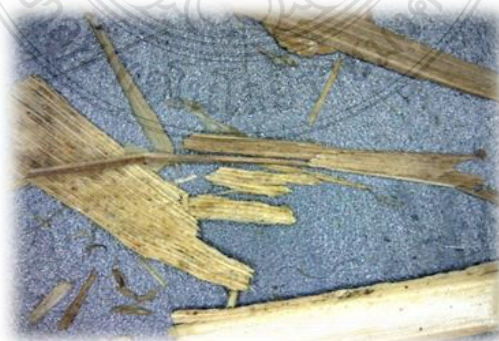
วิทยานิพนธ์นี้ทำการศึกษาความเป็นไปได้การใช้เส้นใยธรรมชาติจากมูลสัตว์ที่เป็นสารเสริมแรงในวัสดุคอมโพสิต เส้นใยจากมูลม้าและช้างถูกเลือกเป็นเส้นใยธรรมชาติจากมูลสัตว์ ต้นแบบในการศึกษาเนื่องจากมูลของทั้งสองชนิดมีปริมาณเส้นใยในมูลสูง และมีระบบย่อยอาหารที่ใกล้เคียงกัน โดยกินพืชเป็นอาหารอย่างเดียว กลไกการย่อยอาหารนั้นใช้จุลินทรีย์ในการย่อย และทำให้ลิกนินที่พื้นผิวของเส้นใยหลุดออกไปด้วยเช่นกัน จึงทำให้ในเส้นใยจากมูลสัตว์ทั้งสองชนิดนี้มีปริมาณเซลลูโลสที่สูงขึ้น วิทยานิพนธ์นี้ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของเส้นใยจากมูลม้าและช้าง เปรียบเทียบกับเส้นใยธรรมชาติที่ไม่ผ่านกระบวนการย่อย และเส้นใยจากมูลสัตว์ที่ผ่านกระบวนการปรับผิวด้วยกระบวนการทางเคมี

การทดสอบความเป็นไปได้ในการนำเส้นใยธรรมชาติจากมูลสัตว์มาเป็นสารเสริมแรงในวัสดุคอมโพสิตนั้นศึกษาด้วยการนำเส้นใยที่เตรียมได้นำมาทดลองขึ้นรูปเป็นเส้นใยเสริมแรงในวัสดุคอมโพสิตด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูป (Compression molding) โดยวัสดุเนื้อ (Matrix) ที่สนใจ คือพลาสติกทั่วไป (Commodity plastic) ได้แก่ โพลีโพรพิลีน (Polypropylene) และพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene) โดยศึกษาผลของปริมาณของเส้นใยต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตที่ขึ้นรูปได้ โดยผลการทดลองและการอภิปรายผล มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 สมบัติของเส้นใย

4.1.1 เส้นใยจากหญ้าเนเปีย

การทดสอบความเป็นไปได้ในการนำเส้นใยธรรมชาติจากมูลสัตว์มาเป็นสารเสริมแรงในวัสดุคอมโพสิตนั้น เส้นใยจากมูลม้าและช้างถูกเลือกเป็นเส้นใยธรรมชาติจากมูลสัตว์ต้นแบบในการศึกษาเพื่อควบคุมตัวแปรชนิดของอาหารของสัตว์ ในวิทยานิพนธ์นี้จึงใช้มูลม้าและมูลช้างจากฟาร์มปิด มีการควบคุมอาหารเป็นเส้นใยชนิดเดียว มีการเลือกอาหารจากเส้นใยธรรมชาติ (*Natural fiber, NF*) ชนิดเดียว คือ หญ้าเนเปีย (*Napier Grass*) หรือชื่อทางวิทยาศาสตร์ *Pennisetum purpureum* [46]



รูปที่ 4.1 เส้นใยจากหญ้าเนเปีย

4.2 เส้นใยจากมูลม้า

ม้าเป็นสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม เป็นสัตว์กินพืชเป็นอาหาร โดยใช้การบดเคี้ยวเพื่อให้เส้นใยมีขนาดเล็กลงถือว่าการขัดผิวเส้นใยให้แตกออก แล้วส่งไปยังกระเพาะอาหารทำให้เอนไซม์ต่างๆ ทำหน้าที่ย่อยคาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน เพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานให้ม้า ส่งผลให้ลิกนินที่ผิวของเส้นใยหลุดออกเป็นบางส่วนและทำให้ผิวของเส้นใยที่ผ่านกระบวนการย่อยเกิดความขรุขระที่พื้นผิวอีกด้วย และยังทำให้ได้ปริมาณเซลลูโลสสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยธรรมชาติ [47] รูปที่ 4.2 แสดงเส้นใยที่ได้จากมูลม้าหลังจากทำความสะอาด



รูปที่ 4.2 เส้นใยจากมูลม้า

4.2.1 เส้นใยจากมูลม้าที่มีการปรับสภาพผิวด้วยกระบวนการ Alkalization

จากการศึกษาการปรับสภาพผิวเส้นใยที่ได้จากมูลม้าด้วยสารเคมี โดยใช้สารเคมี โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้น 2 4 6 8 % w/w ที่เวลา 24 ชั่วโมง พบว่าเส้นใยได้มีการกำจัดองค์ประกอบ เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ตามปริมาณของความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ เมื่อปริมาณของความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเส้นใยจะเปื่อยยุ่ยตามความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ รูปที่ 4.3 แสดงเส้นใยของมูลม้าที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 4.3 เป็นภาพของเส้นใยของมูลม้าที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยสารเคมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 2% w/w (ก) 4% w/w (ข) 6% w/w (ค) 8% w/w (ง) ที่เวลา 24 ชั่วโมง

4.2.2 การทดสอบสมบัติทางกายภาพและเคมีของเส้นใยมูลม้า

4.2.2.1 การทดสอบด้วยเทคนิค FT-IR spectroscopy

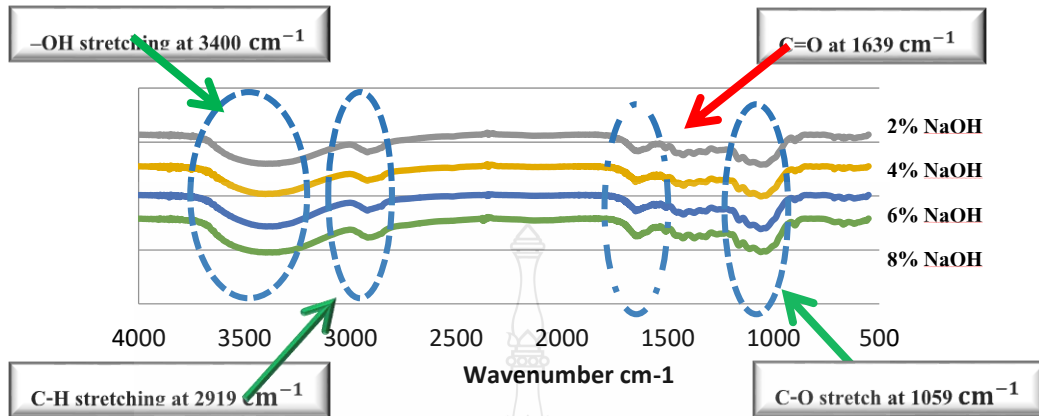
เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เส้นใยจากมูลม้าถูกนำมาปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ หลังจากนั้นนำเส้นใยที่เตรียมได้ไปวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค FT-IR spectroscopy พบว่ามีหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 FT-IR Spectrum ของมูลม้า

ลำดับที่	ช่วงความยาวคลื่น (cm^{-1})	โครงสร้างทางเคมี	องค์ประกอบของเส้นใย ธรรมชาติ
1	3,600 – 2,800	-OH	เซลลูโลส
2	1,770 – 1710	C=O	เฮมิเซลลูโลส
3	1,250 – 1750	C-O-C	ลิกนิน
4	1,100 – 1000	C=O	เฮมิเซลลูโลส

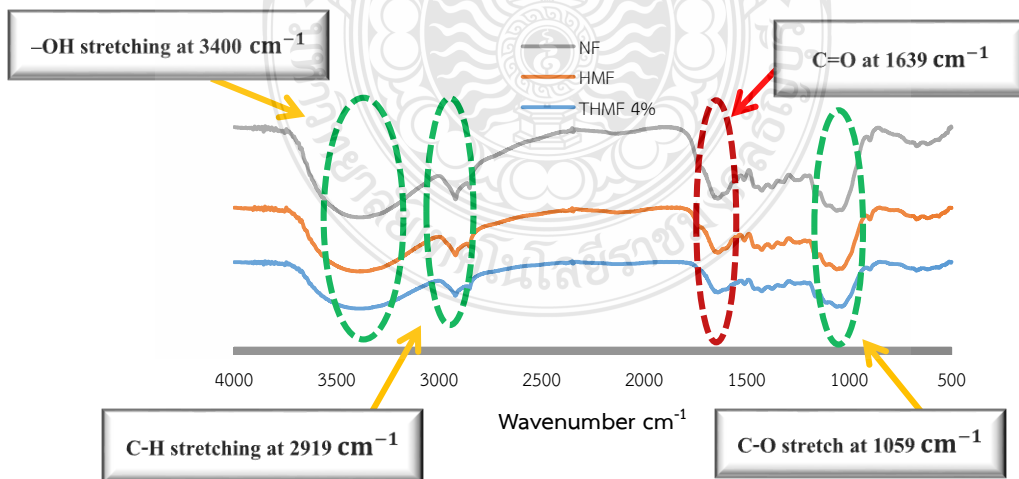
รูปที่ 4.4 แสดง FT-IR Spectrum ของเส้นใยจากมูลม้าถูกนำมาปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จะเห็นว่าช่วงความยาวคลื่น $1,059 \text{ cm}^{-1}$ เป็นช่วงวิเคราะห์ของเฮมิเซลลูโลส โดยแสดงถึงหมู่ฟังก์ชัน C-OH เป็นโครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส แสดงการเพิ่มขึ้นของเฮมิเซลลูโลส และพีคที่ $1,639 \text{ cm}^{-1}$ แสดงถึงหมู่ฟังก์ชันของ C=O stretching จากหมู่คาร์บอนิลซึ่งอยู่ในโครงสร้างของลิกนินที่มีปริมาณลดลงตามความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ และช่วงความยาวคลื่น $2,919 \text{ cm}^{-1}$ แสดงการสั่นของหมู่ aliphatic -CH และช่วงความยาวคลื่น $3,400 \text{ cm}^{-1}$ แสดงการสั่นของ -OH ในเซลลูโลสที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ แต่ที่ความเข้มข้นมากกว่า 4% w/w นั้นพีคลดลงอย่างไม่มีนัยสำคัญ

ดังนั้นสถานะที่จะใช้ในการเตรียมเส้นใยจากมูลม้าที่ผ่านการปรับสภาพผิว ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ คือ 4% w/w เป็นเวลา 24 ชั่วโมง



รูปที่ 4.4 FT-IR Spectrum ของ เส้นใยจากมูลม้าที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารเคมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น 2 4 6 8 % w/w ที่เวลา 24 ชั่วโมง (THMF)

เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างเส้นใยจากธรรมชาติห่านเนเปี่ย เส้นใยจากมูลม้า และเส้นใยจากมูลม้าที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 4% เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าเส้นใยที่ไม่ผ่านกระบวนการปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารเคมี หรือเส้นใยที่ออกจากกระบวนการย่อยของม้าเหล่านั้น มีสมบัติที่เทียบเท่ากับเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ดังรูปที่ 4.5 ทั้งนี้เนื่องจากม้าเป็นสัตว์ที่มีกระเพาะเดี่ยว โดยอาศัยจุลินทรีย์ในการย่อยอาหาร ทำให้เกิดการย่อยอาหารได้บางส่วน เช่น คาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน จึงส่งผลให้ลิกนินหลุดออก ทำให้เหลือเซลลูโลสจำนวนมาก



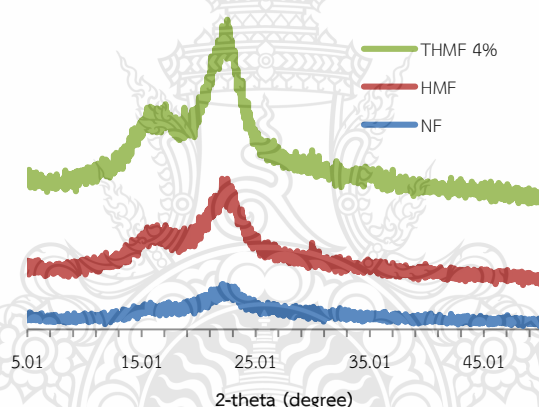
รูปที่ 4.5 FT-IR Spectrum ของเส้นใยธรรมชาติ (NF) เส้นใยจากมูลม้า (HMF) และเส้นใยจากมูลม้า ที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารเคมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 4 %w/w ที่เวลา 24 ชั่วโมง (THMF)

4.2.2.2 ผลการทดสอบเทคนิค XRD

ลักษณะโครงสร้างผลึกของเส้นใยจากมูลม้าที่เตรียมได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD พบพีคที่ 22.1 องศา เป็นพีคของเซลลูโลส ที่แสดงถึงปริมาณผลึกของเซลลูโลสที่อยู่ในเส้นใยมูลม้า พบว่าปริมาณเซลลูโลสจากเส้นใยมูลม้าสามารถเทียบเท่ากับเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์ได้ดังรูปที่ 4.6

นอกจากนี้เพื่อเปรียบเทียบผลของการใช้กลไกทางธรรมชาติ (กระบวนการย่อยอาหาร) และกลไกการปรับปรุงพื้นผิวด้วยกระบวนการทางเคมี เส้นใยจากมูลม้าถูกปรับปรุงด้วย สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นความเข้มข้น 4% w/w ที่เวลา 24 ชั่วโมง

ในรูปที่ 4.5 และ 4.6 พบว่าเส้นใยจากมูลม้าที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยกระบวนการย่อยของม้ามี่ปริมาณลิกนินลดลงที่ใกล้เคียงกับเส้นใยจากมูลม้าที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์ดังนั้นกระบวนการย่อยอาหารของม้านั้นสามารถเป็นวิธีทางเลือกให้กับการปรับปรุงผิวเส้นใยที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและเป็นการนำวัสดุของเสียจากฟาร์มสัตว์มาใช้ประโยชน์สร้างมูลค่าเพิ่มได้

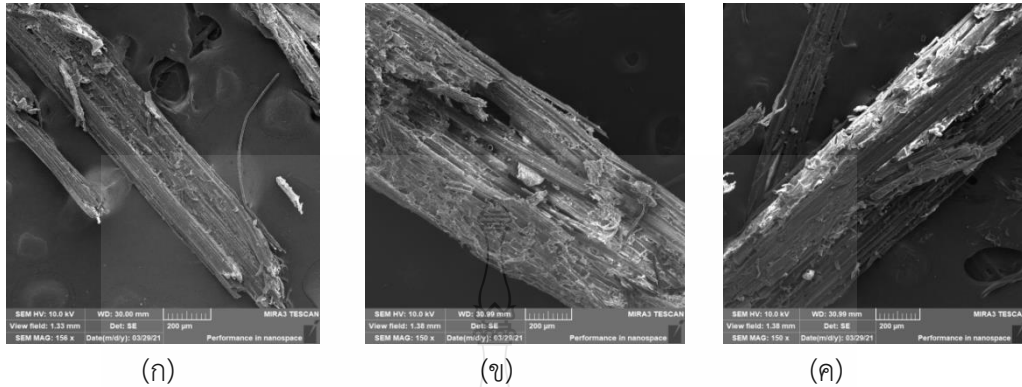


รูปที่ 4.6 XRD pattern ของเส้นใยธรรมชาติ (NF) เส้นใยจากมูลม้า (HMF) และเส้นใยจากมูลม้าที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารเคมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 4 % w/w ที่เวลา 24 ชั่วโมง (THMF)

4.2.2.3 ผลการทดสอบเทคนิค Scanning Electron Microscope (SEM)

เพื่อศึกษาสัณฐานวิทยาและลักษณะพื้นผิวของเส้นใยธรรมชาติ เส้นใยจากมูลม้าและเส้นใยจากมูลม้าที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เส้นใยที่เตรียมได้ ถูกทดสอบด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ที่กำลังขยาย 200 μm พบว่าเส้นใยเนเปี่ยจากธรรมชาติมีลักษณะพื้นผิวเรียบ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินลัดตัวกันแน่น ดังแสดงในรูปที่ 4.7 (ก) โดยที่เส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยกระบวนการย่อยของม้า จะเห็นได้ว่าเส้นใยเริ่มมีการแตกส่วนออกจากกัน เนื่องจากผลของลิกนินที่หลุดออกทำให้เส้นใยมีการคลายตัวกัน ทำให้พื้นผิวเริ่มมีความขรุขระ และเส้นใยที่ผ่านการย่อยของม้าที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยสารเคมีโซเดียมไฮดรอกไซด์

4% w/w ที่เวลา 24 ชั่วโมง จะเห็นได้ชัดว่ามีการคลายตัวของเส้นใย ของการปรับสภาพผิวด้วยสารเคมี โซเดียมไฮดรอกไซด์ 4% w/w ที่เวลา 24 ชั่วโมง ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 สัณฐานวิทยาของ เส้นใยเนเปีย (ก) เส้นใยจากมูลม้า (ข) เส้นใยจากมูลม้าที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยสารเคมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4% w/w ที่เวลา 24 ชั่วโมง (ค)

4.3 สมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบจากมูลม้า

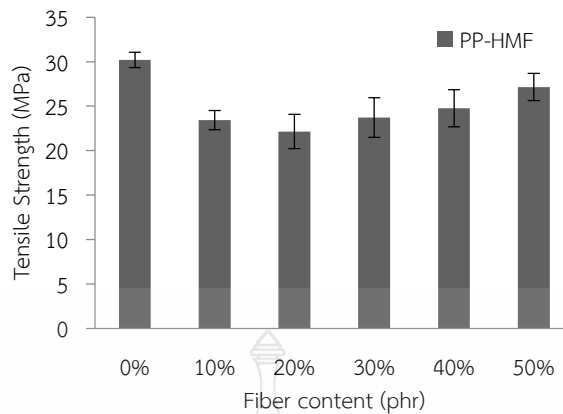
การทดสอบความเป็นไปได้ในการนำเส้นใยธรรมชาติจากมูลสัตว์มาเป็นสารเสริมแรงในวัสดุคอมโพสิตนั้น ถูกศึกษาด้วยการนำเส้นใยที่เตรียมได้นำมาทดลองขึ้นรูปเป็นเส้นใยเสริมแรงในวัสดุคอมโพสิตด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูป (Compression molding) โดยวัสดุเนื้อ (Matrix) ที่สนใจ คือ พลาสติกทั่วไป (Commodity plastic) คือ โพลีโพรพิลีน (Polypropylene) และพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene) โดยศึกษาผลของปริมาณของเส้นใยต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตที่ขึ้นรูปได้

