

การศึกษาสมบัติทางกลของวัสดุคอมโพสิตพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วย
ขนเป็ด ขนไก่ และขนสุนัข

STUDY ON MECHANICAL PROPERTIES OF
POLYPROPYLENE COMPOSITE REINFORCED WITH
DUCK FEATHERS CHICKEN FEATHERS AND DOG HAIR

วนิดา ลีจง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2560

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี


การศึกษาสมบัติทางกลของวัสดุคอมโพสิตพอลิพรพิลีนเสริมแรงด้วย
ขนเป็ด ขนไก่ และขนสุนัข

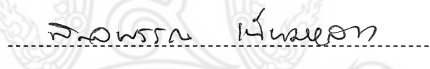
วนิดา ลีจง

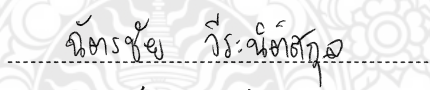
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2560
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี


หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาสมบัติทางกลของวัสดุคอมโพสิตพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขนเป็ด ขนไก่ และขนสุนัข Study on Mechanical Properties of Polypropylene Composites Reinforced with Duck Feathers, Chicken Feathers and Dog Hair
ชื่อ – นามสกุล	นางสาววนิดา ลีจง
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุ
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์สุมนนมาลย์ เนียมกลาง, Ph.D.
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์อนินท์ มีมนต์, Ph.D.
ปีการศึกษา	2560

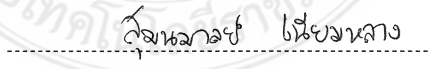
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


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



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


..... กรรมการ
(อาจารย์ฉัตรชัย วีระนิติสกุล, Ph.D.)


..... กรรมการ
(อาจารย์อนินท์ มีมนต์, Ph.D.)


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

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท


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

วันที่ 14 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2561

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาสมบัติทางกลของวัสดุคอมโพสิตพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขนเป็ด ขนไก่ และขนสุนัข
ชื่อ-นามสกุล	นางสาวนิตา ลีจง
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุ
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์สุนนมาลย์ เนียมกลาง, Ph.D.
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์อนันต์ มีมนต์, Ph.D.
ปีการศึกษา	2560

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาสมบัติทางกลของวัสดุคอมโพสิตพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขนสัตว์ โดยเลือกใช้ขนสัตว์ 3 ชนิด ได้แก่ ขนเป็ด ขนไก่ และขนสุนัข สำหรับขึ้นรูปวัสดุคอมโพสิตพอลิโพรพิลีน ขนสัตว์จะแยกชนิดผสมลงไปในวัสดุเนื้อพื้นพอลิโพรพิลีนทำหน้าที่เป็นวัสดุเสริมแรงโดยจะผสมลงไป ปริมาณ 2-10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก กระบวนการผสมใช้เครื่องผสมแบบเปิดสองลูกกลิ้ง และขึ้นรูปด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูปโดยใช้แรงอัด 10.34 เมกะปาสกาล อุณหภูมิในการขึ้นรูป 170 องศาเซลเซียส และเวลาอัด 5 นาที จากนั้นนำชิ้นทดสอบไปทำการทดสอบสมบัติเชิงกล

จากผลการทดสอบสมบัติทางกลพบว่าวัสดุคอมโพสิตพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขนสัตว์มีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณขนสัตว์เพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณขนสัตว์ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เกิดผสมกันไม่ได้ สภาวะการยึดเกาะระหว่างขนสัตว์และพอลิโพรพิลีนไม่ดีซึ่งสามารถยืนยันได้จากผลการทดสอบสมบัติทางกลและผลสัมฤทธิ์ทางวิทยาศาสตร์ ด้วยเหตุนี้จึงได้ทำการทดลองปรับสภาพผิวและใช้สารคู่ควบในการปรับปรุงสมบัติทางกลของวัสดุคอมโพสิตนี้

สมบัติทางกลของวัสดุคอมโพสิตที่ได้จากการปรับสภาพผิวขนสัตว์ด้วยปฏิกิริยาของด่าง (Alkalization) มีค่าสมบัติทางกลเพิ่มขึ้นเนื่องจากลักษณะของผิวของแต่ละขนสัตว์เกิดการเปลี่ยนแปลงส่งผลให้เกิดแรงยึดเกาะที่ดีขึ้น ในขณะที่การเติมสารคู่ควบมาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟต์พอลิโพรพิลีน (Maleic Anhydride-grafted-Polypropylene) ส่งผลให้สมบัติทางกลไม่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากผลการทดสอบที่ได้มีลักษณะไม่แตกต่างกับผลสมบัติทางกลของคอมโพสิตที่ปรับสภาพผิวเส้นใยขนสัตว์

คำสำคัญ: สมบัติทางกล พอลิโพรพิลีน วัสดุคอมโพสิตพอลิโพรพิลีน การเสริมแรง ขนเป็ด ขนไก่ ขนสุนัข

Thesis Title	Study on Mechanical Properties of Polypropylene Composites Reinforced with Duck Feathers, Chicken Feathers and Dog Hair
Name-Surname	Miss Wanida Sijong
Program	Materials Engineering
Thesis Adviser	Miss Sumonman Niamlang, Ph.D.
Thesis co-advisor	Mr. Anin Memon, Ph.D.
Academic Year	2017

ABSTRACT

This research aimed to study the mechanical properties of polypropylene (PP) composites reinforced with 3 type of feathers and hair. Duck feathers, chicken feathers and dog hair were employed as reinforcements for fabricating polypropylene composites. Feathers and hair were separated and mixed with PP with the ratio of 2-10 %w/w. Then, the compounds were mixed by two-roll mills and fabricated by compression molding under the pressure of 10.34 MPa. Molding temperature was set at 170 °C for 5 minutes. After that, the mechanical properties of the polypropylene (PP) composites reinforced with feathers and hair were investigated.

Since the interfacial bonding between the fillers and PP was poor, it was found that the mechanical properties of the composites were decreased when the amount of feathers and hair were increased. Moreover, the mechanical testing and the morphology further confirmed the results. In order to improve the mechanical properties of the composites, the employment of a coupling agent, and the employment of treated feathers and hair were studied.

After the surface modification of feathers and the hair with alkali, the mechanical properties of the composites were increased. Since the surfaces of feathers and hair were changed, the interfacial bonding between the treated fillers and PP was improved. In conclusion, it was found that the mechanical properties of the composites employed with maleic anhydride grafted polypropylene (PP-g-MA) as a coupling agent were not changed, and these mechanical properties were the same as the ones employed with the treated fillers.

Keywords: mechanical properties, polypropylene, polypropylene composites, reinforcement, duck feathers, chicken feathers, dog hair

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีอย่างสมบูรณ์เนื่องด้วยได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจาก ดร.สุมนมาลย์ เนียมกลาง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.อนินท์ มีมนต์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมและผู้มอบทุนการศึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรพงษ์ ภาวสุปรีย์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ดร.ฉัตรชัย วีระนิติสกุล กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ ดร.พิมลพรรณ เนียมกลาง อาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิ ที่กรุณาให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาตลอดจนให้ความช่วยเหลือแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณความอนุเคราะห์ในด้านวัสดุ เครื่องมือในการทำวิจัย และเครื่องมือวิเคราะห์จากภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ และภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ขอขอบคุณผู้ช่วยวิจัย นายพลภัทร ทิพย์บุญศรี ที่คอยช่วยเหลือให้ความร่วมมือในการทำแลปปฏิบัติการ

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และพี่น้องที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษาและเป็นกำลังใจให้สามารถผ่านพ้นอุปสรรคจนประสบผลสำเร็จ และอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการและภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมที่ได้มอบความรู้แก่ข้าพเจ้า เพื่อนและพี่น้องภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการและภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมสำหรับความช่วยเหลือในการทำวิจัย และกำลังใจที่มีให้ รวมถึงผู้ที่ไม่ได้กล่าวนามมา ณ ที่นี้ด้วย สำหรับคุณความดีอันเกิดจากงานวิจัยฉบับนี้ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่สนใจ หากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขาดตกบกพร่อง หรือไม่สมบูรณ์ประการใด ผู้วิจัยขอกราบขออภัยมา ณ โอกาสนี้ด้วย

วนิดา ลีจง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญตาราง.....	(8)
สารบัญรูป.....	(11)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	(13)
บทที่ 1 บทนำ.....	14
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	14
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	16
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	16
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	17
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	18
2.1 พอลิโพรพิลีน.....	18
2.2 เส้นใยขนสัตว์.....	20
2.3 วัสดุคอมโพสิต.....	21
2.4 การปรับสภาพผิวเส้นใยด้วยวิธีการทางเคมี.....	24
2.5 สารควบคู่ปฏิกิริยา.....	25
2.6 กระบวนการแปรรูปพลาสติก.....	29
2.7 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ทางความร้อน และวิเคราะห์ธาตุและ	
สารประกอบ.....	32
2.8 การทดสอบสมบัติทางกล.....	36
2.9 ทบทวนวรรณกรรม.....	41
บทที่ 3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน.....	48

สารบัญ(ต่อ)

3.1 วัสดุอุปกรณ์ สารเคมีและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	48
3.2 ขั้นตอนในการทดลอง.....	49
3.3 วิธีการศึกษาสมบัติของแผ่นวัสดุคอม โพลิต	49
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	55
4.1 สมบัติของขนสัตว์.....	55
4.2 สมบัติเชิงกลของวัสดุผสมพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขนสัตว์ตามอัตราส่วน ต่างๆ.....	59
4.3 สมบัติเชิงกลเปรียบเทียบวัสดุผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับขนสัตว์แต่ละ ชนิดที่ไม่ผ่านการปรับสภาพผิวและปรับสภาพผิวขนสัตว์ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์.....	67
4.4 สมบัติเชิงกลเปรียบเทียบวัสดุผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับขนสัตว์ที่ปรับ สภาพผิวด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ไม่เติมสารกักความชื้นและเติมสารกักความ ชื้น 1wt %.....	75
4.5 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของวัสดุผสมเสริมแรงด้วยขนสัตว์ที่ขึ้นรูปได้.....	84
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	88
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	88
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	93
บรรณานุกรม.....	94
ภาคผนวก.....	97
ภาคผนวก ก.ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่.....	98
ประวัติผู้เขียน.....	126

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

MPa	เมกะปาสคาล
DF	ขนเป็ด (Duck feather)
CF	ขนไก่ (Chicken feather)
DH	ขนสุนัข (Dog hair)
mm	มิลลิเมตร
g	กรัม
Kg	กิโลกรัม
min	นาที
°C	องศาเซลเซียส
S.D.	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
J/m	ค่าพลังงานต่อหน่วยพื้นที่บริเวณรอยบาก
HRR	ค่าความแข็งร็อกเวลสเกลอาร์
Coupling agent	สารเติมคู่ควบปฏิกิริยา
Alkaline treatment	การปรับสภาพผิวด้วยด่าง
pH	หน่วยความเป็นกรดเป็นด่าง
g/cm ³	หน่วยความหนาแน่น มวลต่อปริมาตร
MPa	หน่วยใช้วัดความดัน ความดันภายใน ความเค้น ค่ามอดูลัสของยัง และ ความทนแรงดึงสูงสุด (1 MPa \equiv 1,000,000 Pa)
kgf	กิโลกรัมในหน่วยของแรง Kilogram-force

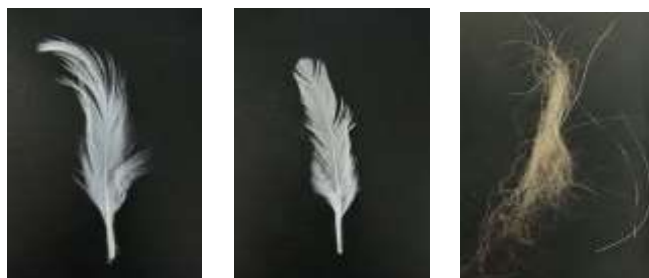
บทที่ 1

บทนำ

การศึกษาการใช้ขนสัตว์เป็นวัสดุเสริมแรงในพอลิโพรพิลีน มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการขึ้นรูปวัสดุคอมโพสิตที่ใช้ขนสัตว์เป็นวัสดุเสริมแรง 3 ชนิด คือ ขนเป็ด ขนไก่ ขนสุนัข เพื่อศึกษาช่องทางการใช้ประโยชน์จากขนสัตว์ และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานที่หลากหลายขึ้นของวัสดุผสมที่ได้

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

หากกล่าวถึงสภาพแวดล้อมในปัจจุบันนั้น ปัญหาที่เกิดขึ้นหลัก ๆ ที่ส่งผลต่อความเสื่อมโทรมของสภาพแวดล้อมคงหนีไม่พ้นเรื่องของขยะที่มีจำนวนเพิ่มมากขึ้นอย่างมากมาย ทั้งในส่วนของขยะที่สภาพย่อยสลายเองได้ตามธรรมชาติหรือขยะที่ต้องการทำลายทิ้งด้วยวิธีการฝังกลบหรือวิธีการอื่น ๆ ตามแต่ละประเภทของขยะ ซึ่งในส่วนของขยะที่สามารถย่อยสลายเองได้นั้นก็ต้องใช้เวลาในการย่อยสลาย โดยขยะในส่วนนี้ส่วนใหญ่จะเป็นขยะที่เกิดจากสิ่งมีชีวิตและพืชผัก สัตว์ปีก เช่น เป็ด ไก่ ถูกใช้สำหรับการบริโภคเป็นจำนวนมากในแต่ละปี ในการผลิตอาหารจากกลุ่มสัตว์ปีกดังกล่าวจะมีเศษเหลือใช้อีกหลากหลายชนิด บางส่วนสามารถนำมาใช้ประโยชน์อย่างอื่นได้ เช่น ขนเป็ดให้ผลิตอุปกรณ์เครื่องนอน หรือเครื่องนุ่งห่ม ขนไก่บางส่วนสามารถนำไปบดผสมเป็นอาหารไก่หรืออาหารสัตว์ สำหรับกรณีของโรงงานผลิตอาหารขนาดใหญ่จะมีส่วนของขนที่เหลือทิ้งเสมอ แต่โรงเชือดขนาดเล็กหรือตามพื้นที่ชนบท หรือสถานประกอบการรายย่อย ถึงแม้ว่าขนเหล่านี้ล้วนแล้วแต่เป็นขยะที่ถูกนำไปทิ้งโดยเปล่าประโยชน์ นอกจากนี้สัตว์เลี้ยงที่มีเลี้ยงในชีวิตประจำวัน และมีส่วนช่วยผ่อนคลาย รวมทั้งเป็นที่รักใคร่ของบุคคลจำนวนมากไม่น้อย คือ สุนัข ในการเลี้ยงดูสุนัขสายพันธุ์ที่มีขนยาวจะต้องมีการตัดตกแต่งขนเป็นประจำ และในการตัดแต่งขน จะมีขยะเหลือทิ้งจำนวนมากไม่น้อยที่ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ แม้ว่าขยะประเภทขนสัตว์นั้นจะสามารถย่อยสลายได้เมื่อมีสภาพที่เหมาะสมก็ตาม แต่ก็ส่งผลให้สิ้นเปลืองในส่วนของพื้นที่ที่ใช้ในการฝังกลบหรือกำจัดขนสัตว์เหล่านี้ รวมทั้งปัญหาเรื่องกลิ่นที่สามารถรบกวนการดำเนินชีวิตด้วยอีกประเด็นหนึ่ง ลักษณะของขนสัตว์ทั้ง 3 ชนิดที่สนใจนำมาเสริมแรงในพอลิโพรพิลีนสำหรับผลิตเป็นวัสดุคอมโพสิตแสดงดังรูปที่