4.3.1 วัสดุคอมโพสิตพอลิโพรพิลีนผสมมูลม้า (HMF/ Polypropylene Composite)

เส้นใยจากมูลม้าที่เตรียมได้ถูกนำไปขึ้นรูปกับพอลิโพรพิลีนด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูป ที่สัดส่วนเส้นใย 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 phr เพื่อศึกษาผลของปริมาณเส้นใยต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตที่ขึ้นรูปได้

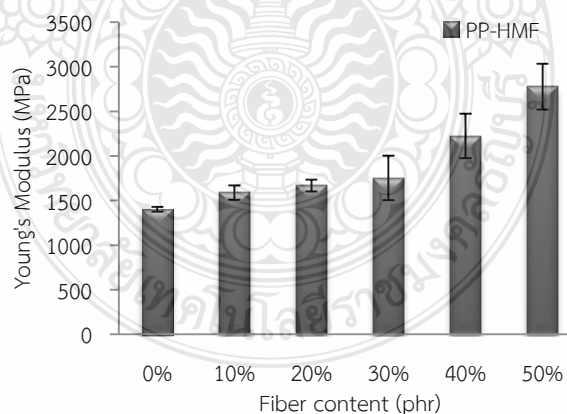
4.3.1.1 ความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength, MPa)

จากการศึกษาผลของวัสดุคอมโพสิตพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยเส้นใยมูลม้าที่ (PP/HMF) จากการผลการทดสอบการทนต่อแรงดึง จากอัตราส่วนผสมที่ทำการผสมของ พอลิโพรพิลีน และเส้นใยมูลม้า 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 phr



รูปที่ 4.8 Tensile Strength (MPa) ของพอลิโพรพิลีนคอมโพสิตกับเส้นใยจากมูลม้า (PP-HMF) โดยการผสมเส้นใยมูลม้าปริมาณที่ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 phr

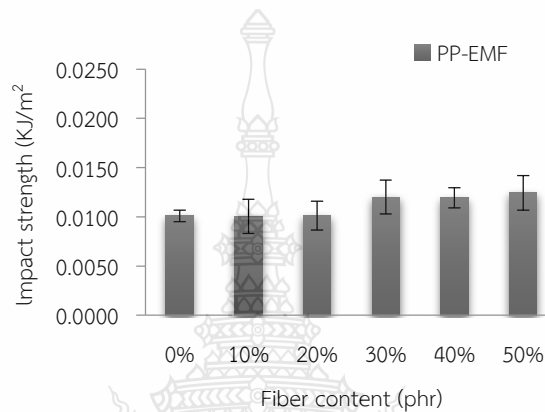
วัสดุคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยที่ได้จากมูลม้า ในอัตราส่วนผสมที่ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 phr ดังรูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength , MPa) กับปริมาณของเส้นใย พบว่าค่าการต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้นตามปริมาณของเส้นใยที่เพิ่มขึ้น และพบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นของค่า Young's Modulus อย่างมีนัยสำคัญตามปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้นดังรูปที่ 4.9 จากการศึกษาที่ 50 phr ของ PP/HMF มีค่าสูงถึง 2,927 MPa เนื่องจากเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกระบวนการย่อยของม้า จะทำให้พื้นผิวของเส้นใยมีขรุขระมากขึ้น เพราะมีการสกัดลิกนินออกจากเส้นใยในกระบวนการย่อยของม้า ทำให้การยึดติดระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์พอลิเมอร์เพิ่มขึ้น



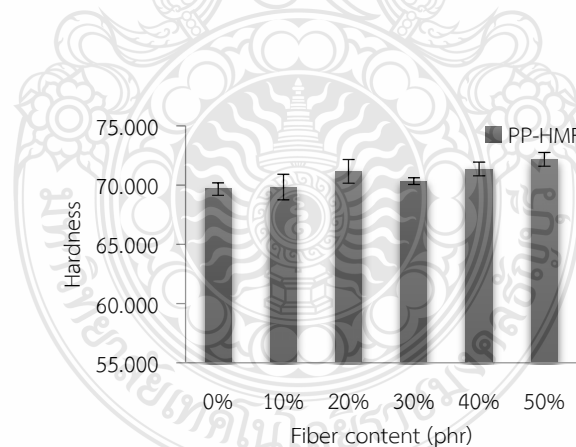
รูปที่ 4.9 Young's Modulus (MPa) ของพอลิโพรพิลีนคอมโพสิตกับเส้นใยจากมูลม้า (PP-HMF) โดยการผสมเส้นใยมูลม้าปริมาณที่ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 phr

4.3.1.2 ผลการทดสอบความต้านแรงกระแทก (Impact strength, KL/m^2)

จากการทดสอบแรงกระแทกของพอลิโพรพิลีนคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยที่ได้จากมูลม้า โดยมีอัตราส่วนผสมที่ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 phr มีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งแสดงให้เห็นว่าการทนต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.10 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด แต่ PP/HMF ที่ 50 phr มีค่าการทนต่อแรงกระแทกสูง เนื่องจากเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพจากกระบวนการย่อยของม้า จะมีพื้นผิวขรุขระมากขึ้น เพราะมีการสกัดลิกนินออกจากเส้นใย ทำให้การยึดติดระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์พอลิเมอร์เพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.10 Impact strength (kl/m²) ของพอลิโพรพิลีน (PP-HMF) โดยการผสมเส้นใยมูลม้าปริมาณที่ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 phr



รูปที่ 4.11 Hardness ของพอลิโพรพิลีน (PP-HMF) โดยการผสมเส้นใยจากมูลม้าปริมาณที่ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 phr

4.3.1.3 ผลการทดสอบความแข็ง (Hardness)

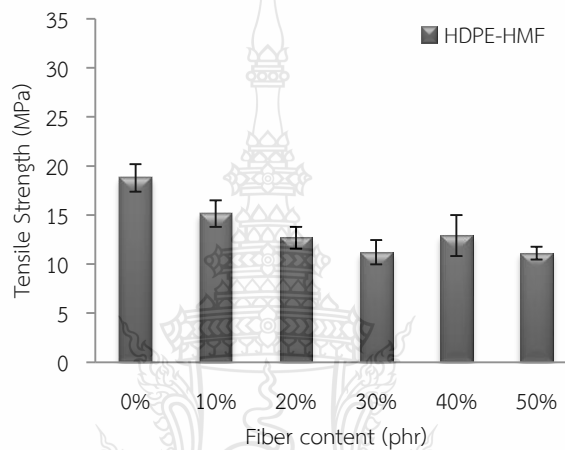
จากการทดสอบความแข็งของพอลิโพรพิลีนคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยที่ได้จากมูลม้า โดยมีอัตราส่วนผสมที่ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 phr มีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งแสดงให้เห็นว่าความ

แข็งของวัสดุคอมโพสิตมีค่าสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อปริมาณเส้นใยที่เติมลงไปสูงขึ้น ดังรูปที่ 4.11 มีผลไปในทิศทางเดียวกันกับการทดสอบแรงกระแทก ที่มีผลเพิ่มขึ้นตามปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้น

4.3.2 High Density Polyethylene (HDPE) พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงคอมโพสิตกับเส้นใยจากมูลม้า (HMF)

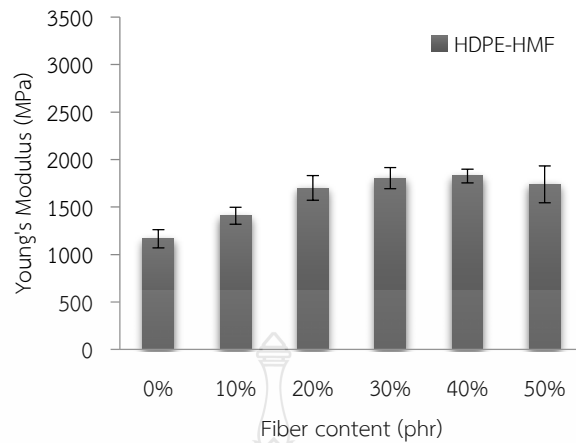
4.3.2.1 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึง Tensile Strength (MPa)

จากการศึกษาผลของวัสดุคอมโพสิตพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงเสริมแรงด้วยเส้นใยมูลม้า (HDPE/HMF) จากการผลการทดสอบการทนต่อแรงดึง จากอัตราส่วนผสมที่ทำการผสมของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงและเส้นใยมูลม้า 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 phr



รูปที่ 4.12 Tensile Strength (MPa) ของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงคอมโพสิตกับเส้นใยจากมูลม้า (HDPE-HMF) โดยการผสมเส้นใยมูลม้าปริมาณที่ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 phr

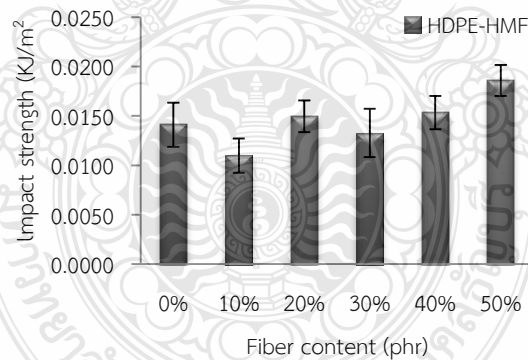
วัสดุคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยที่ได้จากมูลม้า ในอัตราการผสมที่ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 phr ดังรูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength, MPa) กับปริมาณของเส้นใย พบว่าค่าการต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้นตามปริมาณของเส้นใยที่เพิ่มขึ้น และพบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นของค่า Young's Modulus อย่างมีนัยสำคัญตามปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้นดังรูปที่ 4.13 จากการศึกษาที่ 40 phr ของ PP/HMF มีค่าสูงถึง 1,909 MPa เนื่องจากเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกระบวนการย่อยของม้า จะทำให้พื้นผิวของเส้นใยมีขรุขระมากขึ้น เพราะมีการสกัดลิกนินออกจากเส้นใยในกระบวนการย่อยของม้า ทำให้การยึดติดระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์พอลิเมอร์เพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.13 Young's Modulus (MPa) ของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงคอมโพสิตกับเส้นใยจากมูลม้า (HDPE-HMF) โดยการผสมเส้นใยมูลม้าปริมาณที่ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 phr

4.3.2.2 ผลการทดสอบความต้านแรงกระแทก (Impact strength, kJ/m²)

จากการศึกษาผลของวัสดุคอมโพสิตพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงเสริมแรงด้วยเส้นใยมูลม้าที่ (HDPE/HMF) จากการผลการทดสอบการทนต่อแรงดึง จากอัตราส่วนผสมที่ทำการผสมของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงและเส้นใยมูลม้า 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 phr

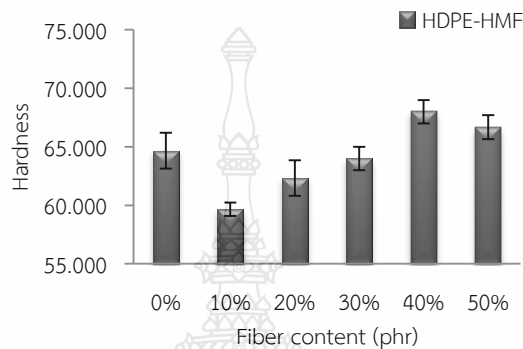


รูปที่ 4.14 Impact strength (kJ/m²) ของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE-HMF) โดยการผสมเส้นใยจากมูลม้าปริมาณที่ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 phr

จากการทดสอบแรงกระแทกของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง คอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยที่ได้จากมูลม้า โดยมีอัตราส่วนผสมที่ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 phr มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการทนต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.14 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด แต่ PP/HMF ที่ 50 phr มีค่าการทนต่อแรงกระแทกสูง เนื่องจากการสกัดลิกนินออกจากเส้นใย ทำให้การยึดติดระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์พอลิเมอร์เพิ่มขึ้น

4.3.2.3 ผลการทดสอบความแข็ง (Hardness)

จากการทดสอบความแข็งของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงคอมโพสิต เสริมแรงด้วยเส้นใยที่ได้จากมูลม้า โดยมีอัตราส่วนผสมที่ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 phr มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความแข็งของวัสดุคอมโพสิตมีค่าสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อปริมาณเส้นใยที่เติมลงไป สูงขึ้น ดังรูปที่ 4.15 มีผลไปในทิศทางเดียวกันกับการทดสอบแรงกระแทก ที่มีผลเพิ่มขึ้นตามปริมาณ เส้นใยที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.15 Hardness ของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE-HMF) โดยการผสมเส้นใยจากมูลม้า ปริมาณที่ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 phr

4.4 เส้นใยจากมูลช้าง

ช้างเป็นสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม เป็นสัตว์กินพืช แต่มีโครงสร้างระบบทางเดินอาหารคล้ายกับม้า มีพฤติกรรมการกินที่กินอย่างต่อเนื่อง ใช้การบดเคี้ยวเพื่อให้เส้นใยขนาดให้เล็กลง แล้วใช้เอนไซม์ต่างๆ ทำหน้าที่ย่อยคาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน เพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงาน ส่งผลให้ลิกนินหลุดออกเป็นบางส่วน และทำให้ผิวเกิดความขรุขระ จึงทำให้ได้ปริมาณเซลลูโลสสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยธรรมชาติ แต่ สัตว์สองชนิดนี้มีขนาดของกระเพาะอาหารที่ไม่เท่ากันสมมติฐานว่า กระบวนการย่อยของช้าง ก็น่าจะ ส่งผลไปในทิศทางกับมูลม้า แต่ประสิทธิภาพอาจจะแตกต่างกัน รูปที่ 4.16 แสดงเส้นใยที่ได้จากมูลช้าง หลังจากทำความสะอาด[48]



รูปที่ 4.16 เส้นใยที่ได้จากมูลช้าง

4.4.1 เส้นใยจากมูลช้างที่มีการปรับสภาพผิวด้วยกระบวนการ Alkalization

จากการศึกษาการปรับสภาพผิวเส้นใยที่ได้จากมูลช้างด้วยสารเคมี โดยใช้สารเคมี โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้น 2 4 6 8 % w/w ที่เวลา 24 ชั่วโมง พบว่าเส้นใยได้มีการกำจัดองค์ประกอบเช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ตามปริมาณของความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ เมื่อปริมาณของความเข้มข้นเส้นใยจะเปื่อยตามความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ดังนั้นเพื่อนำไปศึกษาเปรียบเทียบกับเส้นใยธรรมชาติ และเส้นใยจากมูลช้าง สภาวะที่เหมาะสม คือ การปรับสภาพผิวที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 4% w/w ที่เวลา 24 ชั่วโมง รูปที่ 4.10 แสดงเส้นใยของมูลช้างที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ



รูปที่ 4.17 เป็นภาพของเส้นใยจากมูลช้างที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยสารเคมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น w/w (ก) 4% w/w (ข) 6% w/w (ค) 8% w/w (ง) ที่เวลา 24 ชั่วโมง

4.4.2 การทดสอบสมบัติทางกายภาพและเคมีของเส้นใยมูลช้าง

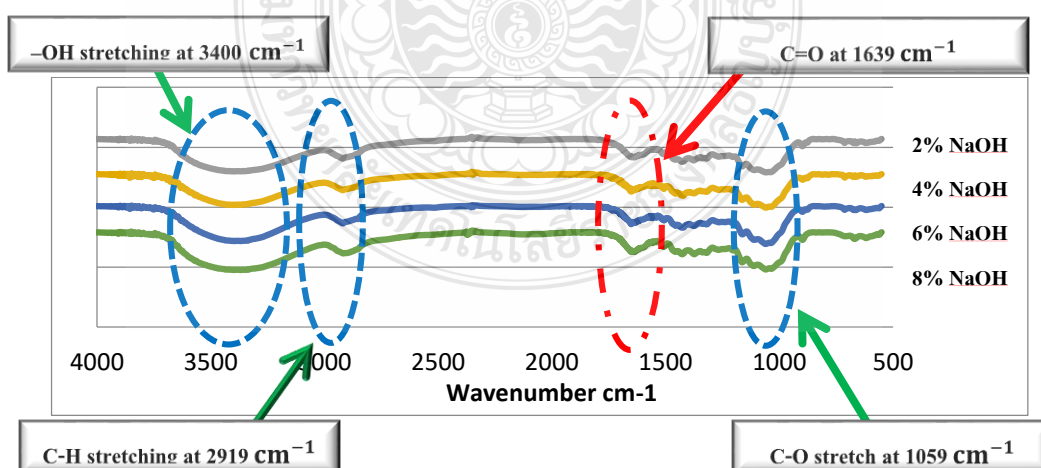
4.4.2.1 ผลการทดสอบเทคนิค FT-IR spectroscopy

เมื่อนำเส้นใยที่ได้จากมูลช้างไปวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเครื่อง FT-IR spectroscopy พบว่ามีเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน จะแสดงในตารางที่ 4.2 มีพีคที่ใช้ในการวิเคราะห์อยู่ 4 ช่วง