ก) ขนเป็ด

ข) ขนไก่

ค) ขนสุนัข

รูปที่ 1.1 แสดงลักษณะของขนสัตว์ที่ใช้ในการทอ

เส้นใยขนสัตว์เป็นส่วนหนึ่งของหนังสัตว์มีสาร โปรตีนที่เรียกว่า เคราติน (Keratin) เป็นสารประกอบทางเคมีสมบูรณ์ เคราตินนั้นประกอบไปด้วยกรดอะมิโนประมาณ 18 ชนิด ต่อเชื่อมกันเป็นสายโซ่ยาวเรียกว่า Polypeptide Chain มีลักษณะโมเลกุลเป็นสายโซ่ยาว และบิดเกลียวทุกสายโดยขนานกัน และยึดเกาะกันด้วยไฮโดรเจนบอนด์ (Hydrogen bond) การเรียงตัวของโมเลกุลไม่เป็นระเบียบจากการเชื่อมของซีสเทอีนที่มีธาตุกำมะถันใน โมเลกุล และการเรียงตัวของโมเลกุลที่ไม่เป็นระเบียบนี้ทำให้เส้นใยขนสัตว์มีสมบัติยืดหยุ่นดี ไม่ยับง่าย และคืนตัวได้ดี

ด้วยเหตุนี้ทางผู้วิจัยจึงได้เกิดแนวคิดที่จะศึกษากระบวนการผลิตวัสดุคอมโพสิตที่ได้จากพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยเส้นใยขนสัตว์ โดยเริ่มทำการศึกษาสมบัติทางความร้อน สมบัติทางกายภาพ วิเคราะห์การหาธาตุและสารประกอบของเส้นใยจากขนสัตว์แต่ละชนิด จากนั้นศึกษากระบวนการขึ้นรูป และสภาวะการขึ้นรูปวัสดุคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยขนสัตว์โดยการนำพลาสติกโพลีโพรพิลีนรีไซเคิลผสมกับขนสัตว์ในอัตราส่วนที่เหมาะสมด้วยเครื่องผสมแบบเปิดสองลูกกลิ้ง (Two Roll Mill) ทำการอัดขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ แล้วนำไปทดสอบสมบัติทางกล ได้แก่ ทดสอบการทนต่อแรงดึง ทดสอบการทนทานต่อแรงดัด ทดสอบการทนต่อแรงกระแทกและทดสอบความแข็งที่ผิวของวัสดุคอมโพสิตที่ขึ้นรูปได้เพื่อทดสอบศักยภาพของปริมาณการเติมขนสัตว์ในปริมาณต่างๆ ที่เหมาะสม และศึกษาต่อยอดโดยทำการปรับสภาพของขนสัตว์ และเติมสารคู่ควบปฏิกิริยา (Coupling Agent) เพื่อปรับปรุงสมบัติให้ดีขึ้นของวัสดุคอมโพสิตจากพอลิโพรพิลีนรีไซเคิลเสริมแรงด้วยเส้นใยขนสัตว์ โดยมีเป้าหมายนำไปประยุกต์ใช้งาน โดยวัสดุคอมโพสิตที่ได้จากขนเป็ดและขนไก่นั้น มีความสนใจทาเป็นพวกกระดาษต้นไม้ งานรองกระดาษต้นไม้ เป็นต้น ส่วนวัสดุคอมโพสิตที่ได้จากขนสุนัขนั้นใช้เป็นผลิตภัณฑ์สำหรับสุนัข เช่น ชามอาหาร บ้านสุนัขขนาดเล็ก เป็นต้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษากระบวนการขึ้นรูป และศึกษาอัตราส่วนผสมการขึ้นรูปวัสดุคอมโพสิตจากขนสัตว์เสริมแรงในพอลิโพรพิลีน

1.2.2 เพื่อศึกษาสมบัติทางกลบางประการของวัสดุคอมโพสิตจากขนสัตว์เสริมแรงในพอลิโพรพิลีน

1.2.3 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการปรับสภาพผิวของขนสัตว์ที่เหมาะสมในการขึ้นรูปวัสดุคอมโพสิตจากขนสัตว์เสริมแรงในพอลิโพรพิลีน

1.2.4 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการเติมสารคู่ควบปฏิกิริยา (Coupling Agent) ที่เหมาะสมในการขึ้นรูปวัสดุคอมโพสิตจากขนสัตว์เสริมแรงในพอลิโพรพิลีน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ใช้ขนสัตว์เป็นวัสดุเสริมแรงในวัสดุเนื้อพื้นพอลิโพรพิลีน โดยในส่วนของขนเป็ดและขนไก่ ใช้เฉพาะกึ่งขน และก้านขนส่วนบน ส่วนขนสุนัขใช้เป็นสุนัขพันธุ์ขนยาว และผ่านเครื่องสำอางเส้นใยเพื่อไม่ให้พันกัน

1.3.2 ขึ้นรูปวัสดุคอมโพสิตจากขนสัตว์เสริมแรงในพอลิโพรพิลีน โดยผสมขนสัตว์ในอัตราส่วน 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 wt% ด้วยเครื่องผสมแบบเปิดสองลูกกอล์ฟ อัคขึ้นรูปแผ่นวัสดุคอมโพสิตขนาด $200 \times 200 \times 3$ มิลลิเมตร ด้วยเครื่องอัดรีด

1.3.3 ทดลองปรับสภาพผิวขนสัตว์ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ กำหนดค่า pH 11 แช่ขนสัตว์ทุกชนิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และอบไล่ความชื้นที่ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

1.3.4 ทดลองเติมสารคู่ควบปฏิกิริยา (Coupling Agent) โดยใช้ Maleic Anhydride Grafted Polypropylenes (MA-g-PP) ในอัตราส่วน 1 wt%

1.3.5 ทดสอบสมบัติทางด้านกายภาพบางประการของขนสัตว์ และวัสดุคอมโพสิตที่ขึ้นรูปได้เช่น

1) ตรวจสอบลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM)

2) วิเคราะห์ทางความร้อนด้วยเทคนิค (Thermo gravimetric Analysis, TGA)

3) วิเคราะห์ธาตุและสารประกอบด้วยเทคนิค (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FT-IR)

1.3.6 ทดสอบสมบัติทางกลบางประการของวัสดุคอมโพสิตที่ขึ้นรูปได้ คือ

- 1) ทดสอบความทนทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) มาตรฐาน ASTM D638
- 2) ทดสอบการโค้งงอของพลาสติก (Bending Test) ตามมาตรฐาน ASTM D790
- 3) ทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทกแบบไอซอด (Impact Test) มาตรฐาน ASTMD256

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1.4.1 ได้วัสดุคอมโพสิตจากขนสัตว์เสริมแรงในพอลิโพรพิลีน
- 1.4.2 ได้รู้อัตราส่วนผสมและสมบัติทางกลบางประการที่เหมาะสมของการขึ้นรูปวัสดุคอมโพสิตจากขนสัตว์เสริมแรงในพอลิโพรพิลีน
- 1.4.3 ได้รู้ความเป็นไปได้ในการปรับสภาพผิวของขนสัตว์ที่เหมาะสมในการขึ้นรูปวัสดุคอมโพสิตจากขนสัตว์เสริมแรงในพอลิโพรพิลีน
- 1.4.4 ได้รู้ความเป็นไปได้ในการเติมสารคู่ควบปฏิกิริยา (Coupling Agent) ที่เหมาะสมในการขึ้นรูปวัสดุคอมโพสิตจากขนสัตว์เสริมแรงในพอลิโพรพิลีน
- 1.4.5 เพื่อช่วยลดปัญหาเรื่องขยะและเพิ่มช่องทางการใช้ประโยชน์จากขนเป็ด ขนไก่ และขนสุนัข รวมทั้งเป็นแนวทางประยุกต์ใช้ขนสัตว์ชนิดอื่นๆ มาผลิตเป็นวัสดุคอมโพสิตมากขึ้นลดการนำไปเผาทิ้ง หรือทิ้งให้เกิดปัญหาขยะ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

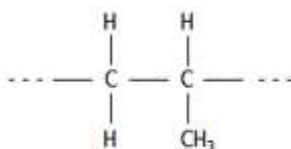
การใช้ประโยชน์จากเส้นใยขนสัตว์ในปัจจุบันนั้นได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้น โดยใช้เป็นวัสดุเสริมแรงในพลาสติกหลายหลากชนิด ดังนั้นจึงมีนักวิจัยมากมายได้พยายามศึกษาค้นคว้า เพื่อหาแนวทางในการใช้ประโยชน์จากขนสัตว์ร่วมกับพลาสติกที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานที่เพิ่มมากขึ้น ดังนี้

2.1 พอลิโพรพิลีน (Polypropylene ; PP)

พอลิโพรพิลีน (PP) เป็นเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) [2] คือพอลิเมอร์พลาสติกที่สามารถขึ้นรูปโดยใช้ความร้อนซ้ำๆ ได้หลายครั้ง พอลิโพรพิลีนเป็นพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างเป็นเส้นตรงประกอบด้วยโมโนเมอร์ของ Propylene (C_3H_6) หลายๆ ตัว เกิดจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของก๊าซ Propylene โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นสารประกอบพวกโลหะ เช่น ไทเทเนียมคลอไรด์ การใช้ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา และสภาวะของการเกิดปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน ทำให้ได้พอลิโพรพิลีนที่มีการจัดเรียงโครงสร้างต่างกัน 3 ชนิดคือ Isotactic Syndiotactic และ Atactic ขึ้นอยู่กับทิศทางการจับของหมู่เมทิลกับอะตอมคาร์บอน ผลึกภัณฑ์ที่ทำจากพอลิโพรพิลีนที่พบเสมอคือ ก่อเองเครื่องมือ กระจาปอกเพิ่มเอกสาร ก่อเอง และตลับเครื่องสำอาง เครื่องใช้ในครัวเรือน ก่อเองบรรจุอาหาร อุปกรณ์ของรถยนต์ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ วัสดุบรรจุภัณฑ์ในอุตสาหกรรม อุปกรณ์ทางการแพทย์ ขวดใส่สารเคมี กระจาปองน้ำมันเครื่อง กระจาปอบข้าว และถุงบรรจุปุ๋ย

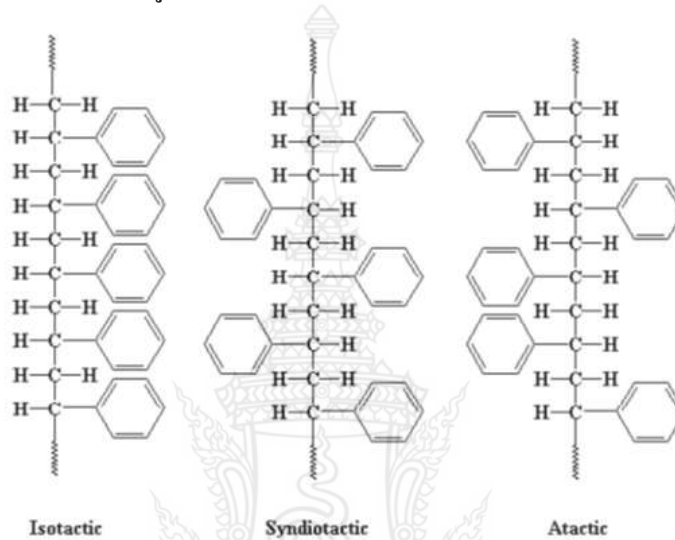
2.1.1 โครงสร้างทางเคมี [2]

พอลิโพรพิลีนเป็นเทอร์โมพลาสติกที่มีโครงสร้างแบบเชิงเส้นปราศจากกิ่งก้านสาขา แยกจากลำตัวเนื่องจากโมเลกุลของพอลิโพรพิลีนมีหมู่เมทิล ($-CH_3$) ต่อกับอะตอมของคาร์บอนตรงพันธะคู่ ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีพอลิโพรพิลีน [2]

เมื่อเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันสามารถเกิดผลิตภัณฑ์ได้ 3 แบบคือ พอลิโพรพิลีนชนิด Isotactic นำมาผลิตเป็นพลาสติกใช้อยู่โดยทั่วไป เนื่องจากโครงสร้างมีการจัดเรียงของหมู่เมทิลอยู่ด้านเดียวกันอย่างเป็นระเบียบจึงมีความเป็นผลึกสูง ทำให้พอลิเมอร์มีความแข็ง ทนทาน ตรงข้ามกับชนิด Atactic ที่จะมีความเหนียวมากกว่าเนื่องจากหมู่เมทิลมีการจัดเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ (Amorphous) ส่วนชนิด Syndiotactic หมู่เมทิลจัดเรียงตรงข้ามกันมีความแข็งน้อยกว่าแต่จะทนทานมากกว่าชนิด Isotactic ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 รูปแบบที่ได้จากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของพอลิโพรพิลีน[2]

2.1.2 สมบัติทั่วไป [2]

สมบัติทั่วไปพอลิโพรพิลีน มีความหนาแน่น 0.90 g/cm^3 หมู่เมทิลทำให้โมเลกุลอยู่ห่างกันแต่ยังคงมีความแข็งแรงสูง จุดอ่อนของ พอลิโพรพิลีน คือ จะเปราะที่อุณหภูมิต่ำและเสถียรภาพของพอลิโพรพิลีนต่อแสงอัลตราไวโอเล็ต และออกซิเจนต่ำกว่า พอลิโพรพิลีน จึงไม่เหมาะที่จะใช้กลางแจ้งเนื่องจากแสงอัลตราไวโอเล็ตทำให้เปราะ แตกร้าว สีซีดจางได้ง่าย ดังนั้นก่อนนำพอลิโพรพิลีน ไปใช้งาน ต้องใส่สารแอนติออกซิแดนต์ (Anti-Oxidant) อื่นๆ เนื่องจากจุดเด่นของพอลิโพรพิลีน คือ มีสมบัติเชิงกลดีมาก เช่น มีความทนแรงดึงสูง จุดหลอมเหลวสูงกว่า พอลิเอทิลีน จึงเหมาะกับใช้งานที่อุณหภูมิสูงทนอุณหภูมิน้ำเดือดได้ใช้ทำถุงน้ำร้อนนอกจากนี้ พอลิโพรพิลีน ยังทนไขมันและน้ำมันได้ดี ส่วนไอน้ำ และออกซิเจนซึมผ่านได้ต่ำกว่าและยังใสกว่า พอลิโพรพิลีน ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สมบัติพอลิโพรพิลีน [1]