ตารางที่ 4.2 FT-IR Spectrum ของมูลช้าง

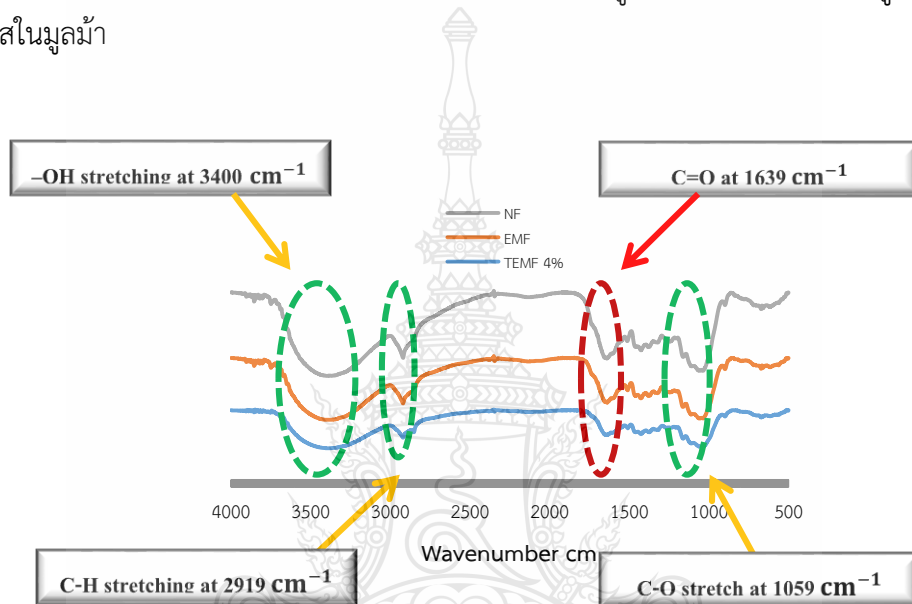
ลำดับที่	ช่วงความยาวคลื่น (cm^{-1})	โครงสร้างทางเคมี	องค์ประกอบของเส้นใย ธรรมชาติ
1	3,600 – 2,800	-OH	เซลลูโลส
2	1,770 – 1710	C=O	เฮมิเซลลูโลส
3	1,250 – 1750	C-O-C	ลิกนิน
4	1,100 – 1000	C=O	เฮมิเซลลูโลส

จากการศึกษาพบว่าเส้นใยที่ได้จากมูลช้างที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยสารเคมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 2 4 6 8% w/w เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สอดคล้องกับการปรับสภาพผิวเส้นใยที่ได้จากมูลม้าด้วยสารเคมี โดยใช้สารเคมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จะเห็นว่าช่วงความยาวคลื่น $1,059 \text{ cm}^{-1}$ เป็นช่วงวิเคราะห์ของเฮมิเซลลูโลส โดยแสดงถึงหมู่ฟังก์ชัน C-OH ในเฮมิเซลลูโลสเพิ่มขึ้น และพีคที่ $1,639 \text{ cm}^{-1}$ เป็นสัญญาณ C=O stretching จากหมู่คาร์บอนิลซึ่งอยู่ในโครงสร้างของลิกนินมีปริมาณลดลงตามปริมาณความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ และช่วงความยาวคลื่น $2,919 \text{ cm}^{-1}$ แสดงการสั่นของหมู่ -CH และช่วงความยาวคลื่น $3,400 \text{ cm}^{-1}$ แสดงการสั่นของ aliphatic -OH ในเซลลูโลสที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ดังแสดงในรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.18 FT-IR Spectrum ของเส้นใยจากมูลช้างที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารเคมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 2 4 6 8 % w/w ที่เวลา 24 ชั่วโมง (TEMF)

เมื่อนำเส้นใยที่ได้จากมูลช้างไปวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเครื่อง FT-IR spectroscopy พบว่ามีเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน พบว่าจะมีหมู่ $-CH_3$ asymmetric และ C-H symmetric ของลิกนินอยู่ในตำแหน่งคลื่นที่ 1639 cm^{-1} ของเส้นใยที่ผ่านกระบวนการย่อยจากช้าง แสดงให้เห็นลิกนินที่ผิวเส้นใยว่ามีปริมาณลดลง เมื่อเทียบกับเส้นใยที่ได้จากธรรมชาติ ดังรูปที่ 4.18 ทั้งนี้เนื่องจากช้างเป็นสัตว์ที่มีสองกระเพาะ แตกต่างจากม้าที่มีกระเพาะเดียว แต่มีกระบวนการย่อยที่เหมือนกัน โดยใช้จุลินทรีย์ในการย่อยอาหาร เนื่องด้วยช้างมีกระเพาะอาหารสองกระเพาะอาจทำให้เกิดการย่อยได้ละเอียดกว่าม้า ที่มีเพียงกระเพาะเดียว อาจส่งผลให้มูลช้างมีปริมาณของเซลลูโลสที่น้อยกว่าเซลลูโลสในมูลม้า



รูปที่ 4.19 FT-IR Spectrum ของเส้นใยธรรมชาติ (NF) เส้นใยจากมูลช้าง (EMF) และเส้นใยจากมูลช้างที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารเคมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 4 %w/w ที่เวลา 24 ชั่วโมง (TEMF)

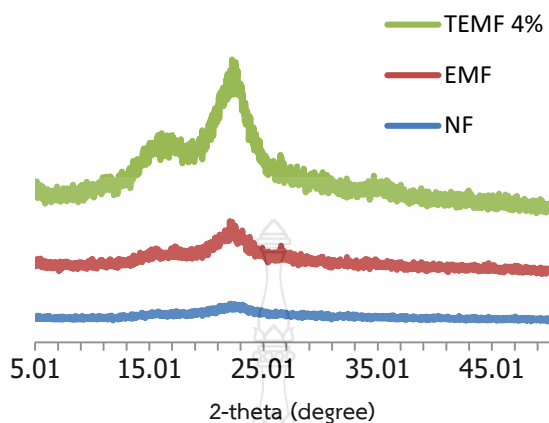
4.4.2.2 ผลการทดสอบเทคนิค XRD

ลักษณะโครงสร้างผลึกของเส้นใยจากมูลช้างที่เตรียมได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD พบพีคที่ 22 .1 องศา เป็นพีคของเซลลูโลส ที่แสดงถึงปริมาณผลึกของเซลลูโลสที่อยู่ในเส้นใยมูลช้าง พบว่าพีคของเซลลูโลสไม่ชัดเจนเท่ามูลม้า แต่ก็ยังแสดงความเข้มข้นของเซลลูโลส มากกว่าเส้นใยธรรมชาติ ที่ไม่ผ่านกระบวนการปรับสภาพผิวใดๆ

นอกจากนี้เพื่อเปรียบเทียบผลของการใช้กลไกทางธรรมชาติ (กระบวนการย่อยอาหาร) และกลไกการปรับปรุงพื้นผิวด้วยกระบวนการทางเคมี เส้นใยจากมูลช้างถูกปรับปรุงด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ในรูปที่ 4.18 และ 4.19 พบว่าเส้นใยจากมูลม้าที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยกระบวนการย่อยของช้างมีปริมาณลิกนินลดลงที่ใกล้เคียงกับเส้นใยจากมูลช้างที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ดังนั้นกระบวนการย่อยอาหารของช้างนั้นสามารถเป็นวิธีทางเลือกให้กับการ

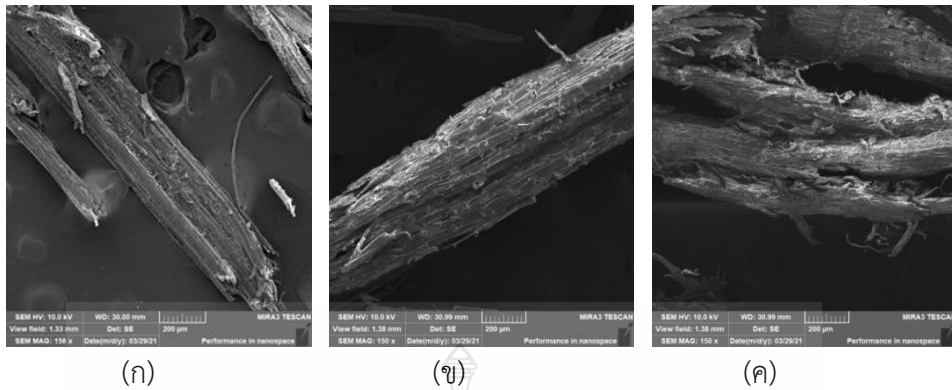
ปรับปรุงผิวเส้นใยที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและเป็นการนำวัสดุของเสียจากฟาร์มสัตว์มาใช้ประโยชน์
สร้างมูลค่าเพิ่มได้



รูปที่ 4.20 XRD pattern ของเส้นใยธรรมชาติ (NF) เส้นใยจากมูลช้าง (EMF) และเส้นใยจากมูลช้างที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารเคมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 4 % w/w ที่เวลา 24 ชั่วโมง (TEMF)

4.4.2.3 ผลการทดสอบเทคนิค Scanning Electron Microscope (SEM)

เพื่อศึกษาสัญญาณวิทยาและลักษณะพื้นผิวของเส้นใยธรรมชาติ เส้นใยจากมูลช้างและเส้นใยจากช้างที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เส้นใยที่เตรียมได้ถูกทดสอบด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ที่กำลังขยาย 200 μm พบว่า 200 เส้นใยที่ผ่านการย่อยจากมูลช้าง ผิวของเส้นใยเริ่มมีความขรุขระ ดังแสดงในรูปที่ 4.20 (ก) แต่เส้นใยจากมูลช้างที่ผ่านการปรับปรุงผิวนั้นแสดงความขรุขระมากกว่า เส้นใยจากมูลช้างธรรมดา มาก อย่างเห็นได้ชัด ดังรูปที่ 4.20 (ข) Hanna Brodowsky และคณะ (2012) ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงสภาพเส้นใยจากป่านด้วยต่าง จากนั้นจึงทำการดัดแปลงสภาพผิวของเส้นใยเพื่อเพิ่มการยึดเกาะกันที่ดีขึ้นระหว่างเส้นใยป่านและ อีพอกซีเรซิน โดยใช้โซเลนเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ที่เตรียมโดยให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในน้ำที่ pH 4.5 จากนั้นนำมากระจายตัวในอีพอกซีเรซินที่อยู่ในรูปของเหลวแล้วใช้เวลา 1 ชั่วโมง จึงทำการผสมด้วยระบบ two roller และทำการศึกษาผลของการผสมเส้นใยเพื่อเสริมแรงอีพอกซีเรซิน พบว่าคอมโพสิตที่เส้นใยปรับปรุงด้วยด่างนั้นให้ ค่า shear strength เพิ่มขึ้นซึ่งแสดงถึงการยึดเกาะกันที่ดีขึ้น และเมื่อศึกษาด้วยเทคนิค SEM และ AFM พบว่าที่ผิวของเส้นใยที่ทำการดึงออกจากอีพอกซีเมทริกซ์แสดงให้เห็นถึงการยึดเกาะกัน ระหว่างเส้นใยที่ปรับปรุงผิวด้วย Silane coupling agent และอีพอกซีเรซินที่ดีขึ้น ได้แสดงให้เห็นว่าผิวของเส้นใยที่หลุดออกมีลักษณะเหมือนถูกอีพอกซีเมทริกซ์เคลือบไว้ ซึ่งเกิดจากเส้นใยที่ปรับปรุงผิวแล้วกับอีพอกซีเรซินเกิดพันธะโควาเลนต์กันทำให้การยึดเกาะที่ผิวมีความแข็งแรงมากขึ้น[34]



รูปที่ 4.21 สัณฐานวิทยาของ เส้นใยเนเปีย (ก) เส้นใยจากมูลช้าง (ข) เส้นใยจากมูลช้างที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยสารเคมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4% w/w ที่เวลา 24 ชั่วโมง (ค)

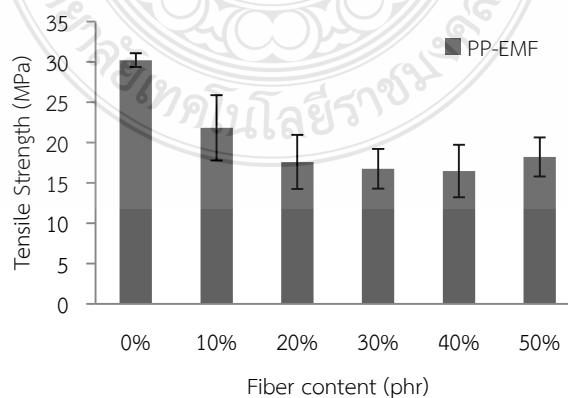
4.5 สมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบจากมูลช้าง

การทดสอบความเป็นไปได้ในการนำเส้นใยธรรมชาติจากมูลช้างมาเป็นสารเสริมแรงในวัสดุคอมโพสิตนั้น ถูกศึกษาด้วยการนำเส้นใยที่เตรียมได้นำมาทดลองขึ้นรูปเป็นเส้นใยเสริมแรงในวัสดุคอมโพสิตด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูป (Compression molding) โดยวัสดุเนื้อ (Matrix) ที่สนใจ คือพลาสติกทั่วไป (Commodity plastic) คือ โพลีโพรพิลีน (Polypropylene) และพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene) โดยศึกษาผลของปริมาณของเส้นใยต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตที่ขึ้นรูปได้

4.5.1 Polypropylene (PP) โพลีโพรพิลีนคอมโพสิตกับเส้นใยจากมูลช้าง (EMF)

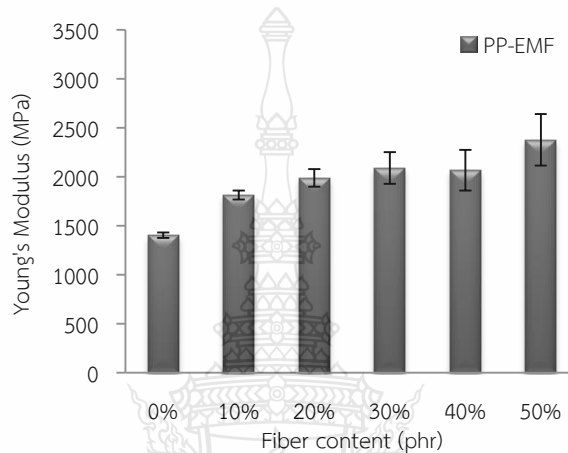
4.5.1.1 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength, MPa)

จากการศึกษาผลของวัสดุคอมโพสิตโพลีโพรพิลีนเสริมแรงด้วยเส้นใยจากมูลช้างที่ (PP/EMF) จากการผลการทดสอบการทนต่อแรงดึง จากอัตราส่วนผสมที่ทำการผสมของโพลีโพรพิลีนและเส้นใยจากมูลช้าง 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 phr



รูปที่ 4.22 Tensile Strength (MPa) ของโพลีโพรพิลีนคอมโพสิตกับเส้นใยจากมูลช้าง (PP-EMF) โดยการผสมเส้นใยมูลช้างปริมาณที่ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 phr

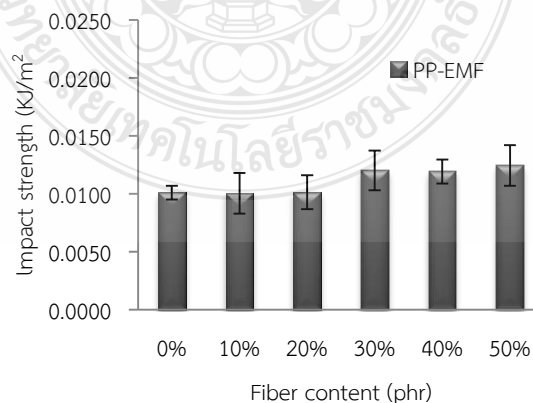
วัสดุคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยที่ได้จากมูลช้าง ในอัตราส่วนผสมที่ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 phr ดังรูปที่ 4.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength , MPa) กับปริมาณของเส้นใย และพบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นของค่า Young's Modulus อย่างมีนัยสำคัญตามปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้นดังภาพที่ 4.23 จากการศึกษาที่ 50 phr ของ PP/EMF มีค่าสูงถึง 2,427 MPa เนื่องจากเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกระบวนการย่อยของช้าง จะทำให้พื้นผิวของเส้นใยมีขรุขระมากขึ้น เพราะมีการสกัดลิกนินออกจากเส้นใยในกระบวนการย่อยของช้าง ทำให้การยึดติดระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์พอลิเมอร์เพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.23 Young's Modulus (MPa) ของพอลิโพรพิลีนคอมโพสิตกับเส้นใยจากมูลช้าง (PP-EMF) โดยการผสมเส้นใยมูลช้างปริมาณที่ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 phr

4.5.1.2 ผลการทดสอบความต้านแรงกระแทก (Impact strength, kJ/m²)

จากการศึกษาผลของวัสดุคอมโพสิตพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยเส้นใยมูลช้างที่ (PP/EMF) จากการผลการทดสอบการทนต่อแรงดึง จากอัตราส่วนผสมที่ทำการผสมของพอลิโพรพิลีนและเส้นใยมูลช้าง 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 phr

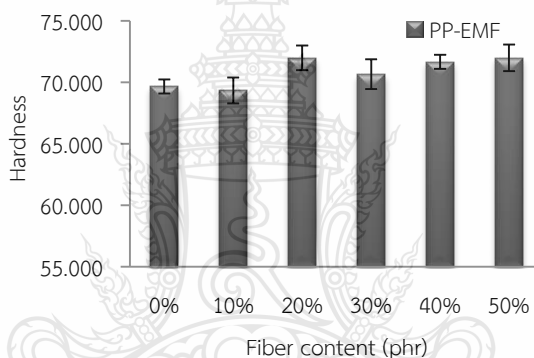


รูปที่ 4.24 Impact strength (kJ/m²) ของพอลิโพรพิลีน (PP-EMF) โดยการผสมเส้นใยจากมูลช้าง ปริมาณที่ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 phr

จากการทดสอบแรงกระแทกของพอลิโพรพิลีนคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยที่ได้จากมูลช้าง โดยมีอัตราส่วนผสมที่ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 phr มีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งแสดงให้เห็นว่าการทนต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.24 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด แต่ PP/EMF ที่ 50 phr มีค่าการทนต่อแรงกระแทกสูง เนื่องจากเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพจากกระบวนการย่อยของช้าง จะมีพื้นผิวขรุขระมากขึ้น เพราะมีการสกัดลิกนินออกจากเส้นใย ทำให้การยึดติดระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์พอลิเมอร์เพิ่มขึ้น

4.5.1.3 ผลการทดสอบความแข็ง (Hardness)

จากการทดสอบความแข็งของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยที่ได้จากมูลช้าง โดยมีอัตราส่วนผสมที่ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 phr มีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งแสดงให้เห็นว่าความแข็งของวัสดุคอมโพสิตมีค่าสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อปริมาณเส้นใยที่เติมลงไปสูงขึ้น ดังรูปที่ 4.25 มีผลไปในทิศทางเดียวกันกับการทำสอบแรงกระแทก ที่มีผลเพิ่มขึ้นตามปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้น