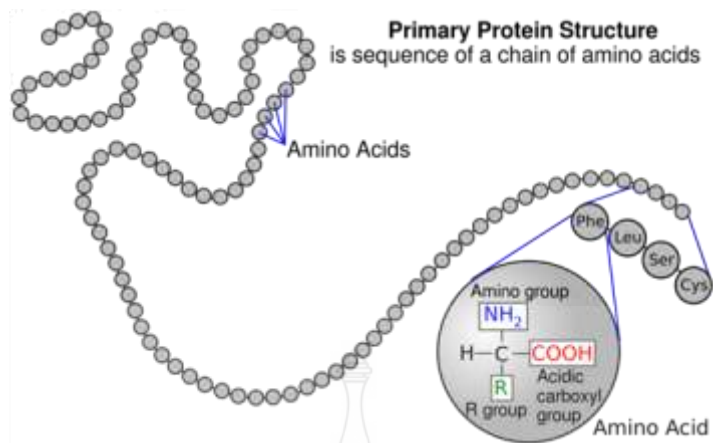
สมบัติ (หน่วย)	ปริมาณ
ความหนาแน่น (g/cm^3)	0.90-0.91
อุณหภูมิการหลอมเหลว ($^{\circ}\text{C}$)	160-180
ดัชนีหักเหของแสง n_0^{25}	1.49
การยืดตัวที่จุดขาด (%)	500-900
ความแข็ง (Shore D)	70-80
การทนแรงกระแทก	34-46
โมดูลัส (MPa)	1032-1720
ความแข็งแรงดึง (MPa)	29.3-38.6
การทนต่อสารประกอบไฮโดรคาร์บอน	อุณหภูมิต่ำกว่า 80°C

2.2 เส้นใยขนสัตว์

2.2.1 เคราติน [3]

เส้นใยขนสัตว์เป็นส่วนหนึ่งของหนังสัตว์มีสารโปรตีนที่เรียกว่า เคราติน (Keratin) เป็นสารประกอบทางเคมีสมบูรณ์ เคราตินนั้นประกอบไปด้วยกรดอะมิโนประมาณ 18 ชนิด ต่อเชื่อมกันเป็นสายโซ่ยาวเรียกว่า Polypeptide Chain (รูปที่ 2.3) มีซิสเตอีนที่เป็นหมู่ของ Thiol (S-H) ไซออลเกิดเป็น Disulfide bond เป็นตัวเชื่อม โปรตีนชนิดนี้ จะมีธาตุกำมะถันในโมเลกุล มีลักษณะโมเลกุลเป็นสายโซ่ยาว และบิดเกลียวทุกสายโดยขนานกัน และยึดเกาะกันด้วยไฮโดรเจนบอนด์ (Hydrogen bond) การเรียงตัวของโมเลกุลไม่เป็นระเบียบนัก จากการเชื่อมของซิสเตอีนที่มีธาตุกำมะถันในโมเลกุล และการเรียงตัวของโมเลกุลที่ไม่เป็นระเบียบนี้ทำให้เส้นใยขนสัตว์มีคุณสมบัติยืดหยุ่นดี ไม่ยับง่าย และคืนตัวได้ดี

โครงสร้างของเส้นใยที่ได้จากขนสัตว์จะแตกต่างจากเส้นใยที่ได้จากเส้นผม ถ้าเป็นเส้นใยที่ได้จากขน เมื่อคู่ด้วยกล้องจุลทรรศน์จะมีเซลล์ชั้นนอกหุ้มซ้อนกันอยู่เหมือนเกล็ดปลาถ้าเป็นเส้นใยที่ได้จากเส้นผมจะมีลักษณะภายนอกเป็นเส้นตรงเป็นมันลื่น ไม่ค่อยยืดหยุ่น ผิวเรียบสม่ำเสมอ



รูปที่ 2.3 Polypeptide Chain [3]

2.3 วัสดุคอมโพสิต (Composite Materials)

วัสดุคอมโพสิต เป็นวัสดุที่มีวัสดุ 2 ชนิดขึ้นไปเป็นองค์ประกอบ [4] วัสดุคอมโพสิต ส่วนใหญ่ประกอบด้วยสารเติมที่เหมาะสมหรือวัสดุเสริมแรงกับสารเชื่อมประสานพวกเรซินที่เข้ากันได้ เมื่อผสมผสานกัน แล้วจะได้ลักษณะที่เป็นสมบัติที่ต้องการตัวแปรที่จะทำให้วัสดุคอมโพสิต มีสมบัติต่างกัน ทั้งนี้รวมถึงรูปร่าง ปริมาตร และส่วนประกอบของสารเติมหรือวัสดุเสริมแรงที่ฝังกระจายในเนื้อวัสดุผสม ตัวอย่างของวัสดุคอมโพสิต เช่น ดิสเพอร์ชันฮาร์ดเดนด (Dispersion hardened) และไฟเบอร์สเตรงเทนด (Fiber-strengthened) ในโลหะ เซรามิก แก้ว คอนกรีต และพลาสติก ตัวอย่างของวัสดุคอมโพสิต ดิสเพอร์ชันฮาร์ดเดนด ได้แก่ การมีอนุภาคของวัสดุแข็งฝังในเนื้อวัสดุอ่อน เช่น อนุภาคของเหล็ก หรือโครเมียมฝังในทองแดง อนุภาคของทอเรีย (Thoria) ในนิกเกิล หรือวัสดุคอมโพสิต ของทองแดง ซิลิมาไนต์ (Silimanite) ที่ใช้ในการห้ามล้อเครื่องบิน ตัวอย่างของวัสดุคอมโพสิตพวกไฟเบอร์สเตรงเทนด (Fiber-strengthened) ได้แก่ เส้นใยแก้ว เส้นใยที่เสริมแรงในพลาสติก (FRP) โฟมพอลิเอทิลีน ในพีวีซีที่ใช้ทำเบาะนั่ง หรือโฟมพอลิสไตรีน (Polystyrene form) ใช้ทำทุ่นลอยน้ำ เป็นต้น

วัสดุคอมโพสิต ส่วนใหญ่จะเป็นพลาสติกเสริมแรงด้วยเส้นใย ซึ่งประกอบด้วยส่วนประกอบสองส่วนหรือมากกว่า คือ ส่วนที่เป็นเส้นใย และส่วนที่เป็นเมทริกซ์ (Matrix) โดยเส้นใยอาจมีความยาวต่อเนื่องตลอดความยาวของเมทริกซ์ หรือกรณีที่เส้นใยมีความยาวไม่ต่อเนื่อง เช่น เส้นใยขนาดสั้นกระจายไม่เป็นระเบียบอยู่ในเมทริกซ์ หรืออาจมีส่วนที่สามที่เรียกว่าอินเตอร์เฟส (Interphase) อยู่รอบ ๆ เส้นใยทำหน้าที่เป็นตัวยึดเกาะระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์

โดยทั่วไปเส้นใยและเมทริกซ์จะมีสมบัติทางกายภาพ (Physical properties) และสมบัติเชิงกล (Mechanical properties) ต่างกันเส้นใยจะมีความแข็งแรงมากกว่าเมทริกซ์ และสามารถรับแรงกระทำจากภายนอกที่กระทำต่อวัสดุผสมได้ช่วยไม่ให้เกิดการเสียหาย หรือการผิดรูปภายใต้แรงกระทำนั้นๆ เมทริกซ์โดยทั่วไปจะเป็นพอลิเมอร์หรือพลาสติก ทำหน้าที่ให้เส้นใยกระจายตัวและยึดเกาะ และช่วยถ่ายเทแรงกระทำจากภายนอกที่กระทำต่อวัสดุคอมโพสิต มายังเส้นใยตลอดจนช่วยกำหนดรูปร่างของวัสดุผสม