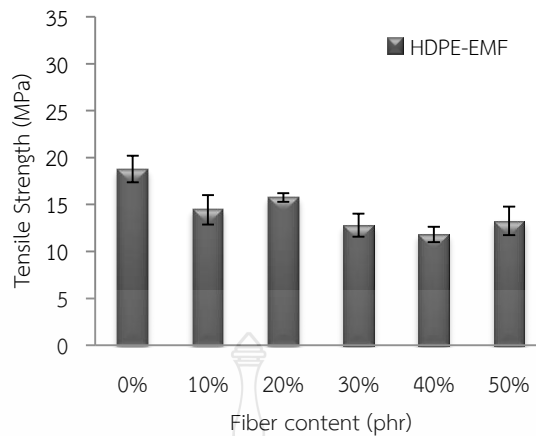


รูปที่ 4.25 Hardness ของพอลิโพรพิลีน (PP-EMF) โดยการผสมเส้นใยจากมูลช้างปริมาณที่ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 phr

4.5.2 High Density Polyethylene (HDPE) พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงคอมโพสิตกับเส้นใยจากมูลช้าง (EMF)

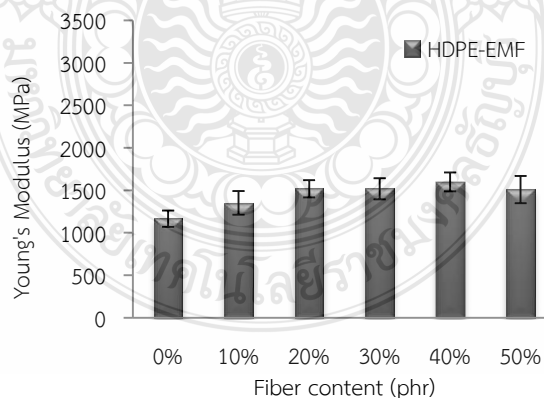
4.5.2.1 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength, MPa)

จากการศึกษาผลของวัสดุคอมโพสิตพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงเสริมแรงด้วยเส้นใยจากมูลช้างที่ (HDPE/EMF) จากการผลการทดสอบการทนต่อแรงดึง จากอัตราส่วนผสมที่ทำการผสมของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงและเส้นใยจากมูลช้าง 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 phr



รูปที่ 4.26 Tensile Strength (MPa) ของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE-EMF) โดยการผสมเส้นใยจากมูลช้างปริมาณที่ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 phr

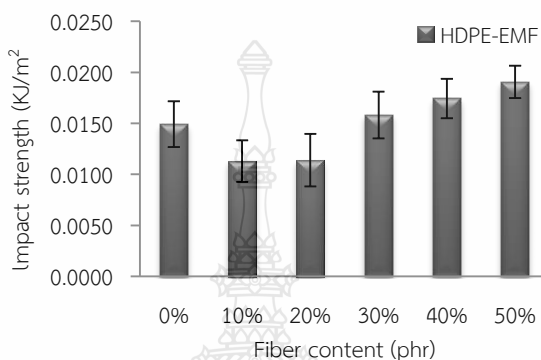
วัสดุคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยที่ได้จากมูลช้าง ในอัตราส่วนผสมที่ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 phr ดังรูปที่ 4.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength , MPa) กับปริมาณของเส้นใย และพบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นของค่า Young's Modulus อย่างมีนัยสำคัญตามปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้นดังภาพที่ 4.27 จากการศึกษาที่ 40 phr ของ HDPE/EMF มีค่าสูงถึง 1736 MPa เนื่องจากเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกระบวนการย่อยของช้าง จะทำให้พื้นผิวของเส้นใยมีขรุขระมากขึ้น เพราะมีการสกัดลิกนินออกจากเส้นใยในกระบวนการย่อยของช้าง ทำให้การยึดติดระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์พอลิเมอร์เพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.27 Young's Modulus (MPa) ของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงคอมโพสิตกับเส้นใยจากมูลช้าง (HDPE-EMF) โดยการผสมเส้นใยมูลช้างปริมาณที่ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 phr

4.5.2.2 ผลการทดสอบความต้านแรงกระแทก (Impact strength, kJ/m²)

จากการศึกษาผลของวัสดุคอมโพสิตพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงเสริมแรงด้วยเส้นใยจากมูลช้างที่ (HDPE/EMF) จากการผลการทดสอบการทนต่อแรงดึง จากอัตราส่วนผสมที่ทำให้การผสมของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงและเส้นใยจากมูลช้าง 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 phr

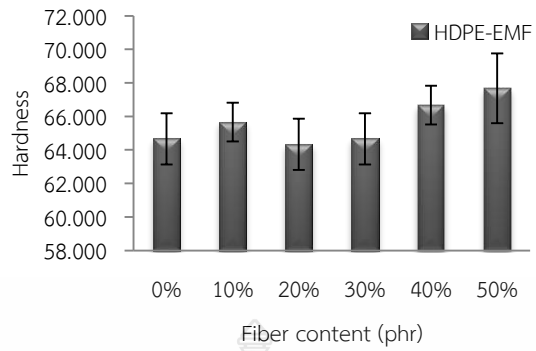


รูปที่ 4.28 Impact strength (kJ/m²) ของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE-EMF) โดยการผสมเส้นใยจากมูลช้างปริมาณที่ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 phr

จากการทดสอบแรงกระแทกของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยที่ได้จากมูลช้าง โดยมีอัตราส่วนผสมที่ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 phr มีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งแสดงให้เห็นว่าการทนต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.28 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด แต่ HDPE/EMF ที่ 50 phr มีค่าการทนต่อแรงกระแทกสูง เนื่องจากเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงสภาพจากกระบวนการย่อยของช้าง จะมีพื้นผิวขรุขระมากขึ้น เพราะมีการสกัดลิกนินออกจากเส้นใย ทำให้การยึดติดระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์พอลิเมอร์เพิ่มขึ้น

4.5.2.3. ผลการทดสอบความแข็ง (Hardness)

จากการทดสอบความแข็งของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยที่ได้จากมูลช้าง โดยมีอัตราส่วนผสมที่ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 phr มีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งแสดงให้เห็นว่าความแข็งของวัสดุคอมโพสิตมีค่าสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อปริมาณเส้นใยที่เติมลงไปสูงขึ้น ดังรูปที่ 4.29 มีผลไปในทิศทางเดียวกันกับการทดสอบแรงกระแทก ที่มีผลเพิ่มขึ้นตามปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.29 Hardness ของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE-EMF) โดยการผสมเส้นใยจากมูลช้าง ปริมาณที่ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 phr



บทที่ 5

สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาเส้นใยเนเปีย (NF) เส้นใยที่ได้จากกระบวนการย่อยของม้ (HMF) และเส้นใยที่ได้จากกระบวนการย่อยของข้าง (EMF) ได้นำมาเปรียบเทียบกับเส้นใยที่ผ่านกระบวนการย่อยของม้ และข้างที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 2 4 6 8 % w/w เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพ และการทดสอบสมบัติเชิงกลในการนำเส้นใยธรรมชาติจากมูลสัตว์มาเป็นสารเสริมแรงในวัสดุคอมโพสิต ศึกษาด้วยการนำเส้นใยที่เตรียมได้นำมาทดลองขึ้นรูปเป็นเส้นใยเสริมแรงในพอลิโพรพิลีน (Polypropylene) และพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene) ที่สัดส่วนเส้นใย 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 phr ด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูป (Compression molding) โดย โดยศึกษาผลของปริมาณของเส้นใยต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตที่ขึ้นรูปได้

5.1 ผลการทดสอบทางกายภาพของเส้นใยจากมูลม้

จากผลการทดสอบวิเคราะห์กายภาพการนำเส้นใยที่ได้จากมูลม้มาเปรียบเทียบการเส้นใยจากมูลม้ที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 4 % w/w เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าปริมาณของลิกนินในเส้นใยจากมูลม้ สามารถเทียบเท่ากับปริมาณของลิกนินเส้นใยจากมูลม้ที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

5.2 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตพอลิเมอร์ผสมเส้นใยจากมูลม้

5.2.1 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตพอลิโพรพิลีนผสมเส้นใยจากมูลม้ (PP/HMF)

จากผลการทดสอบความต้านทานแรงดึง เส้นใยจากมูลม้ที่นำไปขึ้นรูปกับพอลิโพรพิลีนด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูป ที่สัดส่วนเส้นใย 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 phr พบว่าค่าการต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้นตามปริมาณของเส้นใยที่เพิ่มขึ้น และพบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นของค่า Young's Modulus อย่างมีนัยสำคัญตามปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้น จากการศึกษาค่าที่ 50 phr ของ PP/HMF มีค่าสูงถึง 2,927 MPa เนื่องจากเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกระบวนการย่อยของม้ จะทำให้พื้นผิวของเส้นใยมีขรุขระมากขึ้น เพราะมีการสกัดลิกนินออกจากเส้นใยในกระบวนการย่อยของม้ ทำให้การยึดติดระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์พอลิเมอร์เพิ่มขึ้น แต่ถ้าเติมปริมาณเส้นใยมากเกินไปจะทำให้เกิดการจับเป็นก้อน ทำให้ผลของยังมอดูลัสลดลง

จากผลการทดสอบการต้านทานแรงกระแทกและการต้านทานความแข็ง เส้นใยจากมูลม้ที่นำไปขึ้นรูปกับพอลิโพรพิลีนด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูป ที่สัดส่วนเส้นใย 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 phr พบว่ามีการต้านทานความแรงกระแทกและการต้านทานความแข็งเพิ่มขึ้นตามปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพจากกระบวนการย่อยของม้ จะมีพื้นผิวขรุขระมากขึ้น เพราะมีการสกัดลิกนินออกจากเส้นใย ทำให้การยึดติดระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์พอลิเมอร์เพิ่มขึ้น

5.2.2 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงผสมมูลม้า (HDPE/HMF)

จากผลการทดสอบความต้านทานแรงดึง เส้นใยจากมูลม้าที่นำไปขึ้นรูปกับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูป ที่สัดส่วนเส้นใย 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 phr พบว่าค่าการต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้นตามปริมาณของเส้นใยที่เพิ่มขึ้น และพบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นของค่า Young's Modulus อย่างมีนัยสำคัญตามปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้น จากการศึกษาที่ 40 phr ของ HDPE/HMF มีค่าสูงถึง 1,909 MPa เนื่องจากเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกระบวนการย่อยของม้า จะทำให้พื้นผิวของเส้นใยมีขรุขระมากขึ้น เพราะมีการสกัดลิกนินออกจากเส้นใยในกระบวนการย่อยของม้า ทำให้การยึดติดระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์พอลิเมอร์เพิ่มขึ้น แต่ถ้าเติมปริมาณเส้นใยมากเกินไปจะทำให้เกิดการจับเป็นก้อน ทำให้ผลของยังมอดุลัสลดลง

จากผลการทดสอบการต้านทานแรงกระแทกและการต้านทานความแข็ง เส้นใยจากมูลม้าที่นำไปขึ้นรูปกับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูป ที่สัดส่วนเส้นใย 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 phr พบว่ามีการต้านทานความแรงกระแทกและการต้านทานความแข็งเพิ่มขึ้นตามปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพจากกระบวนการย่อยของม้า จะมีพื้นผิวขรุขระมากขึ้น เพราะมีการสกัดลิกนินออกจากเส้นใย ทำให้การยึดติดระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์พอลิเมอร์เพิ่มขึ้น

5.3 ผลการทดสอบทางกายภาพของมูลช้าง

จากผลการทดสอบวิเคราะห์ทางกายภาพ โดยที่นำเส้นใยที่ได้จากมูลช้างมาเปรียบเทียบการเส้นใยจากมูลช้างที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 4 % w/w เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าปริมาณของลิกนินในเส้นใยจากมูลช้าง สามารถเทียบเท่ากับปริมาณของลิกนินเส้นใยจากมูลช้างที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

5.4 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตพอลิเมอร์ผสมเส้นใยจากมูลช้าง

5.4.1 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตพอลิโพรพิลีนผสมมูลช้าง (PP/EMF)

จากผลการทดสอบความต้านทานแรงดึง เส้นใยจากมูลช้างที่นำไปขึ้นรูปกับพอลิโพรพิลีนด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูป ที่สัดส่วนเส้นใย 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 phr พบว่าค่าการต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้นตามปริมาณของเส้นใยที่เพิ่มขึ้น และพบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นของค่า Young's Modulus อย่างมีนัยสำคัญตามปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้น จากการศึกษาที่ 50 phr ของ HDPE/HMF มีค่าสูงถึง 2,427 MPa เนื่องจากเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกระบวนการย่อยของช้าง จะทำให้พื้นผิวของเส้นใยมีขรุขระมากขึ้น เพราะมีการสกัดลิกนินออกจากเส้นใยในกระบวนการย่อยของช้าง ทำให้การยึดติดระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์พอลิเมอร์เพิ่มขึ้น แต่ถ้าเติมปริมาณเส้นใยมากเกินไปจะทำให้เกิดการจับเป็นก้อน ทำให้ผลของยังมอดุลัสลดลง

จากผลการทดสอบการต้านทานแรงกระแทกและการต้านทานความแข็ง เส้นใยจากมูลซังที่นำไปขึ้นรูปกับพอลิโพรพิลีนด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูป ที่สัดส่วนเส้นใย 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 phr พบว่ามีการต้านทานความแรงกระแทกและการต้านทานความแข็งเพิ่มขึ้นตามปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพจากกระบวนการย่อยของซัง จะมีพื้นผิวขรุขระมากขึ้น เพราะมีการสกัดลิกนินออกจากเส้นใย ทำให้การยึดติดระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์พอลิเมอร์เพิ่มขึ้น

5.4.2 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงผสมเส้นใยจากมูลซัง (HDPE/EMF)

จากผลการทดสอบความต้านทานแรงดึง เส้นใยจากมูลซังที่นำไปขึ้นรูปกับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูป ที่สัดส่วนเส้นใย 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 phr พบว่าค่าการต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้นตามปริมาณของเส้นใยที่เพิ่มขึ้น และพบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นของค่า Young's Modulus อย่างมีนัยสำคัญตามปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้น จากการศึกษาที่ 40 phr ของ HDPE/HMF มีค่าสูงถึง 1,736 MPa เนื่องจากเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกระบวนการย่อยของซัง จะทำให้พื้นผิวของเส้นใยมีขรุขระมากขึ้น เพราะมีการสกัดลิกนินออกจากเส้นใยในกระบวนการย่อยของซัง ทำให้การยึดติดระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์พอลิเมอร์เพิ่มขึ้น แต่ถ้าเติมปริมาณเส้นใยมากเกินไปจะทำให้เกิดการจับเป็นก้อน ทำให้ผลของยังมอดูลัสลดลง

จากผลการทดสอบการต้านทานแรงกระแทกและการต้านทานความแข็ง เส้นใยจากมูลซังที่นำไปขึ้นรูปกับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูป ที่สัดส่วนเส้นใย 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 phr พบว่ามีการต้านทานความแรงกระแทกและการต้านทานความแข็งเพิ่มขึ้นตามปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพจากกระบวนการย่อยของซัง จะมีพื้นผิวขรุขระมากขึ้น เพราะมีการสกัดลิกนินออกจากเส้นใย ทำให้การยึดติดระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์พอลิเมอร์เพิ่มขึ้น

จากผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของเส้นใยมูลส์ตัวม้าและซัง พบว่าเส้นใยที่ได้จากกระบวนการย่อยของซังมีสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลที่ใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นประสิทธิภาพของกระบวนการย่อยของม้าและซังสามารถนำมาใช้เป็นกระบวนการปรับสภาพผิวของเส้นใยแทนการใช้สารเคมี เพื่อลดต้นทุนกระบวนการผลิต และยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

5.5 ข้อเสนอแนะ

5.5.1 การบดเส้นใยที่แห้งโดยเครื่องปั่น และมาล่อนผ่านตะแกรงจะทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของเส้นใย

5.5.2 การผสมเส้นใยกับเมทริกซ์จะต้องใช้ความร้อนในการผสม และต้องกลับเนื้อขึ้นงานหลายๆ รอบเพื่อให้เส้นใยกระจายตัวให้ทั่วๆ กัน ผู้ปฏิบัติต้องใช้ความระมัดระวังที่จะสัมผัสลูกกลิ้งที่มีความร้อนสูง

5.4.3 การขึ้นรูปขึ้นงานจะต้องวางพอลิเมอร์ที่ได้จากการผสมให้อยู่กึ่งกลางแบบขึ้นงานที่ใช้ขึ้นงาน เพราะจะทำให้พอลิเมอร์ไหลได้ทั่วขึ้นงาน

บรรณานุกรม

- [1] Ellobody, E. (2014). Chapter 2 - Nonlinear Material Behavior of the Bridge Components. Finite Element Analysis and Design of Steel and Steel-Concrete Composite Bridges. pp. 47-111.
- [2] C. Soutis. (2015). 1 - Introduction: Engineering requirements for aerospace composite materials. Polymer Composites in the Aerospace Industry. pp. 1-18.
- [3] Omar Faruk, Andrzej K. Bledzki, Hans-Peter Fink, and Mohini Sain. (2012) Biocomposites reinforced with natural fibers. Progress in Polymer Science. Vol. 37: 1552-1596.
- [4] D.B. Miracle (2005). Metal matrix composites - From science to technological significance. Composites Science and Technology. Vol. 65: 2526-2524.
- [5] ทฤทท์ กิรติเสวี, ฉัตรชัย วีระนิติสกุล และ อภิรัตน์ เล่าห์. (2552 - 2553) ภาพรวมของวัสดุเชิงประกอบ วิศวกรรมสาร มก. ปีที่ 22 (ฉบับที่ 70): 18-31.
- [6] วันดี ธรรมจारी. (2012-2013) การพัฒนาการขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบที่เสริมแรงด้วยเส้นใยธรรมชาติ Technology promotion. ปีที่ 39 (ฉบับที่ 226): 63-66.
- [7] E. Uhlmann, F. Sammler, S. Richarz, F. Heitmüller, and M. Bilz. (2014). Machining of Carbon Fibre Reinforced Plastics. Procedia CIRP. Vol. 24: 19-24.
- [8] Richard Zemann, Lukas Kain, and Friedrich Bleicher. (2014). Vibration Assisted Machining of Carbon Fibre Reinforced Polymers. Procedia Engineering. Vol. 69: pp. 536-543
- [9] Suphattra Thanchaiying. (1993). Compression Molding of Glass fiber Reinforced Polypropylene. Master's Thesis. Master of Engineering (Inter - Petrochemistry - Polymer). Chulalongkorn University. Thailand.
- [10] Chaleampol Poodsri. (2011). A study property of the structural weaved textile resisting penetration of bullet. Bachelor of Engineering. Rajamangal University of Technology Thanyaburi. Thailand

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [11] J.G. Carrillo, R.A. Gamboa, E.A. Flores-Johnson, P.I. Gonzalez-Chi. (2012). Ballistic performance of thermoplastic composite laminates made from aramid woven fabric and polypropylene matrix. Original Research Article Polymer Testing. Vol. 31: 512-519.
- [12] Manote Sappakittipakorn, Uthairith Rochana vibhata, and Piti Sukontasukku. (2014). Testing Methods of Fiber Efficiency for Concrete Reinforcement.” The Journal of KMUTNB. Vol. 22 (No. 3): 549-559.
- [13] Chatree Homkhiew. (2014). Development and Applications of Natural Fiber/ Thermoplastic composites for Industrial. The Journal of Industrial Technology. Vol. 10 (No. 2): 97-110.
- [14] วรธรรม อุ๋นจิตติชัย, วรวิทย์ พลทัต และ สะเพ็ญภััสสร เสมอใจ. (2558). การศึกษาไม้เทียมพอลิ-เมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยมะพร้าว.
- [15] ขจร อัจจิมาจิรัฐติกาล และ กิตติ สถาพรประสาธน์. (2558) การพัฒนาการขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบที่เสริมแรงด้วยเส้นใยธรรมชาติ. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ถ. รังสิต-นครนายก อ. องครักษ์ จ. นครนายก 26120
- [16] พฤติพงษ์ พันธมนัสโสภา.(2557). ความคงทนและสมบัติของเส้นใยปอกระเจาที่ปรับปรุงผิว ผสมในวัสดุยางคอมโพสิต. สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [17] ศิริรัตน์ เดชะเพิ่มผล.(2550).พอลิเมอร์คอมโพสิตด้วยเส้นใยมะพร้าว. ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
- [18] John, MJ. And Anandjiwala, RD. “Recent developments in chemical modification and characterization of natural fibre-reinforced composites.” (2008). Polym Compos 29 (2):187–207.
- [19] Leonard, YM and Martin PA. (2002). “Chemical modification of hemp, sisal, jute and kapok fibres by alkalisation.” Appl Polym Sci 12 : 22–34.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [20] Ratchapol Pawongrat, Pretreatment processes for enhancing the efficiency of ethanol production from lignocellulosic agricultural wastes, *Veridian E- Journal, Science and Technology Silpakom University* 2 (2015) 143-157.
- [21] Kirk, T. K., & Farrell, R. L. (1987). Enzymatic combustion : the microbial degradation of lignin. *Annual Reviews in Microbiology*, 41(1), 465-501
- [22] Cathala, B., Saake, B., Faix, O., & Monties, B. (1998). Evaluation of the reproducibility of the synthesis of dehydrogenation polymer models of lignin. *Polymer degradation and stability*, 59(1-3), 65-69
- [23] Rahimi Kord Sofla M., Brown R.J., Tsuzuki T. and Rainey T.J., “A comparison of cellulose nanocrystals and cellulose nanofibres extracted from bagasse using acid and ball milling methods”, *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, Volume 7 (3). (2016)
- [24] M.J. John and R.D. Anandjiwala, “Recent developments in chemical modification and characterization of natural fibre-reinforced composites,” *Polym Compos*, Vol. 29(2), pp.187–207, 2008.
- [25] X. Li, L.G. Tabil and S. Panigrahi, “Chemical treatment of natural fibre for use in natural fibre-reinforced composites: a review,” *Polym Environ*, Vol. (1), pp.25–33, 2007.
- [26] L.Y. Mwaikambo, N. Tucker and A.J. Clark, “Mechanical properties of hemp fibre reinforced euphorbia composites,” *Macromol Mater Eng*, Vol. 292(9), pp.993–1000, 2007.
- [28] D. Ray, B.K. Sarkar, A.K. Rana, and N.R. Bose, “Effect of alkali treated jute fibres on composite properties,” *Bull Mater Sci*, Vol. 24(2), pp.129–135, 2001.
- [29] B. Wang, S. Panigrahi, L. Tabil, W. Crerar, “Pre-treatment of flax fibres for use in rotationally molded biocomposites,” *J Reinf Plast Compos*, Vol. 26(5), pp.447–463, 2007.
- [30] A.M. Mohd Edeerozey, Hazizan Md Akil, A.B. Azhar and M.I. Zainal Ariffin, “Chemical modification of kenaf fibers,” *Materials Letters*, Vol. 61, pp.2023–2025, 2007.
- [31] H. Chattopadhyay and P.B. Sarkar, “A new method for the estimation of cellulose,” *Proc Natl Inst Sci India*, Vol. 12(1), pp.23–46, 1946)

บรรณานุกรม (ต่อ)

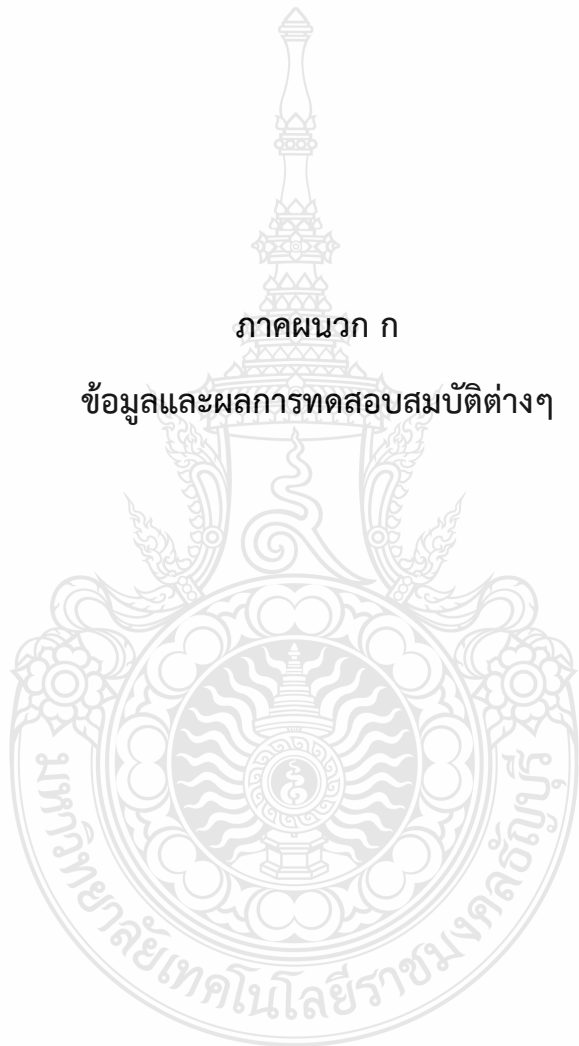
- [32] S.A. Paul, C. Oommen, K. Joseph, G. Mathew and S. Thomas, “The role of interface modification on thermal degradation and crystallization behavior of composites from commingled polypropylene fibre and banana fibre,” *Polym Compos*, Vol. 31(6), pp.1113–1123, 2010.
- [33] S.A. Paul, K. Joseph, G. Mathew, L.A. Pothen and S. Thomas, “Influence of polarity parameters on the mechanical properties of composites from polypropylene fibre and short banana fibre,” *Compos: Part A – Appl Sci Manuf*, Vol. 41(10), pp.1380–1387, 2010.
- [34] M. Ragoubi, D. Bienaimé, S. Molina, B. George, A. Merlin, “Impact of corona treated hemp fibres onto mechanical properties of polypropylene composites made thereof,” *Industrial Crops and Products*, Vol. 31(2), pp.344–349, 2010.
- [35] S. Maraisa, F. Gouanvé, A. Bonnesoeur, J. Grenet, F. Poncin-Epaillard, C. Morvan and M. Métyer, “Unsaturated polyester composites reinforced with flax fibers: effect of cold plasma and autoclave treatments on mechanical and permeation properties,” *Composites: Part A*, Vol. 36, pp.975–986, 2005.
- [37] Kirk, T. K., & Farrell, R. L. (1987). Enzymatic" combustion": the microbial degradation of lignin. *Annual Reviews in Microbiology*, 41(1), 465-501.
- [38] Cathala, B., Saake, B., Faix, O., & Monties, B. (1998). Evaluation of the reproducibility of the synthesis of dehydrogenation polymer models of lignin. *Polymer degradation and stability*, 59(1-3), 65-69.
- [39] ดร.ชณี พัทธวรากร. 2550. “กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกเบื้องต้น.” หน้า 5, 11. เทคโนโลยี กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- [40] D.D.P. Morena, D. Hirayama, C. Sarona, (2018) Department of Materials Engineering, University of São Paulo *Polymer Degradation and Stability* 149 39–44
- [41] Mohit Sooda, Dharmal Deepak, V.K. Gupta. (2018). Assistant Professor KC College of Engineering, Nawashahr, Punjab, India Assistant Professor Punjabi university Patiala, Punjab, India Professor Punjabi University Patiala, Punjab, India *Materials Today: Proceedings* 5 5673–5678.
- [42] Rajneesh Verma, M. Shukla. (2018). Department of Mechanical Engineering Technology, University of Johannesburg (UJ), South Africa *Materials Today: Proceedings* 5 3257–3264.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [43] Ahmed M. Youssef , Ahmed El-Gendy , Samir Kamel (2015) Packing & Packaging Materials Department, National Research Center, Dokki, P.C. 12622, Cairo, Egypt Cellulose and Paper Department, National Research Center, Dokki, Cairo, Egypt Materials Chemistry and Physics 152 26e33
- [44] Mayuree .R Yuvadee .P (2552) Studying and Product Development of Handicraft from Elephant Dung Paper for Addings Income to Community At Changwat Phara Nakhon si Ayuttha
- [45] Pavlendova G. Sin .P Lukovicova J. and Kopcok .M Thermophysical Properties of Cement Based Composites with Addition of Plastic Fibers and Horse Manure Trans Tech Publications, Switzerland. 2018
- [46] Dumrong Leenanuruksa, 2522. การผลิตหญ้าแห้งเพื่อเลี้ยงโค กระบือจากหญ้าเนเปียร์. งานวิจัย. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [47] Hampson BA, de Laat MA, Mills PC, Pollitt CC. Distances travelled by feral horses in 'outback' Australia. Equine Vet J Suppl, 2010 No;(38):582-6.
- [48] จุไร เล่าห์ประเสริฐ. 2543 หนังสือความรู้เรื่องช้างเล่มที่ 1 กองสัตว์รักษา กรมปศุสัตว์ สถาบันวิจัยและบริการสุขภาพช้างแห่งชาติ. หน้า ที่ 1-64
- [49] Thi-Thu-Loan Doan, Brodowsky, H. and Mäder, E. (2012). Jute fiber epoxy composites: Surface properties and interfacial adhesion Compo. Sci. and Techno. 72: 1160–1166.

ภาคผนวก ก

ข้อมูลและผลการทดสอบสมบัติต่างๆ



ตารางที่ ก.1 ผลการทดสอบแรงดึงของวัสดุคอมโพสิต PP/HMF 0% phr

Sample	Young's Modulus (MPa)	Tensile Strength (MPa)
1	1577.148899	29.11313306
2	1810.876986	32.12029475
3	1571.932749	30.54087201
4	1565.413591	28.58196731
5	1656.000287	31.59647905
ค่าเฉลี่ย	1636.274502	30.39054924
SD	104.322	1.531

ตารางที่ ก.2 ผลการทดสอบแรงดึงของวัสดุคอมโพสิต PP/HMF 10% phr

Sample	Young's Modulus (MPa)	Tensile Strength (MPa)
1	1528.020065	24.12343156
2	1556.085353	22.20991139
3	1679.098256	23.97853234
4	1527.027565	22.20991139
5	1557.083853	23.92683234
ค่าเฉลี่ย	1587.734558	23.42999176
SD	80.358	1.065

ตารางที่ ก.3 ผลการทดสอบแรงดึงของวัสดุคอมโพสิต PP/HMF 20% phr

Sample	Young's Modulus (MPa)	Tensile Strength (MPa)
1	1726.277753	21.06886497
2	1730.744191	23.21633519
3	1605.23991	24.97148876
4	1590.214903	20.16521428
5	1689.384682	21.32547523
ค่าเฉลี่ย	1668.372288	22.14947569
SD	66.669	1.929

ตารางที่ ก.4 ผลการทดสอบแรงดึงของวัสดุคอมโพสิต PP/HMF 30% phr

Sample	Young's Modulus (MPa)	Tensile Strength (MPa)
1	1763.077844	22.78594954
2	2056.229121	26.17979202
3	2080.604719	24.79856893
4	1116.761332	21.09490917
5	2080.608519	24.79248893
ค่าเฉลี่ย	1754.168254	23.71480492
SD	448.764	87.141

ตารางที่ ก.5 ผลการทดสอบแรงดึงของวัสดุคอมโพสิต PP/HMF 40% phr

Sample	Young's Modulus (MPa)	Tensile Strength (MPa)
1	1789.451818	20.16784249
2	2324.494913	25.93929872
3	2424.709012	28.57529352
4	2272.946479	25.28525144
5	2311.411063	23.83816094
ค่าเฉลี่ย	2224.602657	24.76116942
SD	249.625	3.089

ตารางที่ ก.6 ผลการทดสอบแรงดึงของวัสดุคอมโพสิต PP/HMF 50% phr

Sample	Young's Modulus (MPa)	Tensile Strength (MPa)
1	2852.366717	33.66250584
2	2695.888524	19.60894181
3	3334.128003	33.59828974
4	2228.252655	21.739667
5	2852.451717	33.635410584
ค่าเฉลี่ย	2777.658975	27.1523511
SD	455.987	7.531

ตารางที่ ก.8 ผลการทดสอบแรงดึงของวัสดุคอมโพสิต HDPE/HMF 0% phr

Sample	Young's Modulus (MPa)	Tensile Strength (MPa)
1	1084.389594	19.63835822
2	1319.326913	16.42978658
3	1119.33021	19.96655139
4	1200.87747	19.2411457
5	1105.472377	18.61358941
ค่าเฉลี่ย	1165.879	18.778
SD	96.472	1.406

ตารางที่ ก.9 ผลการทดสอบแรงดึงของวัสดุคอมโพสิต HDPE/HMF 10% phr

Sample	Young's Modulus (MPa)	Tensile Strength (MPa)
1	1319.264076	14.35237585
2	1370.387666	15.82096318
3	1491.165643	16.71607326
4	1515.373082	13.22013036
5	1344.422479	15.58892382
ค่าเฉลี่ย	1408.123	15.140
SD	89.130	1.365

ตารางที่ ก.10 ผลการทดสอบแรงดึงของวัสดุคอมโพสิต HDPE/HMF 20% phr

Sample	Young's Modulus (MPa)	Tensile Strength (MPa)
1	1700.045064	11.6965295
2	1614.461951	13.83998801
3	1713.700506	12.53233192
4	1907.432388	13.78697704
5	1571.479638	11.54973975
ค่าเฉลี่ย	1701.424	12.681
SD	129.460	41.900

ตารางที่ ก.11 ผลการทดสอบแรงดึงของวัสดุคอมโพสิต HDPE/HMF 30% phr

Sample	Young's Modulus (MPa)	Tensile Strength (MPa)
1	1795.301123	10.67171063
2	1929.131627	12.75940522
3	1785.161782	11.58106805
4	1875.441706	11.54886311
5	1635.833901	9.423904791
ค่าเฉลี่ย	1804.174	11.197
SD	111.212	1.238

ตารางที่ ก.12 ผลการทดสอบแรงดึงของวัสดุคอมโพสิต HDPE/HMF 40% phr

Sample	Young's Modulus (MPa)	Tensile Strength (MPa)
1	1711.988797	11.62768544
2	1815.168565	14.90353819
3	1874.094722	13.31673714
4	1903.900324	14.70552787
5	1829.960914	9.973978153
ค่าเฉลี่ย	1827.022664	12.90549336
SD	73.328	2.099

ตารางที่ ก.13 ผลการทดสอบแรงดึงของวัสดุคอมโพสิต HDPE/HMF 50% phr

Sample	Young's Modulus (MPa)	Tensile Strength (MPa)
1	1611.525961	10.66945468
2	1524.041157	10.99856598
3	2037.651174	12.12644922
4	1764.727649	10.42958592
5	1756.343945	11.29811509
ค่าเฉลี่ย	1738.857977	11.10443418
SD	195.328	0.659

ตารางที่ ก.14 ผลการทดสอบแรงกระแทกของวัสดุคอมโพสิต PP/HMF 0% kJ/m^2

อันที่	ขนาดรอยบาก	แรงกระแทก	ค่าเฉลี่ย
1	10.5	0.192	0.0183
2	9.6	0.072	0.0075
3	10.5	0.088	0.0084
4	11	0.088	0.0080
5	10.6	0.088	0.0083
ผลรวม			0.0101
SD			0.0046

ตารางที่ ก.15 ผลการทดสอบแรงกระแทกของวัสดุคอมโพสิต PP/HMF 10% kJ/m^2

อันที่	ขนาดรอยบาก	แรงกระแทก	ค่าเฉลี่ย
1	11	0.072	0.0065
2	10.17	0.088	0.0087
3	10.67	0.072	0.0067
4	11.13	0.144	0.0129
5	11.31	0.08	0.0071
ผลรวม			0.0084
SD			0.0027

ตารางที่ ก.16 ผลการทดสอบแรงกระแทกของวัสดุคอมโพสิต PP/HMF 20% kJ/m^2

อันที่	ขนาดรอยบาก	แรงกระแทก	ค่าเฉลี่ย
1	10.63	0.08	0.0075
2	10.13	0.064	0.0063
3	10.28	0.084	0.0082
4	10.04	0.072	0.0072
5	10.24	0.088	0.0086
	ผลรวม		0.0076
	SD		0.0009

ตารางที่ ก.17 ผลการทดสอบแรงกระแทกของวัสดุคอมโพสิต PP/HMF 30% kJ/m^2

อันที่	ขนาดรอยบาก	แรงกระแทก	ค่าเฉลี่ย
1	10.45	0.168	0.0161
2	10.18	0.088	0.0086
3	10.88	0.112	0.0103
4	10.78	0.072	0.0067
5	10.63	0.056	0.0053
	ผลรวม		0.0094
	SD		0.0042

ตารางที่ ก.18 ผลการทดสอบแรงกระแทกของวัสดุคอมโพสิต PP/HMF 40% kJ/m^2

อันที่	ขนาดรอยบาก	แรงกระแทก	ค่าเฉลี่ย
1	10.36	0.08	0.0077
2	10.53	0.08	0.0076
3	10	0.072	0.0072
4	10.45	0.096	0.0092
5	10	0.08	0.0080
	ผลรวม		0.0079
	SD		0.0008