ความแข็งแรงของวัสดุคอมโพสิต จะถูกกำหนดโดยสมบัติเส้นใย สัดส่วนโดยปริมาตรของเส้นใยในเมทริกซ์ ความแข็งแรง และการกระจายตัว ความแข็งแรงของพันธะระหว่างเส้นใย และเมทริกซ์ ซึ่งจะต้องแข็งแรงเพียงพอที่จะป้องกันไม่ให้แรงกระทำจากภายนอกสามารถแยกเส้นใย และเมทริกซ์ออกจากกัน

2.3.1 องค์ประกอบของวัสดุคอมโพสิต [4]

เมทริกซ์ (Matrix) ในวัสดุคอมโพสิต เมทริกซ์ที่ใช้ อาจจะเป็นพวกเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) หรือเทอร์โมเซต (Thermoset) โดยที่เมทริกซ์มีหน้าที่ดังต่อไปนี้

- 1) ให้เส้นใยหรืออนุภาคกระจายตัวและยึดเกาะตามทิศทางที่ต้องการ
- 2) ป้องกันไม่ให้เส้นใยหรืออนุภาคเกิดความเสียหายอันเนื่องมาจากสิ่งแวดล้อม
- 3) ถ่ายเทแรงกระทำจากภายนอกไปสู่เส้นใยหรืออนุภาค
- 4) ช่วยกำหนดรูปร่างของวัสดุผสม

พอลิเมอร์เมทริกซ์ที่ใช้โดยทั่วไปแบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1) เทอร์โมเซตติ้ง พอลิเมอร์กลุ่มนี้จะหลอมตัวในเฉพาะครั้งแรกที่ได้รับความร้อน และเกิดการเชื่อมโยง (Cross linking) ระหว่างสายโซ่โมเลกุลด้วยความร้อนหรือตัวเชื่อมขวางทำให้มีเครือข่ายเป็นแบบร่างแห (Network) โครงสร้างของพอลิเมอร์จะคงตัวไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้อีกเมื่อได้รับความร้อน ตัวอย่างของเทอร์โมเซตติ้งพอลิเมอร์ ได้แก่ อีพอกซีเรซิน (Epoxy resin) พอลิเอสเตอร์ (Polyester) ฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์ (Phenol-formaldehyde) เป็นต้น

2) เทอร์โมพลาสติก สามารถหลอมตัวเมื่อให้ความร้อน และแข็งตัวเมื่อทำให้เย็นตัวลง การหลอมตัวด้วยความร้อนสามารถทำได้หลายครั้ง เนื่องจากไม่มีการเชื่อมโยงกันระหว่างสายโซ่โมเลกุล และไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมี และสมบัติทางกายภาพอีกด้วย ตัวอย่างของเทอร์โมพลาสติกพอลิเมอร์ ได้แก่ พอลิเอทิลีน (Polyethylene) พอลิโพรพิลีน (Polypropylene) ไนลอน (Nylon) พอลิสไตรีน (Polystyrene) เป็นต้น

2.3.2 รูปแบบและคุณลักษณะของเส้นใยเสริมแรง (Reinforcement) [5]

รูปแบบของเส้นใยเสริมแรงนั้นมีหลายแบบและควรเลือกใช้ในงานที่เหมาะสมในแต่ละงานดังนี้

1) เส้นใยสั้น (Chopped Strand) คือเส้นใยสั้นที่ถูกตัดให้มีมีความยาวประมาณ 1/8 ถึง 1/2 นิ้ว เส้นใยสั้นนี้จะนำมาผสมกับพอลิเมอร์ให้เกิด (Molding compound) เพื่อใช้ในการอัด ขึ้นรูป หรือฉีดต่อไป เส้นใยสั้นนี้ได้ถูกนำมาใช้ในเทอร์โมพลาสติกเป็นส่วนมากสามารถนำมาใช้แทนการ Extrusion การรีด และการฉีด (Injection) การใช้งานทั่วไปของเส้นใยมีในตัวถังรถยนต์ เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ เครื่องใช้สำนักงาน และชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์

2) เส้นใยปั่น (Milled fiber) เส้นใยประเภทนี้เป็นเส้นใยที่มีความยาวค่อนข้างสั้นตั้งแต่ 1/32 นิ้วจนถึง 1/4 นิ้ว การใช้งานของเส้นใยประเภทนี้ใช้ได้ทั้งในเทอร์โมพลาสติก และเทอร์โมเซต การใช้งานในเทอร์โมพลาสติกนั้นอาจอาจนำมาผสมในพอลิเมอร์เพื่อใช้ในการฉีด หรือที่เรียกว่า (Injection) เส้นใยประเภทนี้สามารถนำมาผสมได้ในเทอร์โมพลาสติกหลายประเภทด้วยกันไม่จำกัดการผสมทำให้ชิ้นงานเทอร์โมพลาสติกมีคุณสมบัติที่ดีขึ้น และรับแรงได้สูงขึ้น เส้นใยประเภทนี้ยังถูกนำมาใช้ในเทอร์โมเซตเพื่อใช้ในการหล่อ (Casting) หรือว่าขึ้นรูปด้วยวิธีการอัด (Compression Molding)

3) เส้นใยยาว (Continuous roving) เส้นใยยาวนี้เป็นเส้นใยยาวที่มีความต่อเนื่อง จะเห็นได้ว่าเส้นใยนี้มีลักษณะเป็นม้วน ม้วนหนึ่งอาจจะมีน้ำหนักประมาณ 15 กิโลกรัม ในการผลิตชิ้นงานพลาสติกเสริมแรงด้วยเส้นใยยาวก็มีหลายวิธีด้วยกัน เช่น การพัน (Filament winding) การพ่น (Spray-up) การทำเป็นแผ่นอย่างต่อเนื่อง (Continuous laminating) ประเภทของผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่ใช้เส้นใยยาวเสริมแรง เช่น การผลิตท่อ ถัง เสาไฟฟ้า แกนปีกเครื่องบิน (Spar) หรือใบพัด (Helicopter Roto Blade) เป็นต้น

4) เส้นใยเสริมแรงประเภทเสื่อ (Reinforcing mat) หรือ (Chopped strand mat) เส้นใยแบบเสื่อนี้ใช้กันมากทั้งใน และต่างประเทศ เส้นใยประเภทนี้ใช้ในเทอร์โมเซตเป็นส่วนใหญ่ กองทัพอากาศก็ใช้เส้นใยประเภทนี้ในการผลิตครีปหางของลูกกระเบิด เนื่องจากเส้นใยมีความแข็งแรง และตั้งตัวกันในทุกทิศทาง และอาจนำมาใช้ในกรรมวิธีการผลิตที่เรียกว่า (Hand lay-up)

5) เส้นใยสาน (Woven roving) เส้นใยสานนี้มีคุณสมบัติพิเศษลักษณะคล้ายกับผ้า ซึ่งถูกนำมาทอให้มีเส้นใยวิ่งตั้งฉากกัน 90 องศาเซลเซียส เส้นใยสานนี้สามารถให้ปริมาณของเส้นใยแก้วในพลาสติกค่อนข้างสูง และสามารถเพิ่มความแข็งแรงให้กับผลิตภัณฑ์ได้มาก การใช้เส้นใยสานนั้นเหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความแข็งแรงสูง เช่น โครงเรือ โครงสร้างเครื่องบิน เป็นต้น