ตารางที่ ก.19 ผลการทดสอบแรงกระแทกของวัสดุคอมโพสิต PP/HMF 50% kJ/m^2

อันที่	ขนาดรอยบาก	แรงกระแทก	ค่าเฉลี่ย
1	11.44	0.096	0.0084
2	10.67	0.12	0.0112
3	10.60	0.12	0.0001
4	10.4	0.68	0.0654
5	10.95	0.48	0.0438
	ผลรวม		0.0258
	SD		0.0277

ตารางที่ ก.20 ผลการทดสอบแรงกระแทกของวัสดุคอมโพสิต HDPE/HMF 0% kJ/m^2

อันที่	ขนาดรอยบาก	แรงกระแทก	ค่าเฉลี่ย
1	10.7	0.168	0.0157
2	11	0.278	0.0253
3	12.2	0.232	0.0190
4	11.9	0.152	0.0128
5	10	0.128	0.0128
ผลรวม			0.0171
SD			0.0052

ตารางที่ ก.21 ผลการทดสอบแรงกระแทกของวัสดุคอมโพสิต HDPE/HMF 10% kJ/m^2

อันที่	ขนาดรอยบาก	แรงกระแทก	ค่าเฉลี่ย
1	10.7	0.12	0.0112
2	10.5	0.104	0.0099
3	10.7	0.128	0.0120
4	11	0.12	0.0109
5	11	0.12	0.0109
ผลรวม			0.0110
SD			0.0007

ตารางที่ ก.22 ผลการทดสอบแรงกระแทกของวัสดุคอมโพสิต HDPE/HMF 20% kJ/m^2

อันที่	ขนาดรอยบาก	แรงกระแทก	ค่าเฉลี่ย
1	10.6	0.168	0.0158
2	10.6	0.184	0.0174
3	10.5	0.144	0.0137
4	10.5	0.144	0.0137
5	11.3	0.16	0.0142
ผลรวม			0.0150
SD			0.0016

ตารางที่ ก.23 ผลการทดสอบแรงกระแทกของวัสดุคอมโพสิต HDPE/HMF 30% kJ/m^2

อันที่	ขนาดรอยบาก	แรงกระแทก	ค่าเฉลี่ย
1	11	0.096	0.0087
2	10	0.096	0.0096
3	10	0.144	0.0144
4	10.6	0.088	0.0083
5	10.8	0.112	0.0104
ผลรวม			0.0103
SD			0.0024

ตารางที่ ก.24 ผลการทดสอบแรงกระแทกของวัสดุคอมโพสิต HDPE/HMF 40% kJ/m^2

อันที่	ขนาดรอยบาก	แรงกระแทก	ค่าเฉลี่ย
1	10.6	0.112	0.0106
2	11.3	0.176	0.0156
3	9.7	0.12	0.0124
4	11	0.168	0.0153
5	10.5	0.24	0.0229
ผลรวม			0.0153
SD			0.0047

ตารางที่ ก.25 ผลการทดสอบแรงกระแทกของวัสดุคอมโพสิต HDPE/HMF 50% kJ/m^2

อันที่	ขนาดรอยบาก	แรงกระแทก	ค่าเฉลี่ย
1	10.3	0.136	0.0132
2	10	0.136	0.0136
3	10.7	0.176	0.0164
4	11	0.32	0.0291
5	10.5	0.216	0.0206
ผลรวม			0.0186
SD			0.0066

ตารางที่ ก.26 ผลการทดสอบความแข็งของวัสดุคอมโพสิต PP/HMF

ปริมาณเส้นใย (phr)	ค่าความแข็ง (ชั้นที่)			ค่าเฉลี่ย	SD
	1	2	3		
0	70	69	70	69.667	0.557
10%	67	70	69.5	68.833	1.607
20%	71.5	71	71	71.167	0.289
30%	71.5	70	69.5	70.333	1.041
40%	72.58	71.5	70	71.360	1.296
50%	73	72	72.167	72.167	0.764

ตารางที่ ก.27 ผลการทดสอบความแข็งของวัสดุคอมโพสิต HDPE/HMF

ปริมาณเส้นใย (phr)	ค่าความแข็ง (ชั้นที่)			ค่าเฉลี่ย	SD
	1	2	3		
0	70	69	70	69.667	0.557
10%	60	59	60	59.667	0.577
20%	62	65	60	62.333	2.571
30%	63	65	64	64.000	1.000
40%	69	68	67	68.000	1.000
50%	68	69	66	67.667	1.528

ตารางที่ ก.28 ผลการทดสอบแรงดึงของวัสดุคอมโพสิต PP/EMF 10% phr

Sample	Young's Modulus (MPa)	Tensile Strength (MPa)
1	1754.88777	23.80511264
2	1777.230535	15.5145774
3	1870.166147	25.54261449
4	1830.930217	20.12169724
5	1828.871351	24.14436589
ค่าเฉลี่ย	1812.417204	21.82567353
SD	46.087	4.057

ตารางที่ ก.29 ผลการทดสอบแรงดึงของวัสดุคอมโพสิต PP/EMF 20% phr

Sample	Young's Modulus (MPa)	Tensile Strength (MPa)
1	2009.252149	19.4478314
2	2016.994185	19.25274624
3	2108.292492	11.97382629
4	1921.234244	20.17178088
5	1880.24028	17.08373263
ค่าเฉลี่ย	1987.20267	17.58598349
SD	89.204	3.342

ตารางที่ ก.30 ผลการทดสอบแรงดึงของวัสดุคอมโพสิต PP/EMF 30% phr

Sample	Young's Modulus (MPa)	Tensile Strength (MPa)
1	2202.170947	20.11884394
2	2179.950171	17.99746212
3	2169.249696	15.22309564
4	1811.598135	13.73492202
5	2084.94414	16.68348462
ค่าเฉลี่ย	2089.582618	16.75156167
SD	161.622	2.466

ตารางที่ ก.31 ผลการทดสอบแรงดึงของวัสดุคอมโพสิต PP/EMF 40% phr

Sample	Young's Modulus (MPa)	Tensile Strength (MPa)
1	1930.090145	17.8432466
2	2855.50923	11.30835821
3	2005.595337	20.07741621
4	2091.727709	17.25207591
5	1447.686334	15.88585038
ค่าเฉลี่ย	2066.121751	16.47338946
SD	507.055	3.259

ตารางที่ ก.32 ผลการทดสอบแรงดึงของวัสดุคอมโพสิต PP/EMF 50% phr

Sample	Young's Modulus (MPa)	Tensile Strength (MPa)
1	2571.005153	19.18692425
2	2486.899524	21.42448374
3	2541.634169	16.07336412
4	2353.864444	15.51560811
5	1928.164481	18.81449127
ค่าเฉลี่ย	2376.313554	18.2029743
SD	264.011	2.423

ตารางที่ ก.33 ผลการทดสอบแรงดึงของวัสดุคอมโพสิต HDPE/EMF 10% phr

Sample	Young's Modulus (MPa)	Tensile Strength (MPa)
1	1432.978788	15.25521629
2	1442.017184	11.72642975
3	1297.597642	14.83055694
4	1128.974451	15.64970749
5	1455.620152	14.7162004
ค่าเฉลี่ย	1351.438	14.436
SD	139.729	1.559

ตารางที่ ก.32 ผลการทดสอบแรงดึงของวัสดุคอมโพสิต HDPE/EMF 20% phr

Sample	Young's Modulus (MPa)	Tensile Strength (MPa)
1	1510.334387	15.96294489
2	1486.246481	15.75453685
3	1378.556522	16.00078924
4	1656.366962	16.10550652
5	1557.81524	14.94388902
ค่าเฉลี่ย	1517.864	15.754
SD	101.541	0.470

ตารางที่ ก.33 ผลการทดสอบแรงดึงของวัสดุคอมโพสิต HDPE/EMF 30% phr

Sample	Young's Modulus (MPa)	Tensile Strength (MPa)
1	1723.633375	14.08329716
2	1538.239142	13.27498418
3	1401.271297	12.84311532
4	1475.05472	10.76835018
5	1449.674262	13.02810406
ค่าเฉลี่ย	1517.575	12.800
SD	125.332	1.230

ตารางที่ ก.34 ผลการทดสอบแรงดึงของวัสดุคอมโพสิต HDPE/EMF 40% phr

Sample	Young's Modulus (MPa)	Tensile Strength (MPa)
1	1490.269224	11.91159679
2	1602.20513	12.14226088
3	1779.256383	11.78937645
4	1596.917379	12.69664784
5	1523.909645	10.47214466
ค่าเฉลี่ย	1598.512	11.802
SD	111.766	0.821

ตารางที่ ก.35 ผลการทดสอบแรงดึงของวัสดุคอมโพสิต HDPE/EMF 50% phr

Sample	Young's Modulus (MPa)	Tensile Strength (MPa)
1	1712.932832	12.52529857
2	1625.41924	15.30677909
3	1480.479756	14.42041163
4	1350.947535	12.22491608
5	1362.156442	11.7891639
ค่าเฉลี่ย	1506.387	13.253
SD	160.051	1.526

ตารางที่ ก.36 ผลการทดสอบแรงกระแทกของวัสดุคอมโพสิต PP/EMF 10% kJ/m^2

อันที่	ขนาดรอยบาก	แรงกระแทก	ค่าเฉลี่ย
1	12	0	0.0000
2	10.3	0.144	0.0140
3	11.2	0.104	0.0093
4	11.2	0.072	0.0064
5	11.3	0.232	0.0205
ผลรวม			0.0100
SD			0.0077

ตารางที่ ก.37 ผลการทดสอบแรงกระแทกของวัสดุคอมโพสิต PP/EMF 20% kJ/m^2

อันที่	ขนาดรอยบาก	แรงกระแทก	ค่าเฉลี่ย
1	10.7	0.064	0.0060
2	11.3	0.08	0.0071
3	11	0.072	0.0065
4	11.3	0.072	0.0064
5	11.6	0.112	0.0097
ผลรวม			0.0071
SD			0.0015

ตารางที่ ก.38 ผลการทดสอบแรงกระแทกของวัสดุคอมโพสิต PP/EMF 30% kJ/m^2

อันที่	ขนาดรอยบาก	แรงกระแทก	ค่าเฉลี่ย
1	10.2	0.08	0.0078
2	11.2	0.08	0.0071
3	11.3	0.096	0.0085
4	11.3	0.208	0.0184
5	11.7	0.096	0.0082
ผลรวม			0.0100
SD			0.0047

ตารางที่ ก.39 ผลการทดสอบแรงกระแทกของวัสดุคอมโพสิต PP/EMF 40% kJ/m^2

อันที่	ขนาดรอยบาก	แรงกระแทก	ค่าเฉลี่ย
1	11.7	0.08	0.0068
2	10.7	0.08	0.0075
3	11.1	0.144	0.0130
4	11.3	0.136	0.0120
5	11.8	0.08	0.0068
ผลรวม			0.0092
SD			0.0030

ตารางที่ ก.40 ผลการทดสอบแรงกระแทกของวัสดุคอมโพสิต PP/EMF 50% kJ/m^2

อันที่	ขนาดรอยบาก	แรงกระแทก	ค่าเฉลี่ย
1	11.5	0.72	0.0626
2	11.7	0.08	0.0068
3	11.7	0.08	0.0068
4	11.9	0.432	0.0363
5	10.5	0.096	0.0091
ผลรวม			0.0243
SD			0.0248

ตารางที่ ก.41 ผลการทดสอบแรงกระแทกของวัสดุคอมโพสิต HDPE/EMF 10% kJ/m^2

อันที่	ขนาดรอยบาก	แรงกระแทก	ค่าเฉลี่ย
1	10.7	0.12	0.0112
2	10.5	0.104	0.0099
3	10.7	0.128	0.0120
4	11	0.12	0.0109
5	11	0.12	0.0109
ผลรวม			0.0110
SD			0.0007

ตารางที่ ก.42 ผลการทดสอบแรงกระแทกของวัสดุคอมโพสิต HDPE/EMF 20% kJ/m^2

อันที่	ขนาดรอยบาก	แรงกระแทก	ค่าเฉลี่ย
1	10.6	0.168	0.0158
2	10.6	0.184	0.0174
3	10.5	0.144	0.0137
4	10.5	0.144	0.0137
5	11.3	0.16	0.0142
	ผลรวม		0.0150
	SD		0.0016

ตารางที่ ก.43 ผลการทดสอบแรงกระแทกของวัสดุคอมโพสิต HDPE/EMF 30% kJ/m^2

อันที่	ขนาดรอยบาก	แรงกระแทก	ค่าเฉลี่ย
1	11	0.096	0.0087
2	10	0.096	0.0096
3	10	0.144	0.0144
4	10.6	0.088	0.0083
5	10.8	0.112	0.0104
	ผลรวม		0.0103
	SD		0.0024

ตารางที่ ก.44 ผลการทดสอบแรงกระแทกของวัสดุคอมโพสิต HDPE/EMF 40% kJ/m^2

อันที่	ขนาดรอยบาก	แรงกระแทก	ค่าเฉลี่ย
1	10.6	0.112	0.0106
2	11.3	0.176	0.0156
3	9.7	0.12	0.0124
4	11	0.168	0.0153
5	10.5	0.24	0.0229
	ผลรวม		0.0153
	SD		0.0047

ตารางที่ ก.45 ผลการทดสอบแรงกระแทกของวัสดุคอมโพสิต HDPE/EMF 50% kJ/m^2

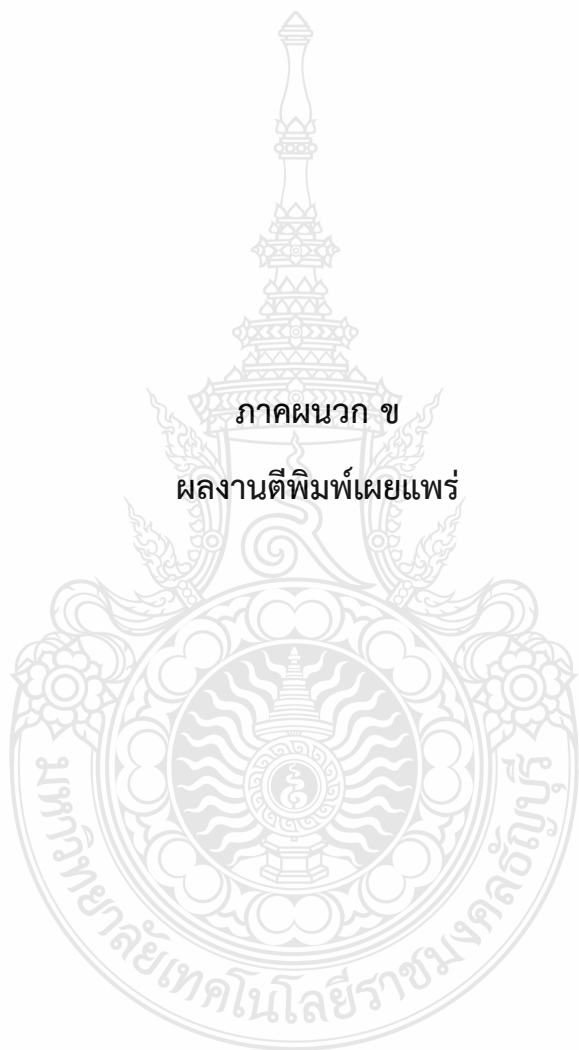
อันที่	ขนาดรอยบาก	แรงกระแทก	ค่าเฉลี่ย
1	10.3	0.136	0.0132
2	10	0.136	0.0136
3	10.7	0.176	0.0164
4	11	0.32	0.0291
5	10.5	0.216	0.0206
	ผลรวม		0.0186
	SD		0.0066

ตารางที่ ก.46 ผลการทดสอบความแข็งของวัสดุคอมโพสิต PP/EMF

ปริมาณเส้นใย (phr)	ค่าความแข็ง (ชั้นที่)			ค่าเฉลี่ย	SD
	1	2	3		
0	70	69	70	69.667	0.557
10%	73	75	75	74.333	1.155
20%	72	76	74	74.000	2.000
30%	60	68	75	67.667	7.506
40%	75	74	75	74.667	0.577
50%	65	75	76	72.000	6.083

ตารางที่ ก.47 ผลการทดสอบความแข็งของวัสดุคอมโพสิต HDPE/EMF

ปริมาณเส้นใย (phr)	ค่าความแข็ง (ชั้นที่)			ค่าเฉลี่ย	SD
	1	2	3		
0	70	69	70	69.667	0.557
10%	65	65	67	65.667	1.155
20%	63	66	64	64.333	1.528
30%	65	63	66	64.667	1.528
40%	66	66	68	66.667	1.1547
50%	66	67	70	67.667	2.082





2021



การประชุมวิชาการระดับนานาชาติในภูมิภาคตะวันออก

MTC

The 6th Rajamangala Manufacturing and Management Technology Conference 2021

Proceedings

Conference 2021

1-3 กันยายน 2564

โรงแรมทีเคบรู๊ต ฮอนส์ พาซ่า
อำเภอศรีวิชัย จังหวัดยะลา

Conference Topics

- Production and Operations Management
- Manufacturing Engineering
- Materials Science and Applications
- Supply Chain and Logistics
- Industrial Education
- Technology and Innovation
- Technology and Innovation International Systems

ดำเนินการจัดงาน (Organizer)

โดย



อำนวยการจัดงาน (Hosts)

โดย



ร่วมจัดงาน (Co-Hosts)

โดย



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี



สนับสนุนโดย



1-3 กันยายน 2564

ณ โรงแรมหัวหินแกรนด์ แอนด์ พลัส อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์



ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ประธานคณะกรรมการดำเนินงานประชุมวิชาการ RMTC 2021

อาจารย์ ดร.สันติ โขทัยวัฒน์ (นพร.รัตนโกสินทร์)

คณะกรรมการดำเนินงานประชุมวิชาการ RMTC 2021 ประจำเครือข่าย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉวีรัตน์	ฉวีรัตน์	(นพร.เชียงใหม่)	ประธานกรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาสกรพิรุฬห์	วีระศักดิ์เมือง	(นพร.สุพรรณบุรี)	รองประธานกรรมการ
รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย	ศอชกุล	(นพร.เชียงใหม่)	กรรมการ
รองศาสตราจารย์สุรสิทธิ์	ระวีวงศ์	(นพร.ศรีวิชัย)	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ไพโรจน์	กัญจนกัญจน์	(นพร.สุพรรณบุรี)	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพโชติ	จุฑาศรี	(นพร.สุพรรณบุรี)	กรรมการ
อาจารย์เสีญญา	คำจิม	(นพร.สุพรรณบุรี)	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุวิมล	พจนวิภา	(นพร.ระยอง)	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เนรัญชลา	กัญญาพร	(นพร.รัตนโกสินทร์)	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ณัฐชิต	ณัฐชิต	(นพร.สุพรรณบุรี)	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉน	สุเมพร	(นพร.สุพรรณบุรี)	กรรมการ
อาจารย์สุวิมล	จำรูญรัตน์	(นพร.พระนครศรีอยุธยา)	กรรมการ
อาจารย์อวิชัย	ชาติคำนาม	(นพร.พระนครศรีอยุธยา)	กรรมการ
รองศาสตราจารย์ ดร.พิชัย	จับหนะณี	(นพร.กาญจนบุรี)	กรรมการ
อาจารย์ ดร.สุชัชวีร์	นภณีน	(นพร.กาญจนบุรี)	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุวิมล	วรรณศรี	(นพร.ยโสธร)	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉวีรัตน์	ฉวีรัตน์	(นพร.ยโสธร)	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุวิมล	ฉวีรัตน์	(นพร.ยโสธร)	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิริลักษณ์	ศิริลักษณ์	(นพร.ยโสธร)	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ฉวีรัตน์	ฉวีรัตน์	(นพร.ยโสธร)	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์จิรวิมล	ฉวีรัตน์	(นพร.ยโสธร)	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุวิมล	สุวิมล	(นพร.ยโสธร)	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉน	สุวิมล	(นพร.รัตนโกสินทร์)	กรรมการและเลขานุการ

คณะกรรมการดำเนินงานประชุมวิชาการ RMTC 2021 ด้านบทความ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉน	สุวิมล	ประธานกรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เนรัญชลา	กัญญาพร	รองประธานกรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉวีรัตน์	ฉวีรัตน์	กรรมการ



มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ (Rajabhat Buriram) | โทร. 043-251100 | อีเมล: info@rajabhatburiram.ac.th



อาจารย์ ดร.สิริสัมพันธ์
 อาจารย์ ดร.สุจินดา
 อาจารย์ ดร.สุจิตรา
 อาจารย์ ดร.ศศิณีลา

อาจารย์ ดร.นรา
 อาจารย์ ดร.ประทุม
 อาจารย์ ดร.สิริภูมิ

อาจารย์ ดร.วิภา
 อาจารย์ ดร.สุวิมล
 อาจารย์ ดร.สุวิมลรัตน์
 อาจารย์ ดร.วิมลวรินทร์
 อาจารย์ ดร.วิมลวรินทร์

อาจารย์ ดร.ณิชาณิชา
 อาจารย์ ดร.ปิยะพงษ์
 อาจารย์ ดร.กัญญา
 อาจารย์ ดร.วรา

แม่พิมพ์
 ศักดิ์สุข
 ธนพรรัตน์
 ศักดิ์จันทร์

สมิทธิภาพดี
 ศักดิ์คุณ
 เชื้อนงแก้ว

ดาวเดือน
 ป่าไผ่
 ไกรกลาง
 สุชนากานต์
 นิมิตระวี

เกศนุช
 ศักดิ์คุณ
 เมธีภัสสิ
 เมธีณิชา

มหาวิทยาลัยศิลปากร
 มหาวิทยาลัยบูรพา
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี สาขา
 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ
 สกลนคร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
 วิทยาเขตจันทบุรี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี นครราชสีมา
 มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี นครราชสีมา

มหาวิทยาลัยบูรพา
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
 วิทยาเขตจันทบุรี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ตารางการนำเสนอบทความ

ประชุมวิชาการทางเภสัชศาสตร์และเทคโนโลยีการแพทย์และการจัดการ ประจำปี 2564 (BMTC 2021)

วันที่ 2 กันยายน 2564

ประชุมวิชาการทางเภสัชศาสตร์และเทคโนโลยีการแพทย์ และการจัดการ ประจำปี 2564 ช่วงที่ 1						
Room	จัดขึ้น	สาขา	ประเภท	เลขวาระบทความ	สหสาขาวิชา	หมายเหตุ
Session Chair	ดร.ดร.สุชาติ บรมพิพิธ	ดร.ดร.ใจศิริวัฒน์ นันทิยาคุณากร	ดร.ดร.ศุภนิภา ฐิติธเนศ	ดร.ดร.วราพรณ์ ศิริภักดิ์	ดร.ดร.ศุภรัตน์ แก้วมณี	
Session Co-Chair	ดร.ดร.วิมล พรหมสิทธิ์	ดร.ดร.ศิวาน นันทิยาคุณากร	ดร.ดร.สุวิทย์ ธรรมา	ดร.ดร.สุพร ใจดี	ดร.ดร.วิภาดา คำโสม	
13.00-13.15 น.	POB-001	MFC-201	TA-401	MGA-301	SCL-801	
13.15-13.30 น.	POB-002	MFC-202	TA-402	MGA-303	SCL-802	
13.30-13.45 น.	POB-003	MFC-203	TA-403	MGA-306	SCL-803	
13.45-14.00 น.	POB-004	MFC-204	TA-405	MGA-307	SCL-805	
14.00-14.15 น.	POB-005	MFC-205	TA-408	MGA-308	SCL-806	
14.15-14.30 น.	POB-006	MFC-206	TA-409	MGA-309	SCL-807	
14.30-14.45 น.						
14.45-15.00 น.	POB-007	MFC-207	TA-409	MGA-310	SCL-808	
15.00-15.15 น.	POB-008	MFC-208	TA-410	MGA-312	SCL-809	
15.15-15.30 น.	POB-110	MFC-209	TA-413	MGA-313		
15.30-15.45 น.	POB-111	MFC-210	TA-414	MGA-314		
15.45-16.00 น.	POB-112	MFC-211	TA-414	MGA-315		
16.00-16.15 น.				MGA-316		
16.15-16.30 น.						
16.30-16.45 น.						
16.45-17.00 น.						



ภาควิชาเภสัชศาสตร์และเทคโนโลยีการแพทย์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

สารบัญ

	หน้า	
MFC-248	การประยุกต์ใช้ท่อนอนนูนคาร์บอนนาโนทิวบนเส้นใยคาร์บอนสำหรับตรวจวัดสารพิษ สำหรับตรวจวัดในทางสัตวบาลในเขตภาคเหนือ ชญัญ ธรรมใจ, สุภาภรณ์ ไชยบุญ, และสุวิทย์ วัชรินทร์	124
Material Science and Application (MSA) จำนวน 23 บทความวิจัย		
MSA-301	การศึกษาอิทธิพลของปริมาณธาตุสังกะสีต่อประสิทธิภาพของวัสดุชีวภาพคอมโพสิต โพลีเอสเตอร์/ไฟเบอร์กลาส ศิริวิทย์ ไชยบุญ, อรุณรุ่งโรจน์ ขวัญ	127
MSA-302	Preparation and Release Characteristic of Slow Release Urea from Arrowroot-based Bioplastic Fada Boonyakit, Somtop Sombenchakul, Sunornman Namfang	129
MSA-304	สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของโพลีเอสเตอร์ที่เคลือบด้วยสารประกอบซิลิกา กชกร สุทธิรักษ์, สุภาวดี เมธีภักดิ์, และณัฐพร ณัฐภักดิ์	130
MSA-307	การสังเคราะห์โพลีเอสเตอร์กับโพลีเอสเตอร์ไอโซแลน Cu-Gd-Ni-P ชนิดสังกะสี ธัญญา ธรรมใจ, ช่างจิตร ธีรฤกษ์, และกรรณิณี ธีรฤกษ์	132
MSA-308	การศึกษาสมบัติของสารเคลือบโพลีเอสเตอร์ที่มีส่วนผสมข้าวโพด ธนวิ ขาวสุข, และณัฐพร ณัฐ	133
MSA-309	การศึกษาอิทธิพลของอนุภาคนาโน Mn-Doped TiO ₂ และอินทรีย์ที่มีต่อประสิทธิภาพของสาร เคลือบกันเชื้อราและขึ้นราของโพลีเอสเตอร์ไอโซแลนที่ประกอบด้วยระบบฟิล์ม SAC105 ช่างจิตร ธีรฤกษ์, ชัญญา ธรรมใจ, และกรรณิณี ธีรฤกษ์	135
MSA-310	การศึกษาผลกระทบของนาโนซิลิกาที่มีต่อความแข็งแรงเชิงแรงดึงของฟิล์มชีวโพลีเอสเตอร์ที่มีส่วนผสม ข้าวโพด, เซลลูโลส, ลูวูลีน, นาโนซิลิกา, และซิลิกา-โพลีเอสเตอร์ ธัญญา ธรรมใจ, ช่างจิตร ธีรฤกษ์, และกรรณิณี ธีรฤกษ์	137
MSA-312	การศึกษาอิทธิพลของฟิล์มเคลือบที่ประกอบด้วยฟิล์มชีวโพลีเอสเตอร์ที่มีส่วนผสมของ อนุภาคนาโนซิลิกาที่มีอนุภาค ZnO ชญัญ ธรรมใจ, ชัญญา ธรรมใจ, และกรรณิณี ธีรฤกษ์	139
MSA-313	การศึกษาสมบัติทางกายภาพของฟิล์มชีวโพลีเอสเตอร์ที่มีส่วนผสมของฟิล์มชีวโพลีเอสเตอร์ที่มีส่วนผสมของ ฟิล์มชีวโพลีเอสเตอร์ ชญัญ ธรรมใจ, ชัญญา ธรรมใจ, และกรรณิณี ธีรฤกษ์	141
MSA-314	การศึกษาการสังเคราะห์สารเคลือบที่มีส่วนผสมของนาโนซิลิกาที่มีส่วนผสมของฟิล์มชีวโพลีเอสเตอร์ ที่มีส่วนผสมของฟิล์มชีวโพลีเอสเตอร์ ชญัญ ธรรมใจ, ชัญญา ธรรมใจ, และกรรณิณี ธีรฤกษ์	142
MSA-315	การศึกษาอิทธิพลของปริมาณนาโนซิลิกาที่มีต่อความแข็งแรงเชิงแรงดึงของฟิล์มชีวโพลีเอสเตอร์ ที่มีส่วนผสมของฟิล์มชีวโพลีเอสเตอร์ ชญัญ ธรรมใจ, ชัญญา ธรรมใจ, และกรรณิณี ธีรฤกษ์	143
MSA-316	การศึกษาการขึ้นรูปฟิล์มชีวโพลีเอสเตอร์ที่มีส่วนผสมของฟิล์มชีวโพลีเอสเตอร์ที่มีส่วนผสมของฟิล์มชีวโพลีเอสเตอร์ ที่มีส่วนผสมของฟิล์มชีวโพลีเอสเตอร์ ชญัญ ธรรมใจ, ชัญญา ธรรมใจ, และกรรณิณี ธีรฤกษ์	145



รหัสบทความ MSA-306

**สมบัติทางเคมีและกายภาพของเส้นใยธรรมชาติจากมูลสัตว์และการประยุกต์ใช้
CHEMICAL AND PHYSICAL PROPERTIES OF NATURAL FIBER FROM ANIMAL
MANURES AND ITS APPLICATION**

ทศพร ดุสิตสำราญ¹, สุเมธมาย์ นิยมผลงาน^{1*} และ พินิจพรณ นิยมผลงาน²

¹ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

²ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

Email: Sumonma.n@rmutt.ac.th *

Taxaporn Dusitsamran¹, Sumonma Niymphan^{1*} and Pinolpun Niymphan²

¹ Department of Materials and Metallurgical Engineering, Faculty of engineering, Rajamangala University of Technology Thurgaburi, Pathumthani, Thailand

² Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Nakhonpathom, Thailand
Email: Sumonma.n@rmutt.ac.th *

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาสมบัติทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของเส้นใยที่ได้จากมูลม้าและมูลช้างสำหรับใช้เป็นสารเสริมแรงในวัสดุเชิงประกอบ เส้นใยจากมูลม้า (Horse manure fiber; HMF) และมูลช้าง (Elephant manure fiber; EMF) ถูกเตรียมโดยการนำมาล้าง ล้างไขมันคั่ง และขยายขนาดด้วยด่างกรด และนำเส้นใยที่ได้มาปรับสภาพผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (4% w/w) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (Treated horse manure fiber; THMF, Treated elephant manure fiber; TEMF) วัตถุดิบพืชซึ่งเป็นหนึ่งในชนิดของสารอาหารม้าและช้างถูกนำมาใช้เป็นตัวอย่างเส้นใย ก่อนผ่านกระบวนการถนอมใยในกระบวนการของสัตว์ทั้ง 2 ชนิด (Natural Fiber; NF) สมบัติทางเคมีของเส้นใย NF, HMF, EMF, THMF และ TEMF ถูกตรวจสอบและศึกษาด้วยเครื่องมือที่ทันสมัยสำหรับวิเคราะห์และเปรียบเทียบโครงสร้างผลึกของเส้นใยด้วยเครื่องมือเอกซเรย์รังสีเอกซ์ การเปรียบเทียบคุณสมบัติของเส้นใยผ่านการปรับปรุงพื้นผิว (THMF, TEMF) มีปริมาณสูงกว่าเส้นใยจากมูลสัตว์ (HMF, EMF) เส้นใยถนอม และมีการขยายตัวของเส้นใย NF ตามลำดับ เมื่อศึกษาอีกแนวทางการนำเส้นใยของเส้นใยที่ถนอมด้วยกรดแล้วมาเชื่อมขวางด้วยสารเชื่อมขวางด้วยเอพ็อกซี HMF, EMF, THMF และ TEMF มีความแข็งแรงใกล้เคียงกัน เส้นใยจากมูลม้าและมูลช้าง (HMF, EMF) มีศักยภาพที่จะใช้เป็นสารเสริมแรงในวัสดุเชิงประกอบที่สามารถลดต้นทุนของการปรับปรุงผิวด้วยสารเชื่อมขวาง โดยมูลค่าตั้งแต่ 2 ชนิด ถูกนำมาผสมกับพอลิเอทิลีนในสัดส่วน 10, 20, 30, 40 และ 50 phr ด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง และขึ้นรูปเป็นแผ่นโดยเครื่องอัดรีดแบบไฮดรอลิก หลังจากการผสมเสร็จแล้วพบว่า ค่าแรงดึงเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของเส้นใยที่เพิ่มขึ้น โดยความต้านทานคั้นแรงดึงและค่าความต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของเส้นใยที่มีอยู่ ดังนั้นเส้นใยจากมูลสัตว์จึงเป็นทางเลือกสำหรับใช้เป็นสารเสริมแรงในวัสดุเชิงประกอบที่มีการเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

คำหลัก มูลม้า, มูลช้าง, การปรับสภาพผิวด้วยด่าง, เส้นใยจากมูลสัตว์, เส้นใยธรรมชาติ

Abstract

This research studied the chemical and physical properties of fiber from animal manure as reinforcement in composite. Horse and elephant manure were selected as model fibers from animal manure because they are a single stomach animal. Napier grass fiber (NF) is feeding resource for both horse and elephant. The horse manure fiber (HMF) and elephant manure fiber (EMF) were washed,





dried and sieved. The clean HFM and EFM were treated by sodium hydroxide solution (4 % w/w) for 24 hrs. The physical and chemical properties of NF, HMF, EMF, treated HMF (THMF) and treated EMF (TEMF) were investigated. The functional group and crystallinity of NF, HMF, EMF, treated HMF and treated EMF was characterized by FT-IR spectroscopy and X-Ray Diffractometer , respectively. The amount of cellulose of treated fiber (THMF, TEMF) is a little bit higher than fiber from animal manure (HMF, EMF) and higher than NF, respectively. Surface morphology was studied by Scanning Electron Microscopy . The surface roughness was observed on HMF, EMF, THMF and TEMF surface. Thus HMF and EMF have potential to be used as natural treated fiber by reducing an alkali treatment process. To study the possibility of using fiber from animal manure as reinforcement in polypropylene (PP), HFM and EFM was mixed with PP (10, 20, 30, 40 and 50 phr) by two roll mill and was then fabricated by compression molding. The mechanical properties of animal manure fiber/PP composite were studied. The young's modulus of EMF/PP and HMF/PP is higher than neat PP. The hardness and impact strength of both EMF/PP and HMF/PP were non- significant increase with increasing amount of fiber. Thus, fiber from animal manure could be an alternative resource for reinforcement fiber in environmental friendly process composite.