6) สิ่งทอ (Woven Fabric) เช่น เส้นใยแก้วสามารถนำมาทอให้เป็นลักษณะของผ้าได้เป็นอย่างดี การใช้สิ่งทอที่ทำด้วยเส้นใยแก้วใช้สำหรับเสริมความแข็งแรงให้กับผลิตภัณฑ์นั้น เช่น การทำแผงวงจรไฟฟ้า (Print circuit board) และผลิตภัณฑ์ทางการบินต่างๆ เช่น พื้นของเครื่องบินโดยสาร เป็นต้น

2.4 การปรับสภาพผิวเส้นใยด้วยวิธีการทางเคมี (Fiber Surface Treatment by Chemical method)

เนื่องจากเส้นใยเซลลูโลสนั้น มีความเป็นขรุขระ ทำให้ความสามารถในการยึดเกาะของเส้นใยธรรมชาติกับพอลิเมอร์ซึ่งมีสมบัติความไม่ชอบน้ำนั้นไม่ดี อย่างไรก็ตาม เราสามารถปรับปรุงให้การยึดเกาะระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์ดีขึ้นได้โดยอาศัยวิธีการทางเคมี คือการเติมเฟสที่สามลงไป ซึ่งเฟสที่สามนี้จะเป็นเฟสที่อยู่ระหว่างเฟสเส้นใยและเฟสเมทริกซ์ การดัดแปรผิวเส้นใยธรรมชาติด้วยวิธีการทางเคมีสามารถทำได้หลายวิธีด้วยกัน คือ

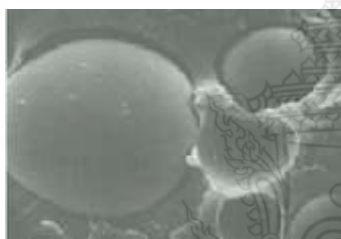
2.4.1 การปรับสภาพผิวด้วยอัลคาไลน์ (Alkaline treatment) [6]

เป็นหนึ่งในวิธีการดัดแปรเส้นใยทางเคมีที่นิยมใช้ โดยสารอัลคาไลน์ที่ใช้ในการทรีทเส้นใยนั้นจะเข้าไปทำลาย (Disruption) พันธะไฮโดรเจนในโครงสร้างโครงข่าย (network structure) ทำให้ความหยาบของพื้นผิวเพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในภาพ ซึ่งเป็นภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ของเส้นใยเฮเนกาเว่ (Henequen fiber) โดยภาพ (ก) คือ ภาพของเส้นใยที่ไม่ได้ผ่านการทรีทผิว และภาพ (ข) คือ ภาพของเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) จากภาพ SEM สามารถสังเกตเห็นได้ว่า หลังจากผ่านการปรับสภาพผิวแล้ว เส้นใยเฮเนกาเว่จะมีความหยาบของพื้นผิวมากกว่าเส้นใยที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพผิว และได้มีการศึกษาผลของการปรับสภาพผิวเส้นใยที่ใช้ในวัสดุผสมระหว่างปานศรนารายณ์ (Sisal) และอีพอกซี ที่มีต่อสมบัติการเปื่อย พบว่า การปรับสภาพผิวเส้นใยปานศรนารายณ์ด้วยสารอัลคาไลน์จะทำให้วัสดุผสมมีความเป็นวัตถุแข็งเกร็ง (Rigid) มากขึ้น มีความพูนตัวน้อยลง และมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การปรับสภาพผิวเส้นใยยังไปทำให้แรงตึงผิว (Surface tension) และความหยาบของพื้นผิวเพิ่มขึ้นส่งผลให้ลักษณะการยึดเกาะระหว่างเส้นใยปานศรนารายณ์กับอีพอกซีดีขึ้น

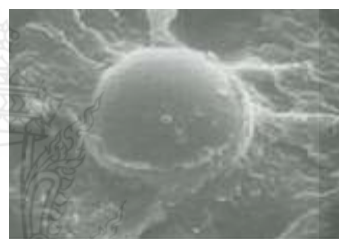
2.4.2 การปรับสภาพผิวด้วยซิลเลน (Silane treatment)

วิธีการนี้จะใช้ซิลเลน (Silane) เป็นสารคู่ควบปฏิกริยา (Coupling agent) ซึ่งซิลเลนที่เติมเข้าไปนี้จะไปอยู่ที่ระหว่างบริเวณรอยต่อระหว่างพื้นผิวเส้นใยกับเมทริกซ์ โดยซิลเลนจะเข้าไปปรับสภาพความชอบน้ำ ณ บริเวณรอยต่อระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์ โดยเฉพาะเมื่อใช้พอลิเมอร์ที่มีกลุ่ม

ฟังก์ชันอะมิโนของไซเลน (Amino-functional silane) เช่น อีพอกซี (epoxy) และยูรีเทน (Urethane) เป็นต้น ไซเลนและกลุ่มฟังก์ชันอะมิโนของไซเลนนี้จะทำให้เกิดกลุ่มฟังก์ชันเอมีน (Amine) ได้มากขึ้น ทั้งนี้กลุ่มฟังก์ชันเอมีนที่อยู่ในเมทริกซ์พอลิเมอร์ ซึ่งเดิมทำปฏิกิริยากับน้ำได้ยาก จะสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาตรงรอยต่อได้มากขึ้นเพราะไซเลนไปปรับสภาพตรงบริเวณรอยต่อให้มีกลุ่มฟังก์ชันเอมีนเพิ่มขึ้น ทำให้การยึดเกาะดีขึ้น ตัวอย่างของการตัดแปรพื้นผิวเส้นใยธรรมชาติด้วยการปรับสภาพผิวด้วยไซเลน เช่น การปรับสภาพผิวของเส้นใยปอแก้ว (Kenaf) โดยใช้สารกลุ่มควบไซเลนพบว่า การปรับสภาพผิวเส้นใยปอแก้วด้วยไซเลนจะทำให้การยึดเกาะระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์พอลิสไตรีน (Polystyrene) ดีขึ้นการที่การยึดเกาะระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์ดีขึ้นนั้น เนื่องจากปฏิกิริยาคอนเดนเซชัน (Condensation) ระหว่างกลุ่มอัลคอกซีไซเลน (Alkoxysilane) และไฮดรอกซิล (Hydroxyl) ของเส้นใยปอแก้ว ซึ่งผลจากการทรีทเส้นใยทำให้มีอนุสต์ของวัสดุผสมดีขึ้น



(ก)



(ข)

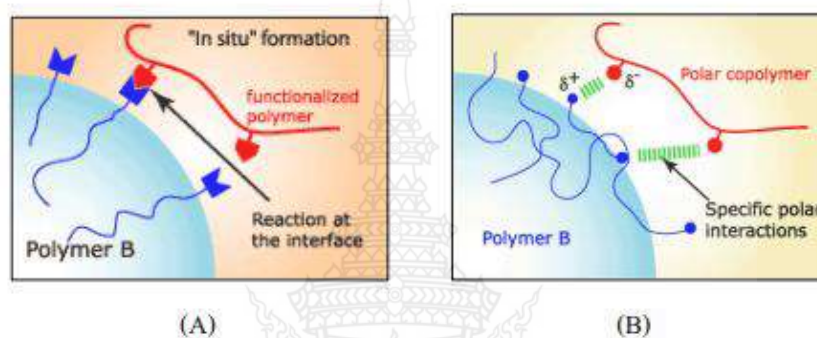
รูปที่ 2.4 เปรียบเทียบโครงสร้างจุลภาคของวัสดุผสมระหว่างลูกแก้วกับ พอลิเอไมด์ (Polyamide) เมื่อ (ก) ไม่ได้ปรับสภาพผิวด้วยไซเลน (ข) ปรับสภาพผิวเฟลคิสเพออสด้วยไซเลน