Keywords: horse manure, elephant manure, alkali treatment, cellulose fiber, natural fiber

1. บทนำ

วัสดุเชิงประกอบเสริมแรงด้วยเส้นใยจากธรรมชาติได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในการพัฒนาเป็นวัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม [1] มีการศึกษาการนำเส้นใยจากธรรมชาติมาเสริมแรงในวัสดุเชิงประกอบ เช่น เส้นใยป่านศรนารายณ์[2] เส้นใยถั่วปรง[3] แต่การนำเส้นใยจากธรรมชาติมาใช้ยังมีข้อจำกัดของการผสมเส้นใยกับพลาสติก เพราะไม่สามารถผสมลงในโพลีเมอรร่วมตัวกันได้โดยตรง เพราะการเข้ากันไม่ได้ระหว่างของเส้นใยและพอลิเมอร์ ดังนั้นจึงมีปริมาณมากที่จะใช้ในการปรับปรุงตัวของเส้นใยก่อนที่จะนำเส้นใยมาใช้ในการผสมโพลีเมอร์ เช่น การปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีความชื้น การปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีพลาสมา[4] โดยส่วนใหญ่จะใช้สารเคมีในการปรับสภาพผิว เช่น การปรับสภาพผิวด้วยสารละลายด่างเพื่อเพิ่มความสามารถของวัสดุปริมาณเล็กน้อยที่พื้นผิวของเส้นใย แต่การใช้สารเคมีนั้นเป็นผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้ศึกษากระบวนการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยใช้กระบวนการทางธรรมชาติ เช่น กระบวนการย่อยอาหารสัตว์ โดยอาศัยจุลินทรีย์ในลำไส้เป็นตัวหมัก จึงเป็นกระบวนการปล่อยสารเคมีหรือปล่อยเขม่า

สัตว์ชนิดอื่น เนื่องจากเป็นสัตว์ที่มีกระเพาะเดี่ยว (Single stomach) และมีขนาดกระเพาะเล็กมากเมื่อเทียบกับสัตว์ที่มีขากหลายตัวเท่ากัน โดยอาศัยจุลินทรีย์ในการย่อย ส่วนใหญ่อาหารที่ย่อยจะเป็น พืช ผัก และพืชข้าว จึงทำให้ยังคงเหลือเส้นใยอยู่ภายในมูลม้าและมูลช้างเป็นจำนวนมาก [5-6]

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เส้นใยจากมูลสัตว์สำหรับเสริมแรงในวัสดุเชิงประกอบ เส้นใยจากมูลสัตว์จะถูกศึกษาสมบัติทางเคมีและทางภาพเปรียบเทียบกับเส้นใยจากธรรมชาติที่ยังไม่ผ่านกระบวนการย่อย และเส้นใยจากมูลสัตว์ที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงผิวด้วยวิธีพลาสมา แล้วนำมาผสมลงในโพลีเอทิลีนเพื่อเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้ เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนากระบวนการผลิตวัสดุเชิงประกอบเสริมแรงด้วยเส้นใยจากธรรมชาติที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

2. วิธีการวิจัย

2.1 การเตรียมเส้นใย

2.1.1 เส้นใยจากมูลม้าชนิดปศุสัตว์ (NF)

นำมูลม้าชนิดปศุสัตว์ที่ใช้เป็นอาหารสัตว์มาผสมน้ำให้แห้งที่อุณหภูมิ ๕0 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงแล้ว นำมาปั่นด้วยเครื่องปั่นแยกประเภทที่ ๒ แล้วร่อนด้วยตะแกรงขนาด 0.4 ไมโครเมตร และวัดขนาดเฉลี่ยของเส้นใยที่เตรียมได้

2.1.2 เส้นใยจากมูลม้า(HMF) และ มูลช้าง (EMF)

โดยส่วนใหญ่มูลสัตว์จะประกอบไปด้วยเศษพืช ที่กินเข้าไปและไม่สามารถย่อยหรือนำไปใช้ประโยชน์จึงเหลือกากที่สัตว์ถ่ายออกมา จะมีธาตุอาหารชนิดใดมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอาหารที่กินเข้าไป กระบวนการย่อย และวิธีการให้อาหาร งานวิจัยนี้สนใจที่จะศึกษาเส้นใยมูลม้าและมูลช้าง เนื่องจากสัตว์ทั้งสองประเภทนี้มีกระบวนการย่อยที่คล้ายกัน



ทำหยาบและลดน้ำหนักและบดขี้างโดยการล้างน้ำและอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วร่อนด้วยตะแกรงขนาด 0.4 ไมโครเมตร และวัดขนาดเฉลี่ยของเส้นใยที่เตรียมได้



รูปที่ 1 ก) เส้นใยจากดุนผ้า ข) เส้นใยจากดุนขี้าง

2.1.3 เส้นใยจากดุนผ้าและดุนขี้างสำหรับการปรับสภาพด้วยสารละลายต่าง (Treated horse manure fiber, THMF, Treated elephant manure fiber, TEMF)
นำเส้นใยจากดุนผ้า(HMF) และ ดุนขี้าง (EMF) ที่ผ่านการทำความสะอาดแล้วมาปรับสภาพด้วยสารละลายไฮโดรเจนไดออกไซด์ความเข้มข้น 4% w/v เป็นเวลา 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำเส้นใยมาล้างด้วยน้ำสะอาดจนค่า pH เป็น 7 อบเส้นใยให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงแล้วนำมามบดบดด้วยเครื่องบดแบบกระป๋อง แล้วร่อนด้วยตะแกรงขนาด 0.4 ไมโครเมตร และวัดขนาดเฉลี่ยของเส้นใยที่เตรียมได้

2.2 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ

ศึกษาลักษณะผิวของเส้นใยจากดุนผ้าที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารละลายไฮโดรเจนไดออกไซด์ที่เตรียมได้ถูกศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด รุ่น QUANTA 450 และกล้องจุลทรรศน์ รุ่น binocular microscope โดยวัดขนาดเฉลี่ยของเส้นใยด้วยโปรแกรม Digital Microscope

2.3 การศึกษาคุณสมบัติเชิงความร้อนเป็นผลึก

เพื่อศึกษาหมู่ฟังก์ชันทางเคมีของเส้นใย HMF, EMF, THMF และ TEMF เปรียบเทียบกับเส้นใย NF สามารถศึกษาโดยเครื่องมือวิเคราะห์ตามอินฟราเรดของไฟโพรโบยี่ รุ่น Spectrum Two 106098 และศึกษาลักษณะโครงสร้างผลึกของเส้นใยที่เตรียมได้โดยศึกษาด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟร็กชัน รุ่น PW3000/60

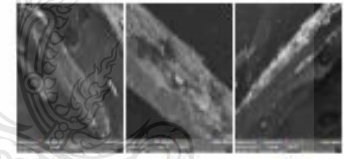
2.4 การเตรียมวัสดุเชิงประกอบ EFMPP และ HFMP

เพื่อทดสอบสมบัติเชิงกลของเส้นใยจากดุนผ้าที่เป็นเส้นใยเสริมแรงวัสดุเชิงประกอบ เส้นใย HMF และ EMF ที่เตรียมได้ถูกนำมา ผสมกับ พอลิเอทิลีน (เกรด HP500N) เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง ที่อัตราส่วน 10, 20, 30, 40 และ 50 PHH ใช้ดุนอุณหภูมิในการผสมคือ 160 องศาเซลเซียส หลังจากทีผสมจนเข้ากันแล้ว นำไปขึ้นเป็นเส้นใยด้วยวิธีอัด

เข้าแบบไฮดรอลิกที่ความดัน 90 MPa อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 นาที แล้วทำการดุนอุณหภูมิของขึ้นานด้วยการร่อนเส้นเป็นเวลา 3 นาที หลังจากนั้นก็ทำการทดสอบสมบัติ การต้านทานแรงดึง ตามมาตรฐาน ASTM D 638 การต้านทานแรงกด ตามมาตรฐาน ASTM D2240 shore D และ การต้านทานแรงกระแทก ตามมาตรฐาน ASTM D 256 lead

3. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.1 สมบัติทางกายภาพของเส้นใยเส้นใยจากดุนผ้าและดุนขี้างจากการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของเส้นใยด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงพบว่า NF, HMF, EMF, THMF และ TEMF มีขนาดเส้นใยเฉลี่ยประมาณ 0.18 ± 0.045 ไมโครเมตร และวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบว่าเส้นใยของเส้นใยจากดุนผ้าและดุนขี้างมีความขรุขระมากกว่าเส้นใย NF และมีก้านเส้นใยจากดุนผ้าและดุนขี้างไปปรับปรุงเส้นใยมีความขรุขระที่มากกว่า และดังรูปที่ 2 และ 3



รูปที่ 2 ลักษณะผิวของ ก) NF ก) HMF ก) THMF

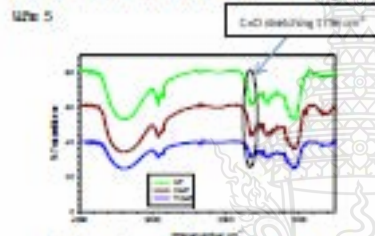


รูปที่ 3 ลักษณะผิวของ ก) NF ก) EMF ก) TEMF

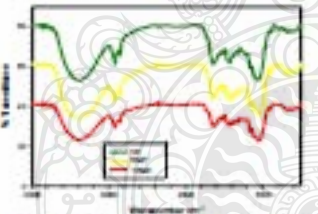
จากการตรวจสอบสมบัติของ HMF, TEMF และ EMF, THMF เปรียบเทียบกับเส้นใยจากดุนผ้าดิบ (NF) สหสัมพันธ์ พบว่าสมบัติของเส้นใย NF มีหมู่ฟังก์ชัน -CH₂ asymmetric และ -CH symmetric ๓๓48 ก.ม.ต่อกรัม ใน



ค่าแรงของพันธ 1720 cm^{-1} ไม่มีการดูดซับในสเปกตรัมการดูดซับอินฟราเรดของ HMF และ EMF และเมื่อเปรียบเทียบกับสเปกตรัมการดูดซับอินฟราเรดของสารตั้งต้นคือ 4-oxo-2,6-dimethyl-1,3,5-triazine เป็นเวลา 20 ชั่วโมง พบว่าปริมาณของสารตั้งต้นที่ลดลงหรือที่หมดไปของสารตั้งต้นคือ 4-oxo-2,6-dimethyl-1,3,5-triazine เป็นเวลา 5 ชั่วโมง และมีการดูดซับอินฟราเรดที่ 1600-1735 cm^{-1} เป็นสัญญาณ C=O stretching จากหมู่คาร์บอนิลที่อยู่ในโครงสร้างของสารตั้งต้น และเมื่อเปรียบเทียบกับสเปกตรัมการดูดซับอินฟราเรดของสารตั้งต้น พบว่าปริมาณของสารตั้งต้นลดลง



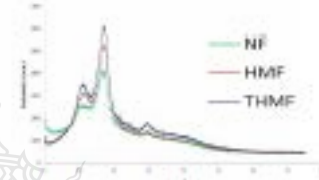
รูปที่ 4 กราฟ FT-IR spectrum ของ NF, HMF และ THMF



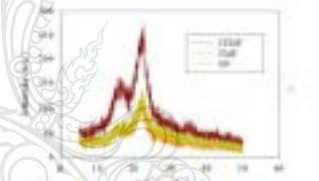
รูปที่ 5 กราฟ FT-IR spectrum ของ NF, EMF และ TEMF

เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานของผลของสารตั้งต้น และเป็นการเปรียบเทียบของผลของสารตั้งต้นคือ HMF, EMF, THMF และ TEMF จากการวิเคราะห์ของสารตั้งต้นในรูปที่ 6 และ 7 พบที่ 22.1 องศา ในส่วนของสเปกตรัมการดูดซับอินฟราเรด (HMF, EMF) ซึ่งมีการดูดซับอินฟราเรดที่ 1600-1735 cm^{-1} และ สเปกตรัมการดูดซับอินฟราเรดที่ 1600-1735 cm^{-1} มีค่าสูงกว่า HMF, EMF ซึ่งลดลงเมื่อมีการดูดซับอินฟราเรด

จากการดูดซับอินฟราเรดของสารตั้งต้นอินฟราเรดที่ 1600-1735 cm^{-1} เมื่อเปรียบเทียบกับสเปกตรัมการดูดซับอินฟราเรดของสารตั้งต้นคือ 4-oxo-2,6-dimethyl-1,3,5-triazine พบว่าปริมาณของสารตั้งต้นที่ลดลงหรือที่หมดไปของสารตั้งต้นคือ 4-oxo-2,6-dimethyl-1,3,5-triazine เป็นเวลา 5 ชั่วโมง และมีการดูดซับอินฟราเรดที่ 1600-1735 cm^{-1} เป็นสัญญาณ C=O stretching จากหมู่คาร์บอนิลที่อยู่ในโครงสร้างของสารตั้งต้น และเมื่อเปรียบเทียบกับสเปกตรัมการดูดซับอินฟราเรดของสารตั้งต้น พบว่าปริมาณของสารตั้งต้นลดลง



รูปที่ 6 กราฟ DSC TGA ของ NF, HMF และ THMF

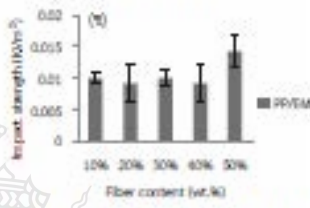
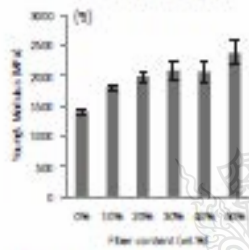
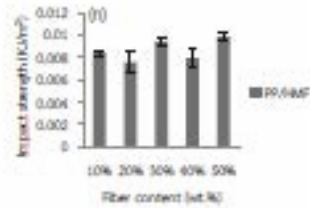
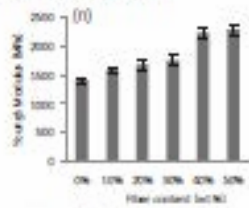


รูปที่ 7 กราฟ DSC TGA ของ NF, EMF และ TEMF

5.2 ผลของเวลาของอินฟราเรดของสารตั้งต้นอินฟราเรดที่ 1600-1735 cm^{-1} เมื่อเปรียบเทียบกับสเปกตรัมการดูดซับอินฟราเรดของสารตั้งต้นคือ 4-oxo-2,6-dimethyl-1,3,5-triazine เป็นเวลา 5 ชั่วโมง และมีการดูดซับอินฟราเรดที่ 1600-1735 cm^{-1} เป็นสัญญาณ C=O stretching จากหมู่คาร์บอนิลที่อยู่ในโครงสร้างของสารตั้งต้น และเมื่อเปรียบเทียบกับสเปกตรัมการดูดซับอินฟราเรดของสารตั้งต้น พบว่าปริมาณของสารตั้งต้นลดลง



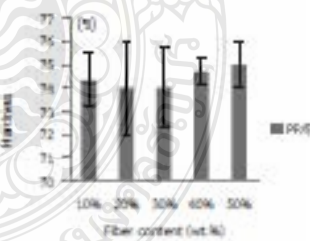
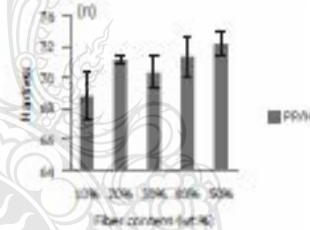
บดสีผิว (MF) และ เส้นใยจากกล้วยสีผิวผ่านการปรับปรุง
พื้นผิว (PI-MF) เป็นหน่วยค่า Young's Modulus ของวัสดุ
เชิงประกอบนั้นไม่แตกต่างกัน



รูปที่ 9 การพิจารณาเส้นกราฟของกราฟ (f) (PI-MF g) (PI-MF h) (PI-MF i)

รูปที่ 10 การพิจารณาเส้นกราฟ (f) (PI-MF g) (PI-MF h) (PI-MF i)

เมื่อทำการทดสอบแรงดึงของ MF, PI-MF และ
PI-MF และวัดค่าความแข็งแรงของวัสดุที่ขึ้น
แข็งขึ้นปริมาณเส้นใยกล้วยสีผิว เส้นใยในรูปที่ 9
และ 10 พบว่าค่าความแข็งแรงของวัสดุที่ขึ้นแข็ง
ขึ้นปริมาณเส้นใยกล้วยสีผิว ค่านี้ที่ทำการขึ้นแข็ง
ของวัสดุมีการเปลี่ยนแปลงแตกต่างกัน



รูปที่ 10 การพิจารณาเส้นกราฟ (f) (PI-MF g) (PI-MF h) (PI-MF i)





สรุปผลการทบทวน

เส้นใยของโพลีเอทิลีนและพอลิโพรพิลีนถูกนำมาศึกษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการปรับปรุงดินและเส้นใยที่ยังไม่ผ่านการบำบัดขยะ พลาสติกเส้นใยของโพลีเอทิลีนและพอลิโพรพิลีนมีปริมาณผลิตภัณฑ์น้อย แต่ยังคงไม่เกี่ยวกับการปรับปรุงดินที่มีประสิทธิภาพในการเพิ่มปริมาณของไนโตรเจนในดินและการผลิต เส้นใยที่ผ่านการบำบัดขยะจึงเหมาะสมในการนำมาก็ค้นคว้าเป็นโพลีเอทิลีนและพอลิโพรพิลีน

เอกสารอ้างอิง

[1] J. Hennawy and O. Eriksson (2015) Energy and nutrients from horse manure: Life-cycle data inventory of horse manure management systems in Gävleborg, Sweden, Research report, University of Gävleborg

[2] K. P. Ashok, Ramesh S. Sharma (2015) "A Review on Mechanical Properties of Natural Fiber Reinforced Hybrid Polymer Composites", *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 5, 420-426.

[3] M. S. Balra, V.K. Gupta, L. Aggarwal (2017), Effect of fibre content on mechanical properties and water absorption behavior of pineapple/HDPE composites, *Materials Today Proceedings* 4, 5207-5214

[4] L. Mohammed, M. N. M. Anuar, G. Pua, M. Jawaid, and M. S. Islam, A Review on Natural Fiber Reinforced Polymer Composites and Its Applications, *International Journal of Polymer Science* Article ID 267947, <http://dx.doi.org/10.1155/2015/267947>

[5] V. Hoşgörmüş, E. Gıngörmüş, N. Şenavak, Characterization of Cellulose Fibers by FTIR Spectroscopy for Their Further Implementation to Building Materials, *American Journal of Analytical Chemistry*, 2018, 9, 305-310

[6] ไทเทคพืชพรรณ. คู่มือการปลูกทุเรียนชนิดป่าประดู่ 1. Available from http://westerindia.id.gov.th/~/media/stories/cattle_bull_bord/napiengram.pdf [Accessed 4th February 2017].

[7] J. George, M. S. Sreekala, S. Thomas "A review on interface modification and characterization of natural fiber reinforced plastic composites" *Polymer Engineering & Science*, 43(9), 2001,1471-1485

[8] A. Benyahia, A. Mennouch, M. Bekki, Z. Kouidi "Study the effect of alkali treatment of natural fibers on the mechanical behavior of the composite unsaturated Polyester-fiber Alfa", *21ème Congrès Français de Mécanique* Bordeaux, 2013, 1-5

[9] T. Lu, S. Liu, M. Jiang, X. Xu, Y. Wang, Z. Wang, J. Gou, D. Hu, Z. Zhou " Effects of modifiers of bamboo cellulose fibers on the improved mechanical properties of cellulose reinforced poly(lactic acid) composites " *J Composites Part B* 62 (2014) 191-197

[10] Qiang Yang, Shengfei Zhou, and Troy Runge Department of Biological Systems Engineering, University of Wisconsin-Madison, 450 Henry Hall, Madison, WI 53706, USA Yang et al. (2016). "Duty manure for bioethanol," *Bio Resources* 11(1), 1243-1254



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายทศพร ฤทธิ์คำรพ
วัน-เดือน-ปี ที่อยู่	วันที่ 27 กันยายน พ.ศ.2536 47/3 หมู่ 3 ตำบลวัดสำโรง อำเภอนครชัยศรี จังหวัดนครปฐม รหัสไปรษณีย์ 73120
การศึกษา	ปริญญาตรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ พ.ศ.2560
ประสบการณ์การทำงาน	บริษัท อินโดรามา โพลีเอสเตอร์ อินดัสตรีส์ จำกัด (มหาชน) (4 เดือน)
เบอร์โทรศัพท์	085-429-9044
E-mail	Tossaporm.t@gmail.com