2.5 สารควบคู่ปฏิกิริยา (Coupling Agents) [7]

สารควบคู่ปฏิกิริยา คือ สารที่ช่วยปรับปรุงแรงยึดเหนี่ยวระหว่างพอลิเมอร์และฟิลเลอร์ทำหน้าที่เหมือนเป็นสะพานเชื่อมระหว่างทั้งสองโมเลกุลไว้ โดยส่วนหนึ่งของโมเลกุลเป็นส่วนที่จะเกิดปฏิกิริยากับฟิลเลอร์และอีกส่วนหนึ่งของโมเลกุลเป็นส่วนที่จะเกิดการรวมตัว หรือทำปฏิกิริยากับพอลิเมอร์ได้เป็นอย่างดีเมื่อพื้นผิวฟิลเลอร์ได้รับการปรับปรุงด้วยสารควบคู่ปฏิกิริยาจะช่วยลดแรงดึงผิวของฟิลเลอร์ หรือเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นผิวของฟิลเลอร์ ที่มีสมบัติเป็นไฮโดรฟิลิก (Hydrophilic) เป็นไฮโดรโฟบิก (Hydrophobic) ทำให้สามารถเข้ากันได้กับพอลิเมอร์ ซึ่งไม่เพียงช่วยให้การผสมเกิดได้ขึ้น แต่ยังช่วยปรับปรุงสมบัติโดยรวมของคอมโพสิตอีกด้วย โดยทั่วไปสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่

1) Reactive Coupling Agents เป็นการปรับปรุงพื้นผิวฟิลเลอร์ โดยใช้สารที่สามารถทำให้เกิดการเชื่อมระหว่างสองเฟส ซึ่งช่วยเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างพอลิเมอร์และฟิลเลอร์ โดยการเกิดปฏิกิริยาเคมีขึ้น โมเลกุลของสารควบคู่ปฏิกิริยาจะประกอบด้วยหมู่ที่ว่องไว เช่น หมู่คาร์บอกซิลิกหรือหมู่อีพอกซี

2) Non-reactive Coupling Agents เป็นการปรับปรุงแรงยึดเหนี่ยวระหว่างพอลิเมอร์และฟิลเลอร์ โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ทำหน้าที่ลดแรงตึงผิว เพื่อให้เกิดการยึดเหนี่ยวโดยการสร้างแรงดึงดูดแบบแวนเดอวาล์วหรือเกิดพันธะไฮโดรเจน แสดงดังภาพที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ลักษณะการปรับปรุงแรงยึดเหนี่ยวระหว่างพอลิเมอร์กับฟิลเลอร์

(A) Reactive Coupling Agents (B) Non-reactive Coupling Agents [7]

2.4.1 สารควบคู่ปฏิกิริยาประเภทซิลเลน (Silane Coupling Agent)

สารควบคู่ปฏิกิริยาประเภทซิลเลน นามาใช้เป็นสารควบคู่มานานกว่า 50 ปี สำหรับปรับปรุงพื้นผิวของไฟเบอร์กลาสและฟิลเลอร์ นิยมนำมาใช้กับพลาสติกได้หลายชนิด แสดงดังตารางที่ 2.2 ซึ่งช่วยให้ฟิลเลอร์สามารถกระจายตัวในพอลิเมอร์ได้ดียิ่งขึ้น โดยมีโครงสร้างทั่วไป คือ Y-R-Si-X₃ เมื่อ

X = Alkoxy Group (Methoxy, Ethoxy or Acetoxy) เป็นส่วนที่เกิดปฏิกิริยากับพื้นผิวของฟิลเลอร์

Y = Organofunctional Group (Amino, Vinyl, Epoxy or Methacryl etc.) เป็นส่วนที่เกิดปฏิกิริยากับพอลิเมอร์

R = Alkly Group เป็นส่วนที่เชื่อมต่อกับ Si

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างของสารควบคู่ปฏิกิริยาประเภทไซเลนและการนำไปใช้งานกับพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ [7]

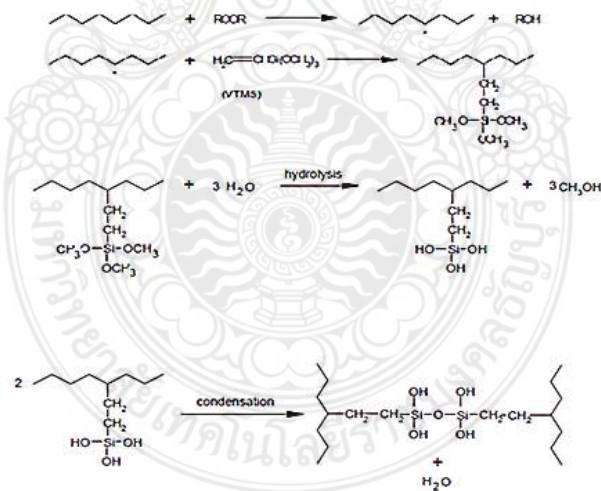
สารควบคู่ปฏิกิริยาประเภทไซเลน	ชนิดของพอลิเมอร์ที่นำมาใช้
Vinyl-triethoxy silane Vinyl-tris (2-methoxy) silane 3-Methoxypropyltrimethoxy silane	Unsaturated Polyesters, Polyolefins, PVC, PS, ABS, SAN and PMMA
3-Aminopropyltriethoxy silane	Epoxy, Phenolic and Melamine Resins, PA, PHR, PP, PE, PMMA and PC
3-Glycidoxypropyltrimethoxy silane	Epoxy, Phenolic and Melamine Resins, Unsaturated Polyesters, PUR, PC, PS, ABS, SAN, PA, PP, PE and Polysulfides
3-Mercaptopropyltrimethoxy silane	Phenolic and Epoxy Resins, PVC, PS, EPPM,

สำหรับการศึกษาพอลิเมอร์ผสมนี้เลือกใช้สารควบคู่ปฏิกิริยาประเภท Vinyl-Triethoxy Silane สารควบคู่ปฏิกิริยาหมู่วินิลจะเขาทำปฏิกิริยากับพอลิเมอร์เกิดเป็นพันธะโควาเลนต์ระหว่างสารประสานกับพอลิเมอร์ จึงทำให้เส้นใยแก้วมีแรงยึดระหว่างพอลิเมอร์เมทริกซ์ได้ดี ไซเลนที่ผลิตออกทางการค้าจะมีหมู่ฟังก์ชัน (หมู่ Y) ที่แตกต่างกันออกไป เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานกับพอลิเมอร์แต่ละชนิด เช่น ไซเลนที่ประกอบด้วยหมู่วินิล จะถูกนำไปใช้งานกับพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว ในขณะที่ไซเลนที่ประกอบด้วยหมู่อิพอกซีหรือหมู่อะมิโน จะนำไปใช้งานกับพอลิเอไมด์อีพอกซีเรซินหรือพอลิยูรีเทนชนิดเทอร์มอเซต เป็นต้น

2.4.2 กระบวนการเชื่อมขวางสายโซ่ให้เป็น โครงสร้างร่างแหด้วยไซเลนและน้ำ (Silane wattercrosslink technique)

กระบวนการเชื่อมขวางสายโซ่โดยใช้ไซเลนและน้ำของพอลิเมอร์ เป็นหัวข้อที่นักวิจัยให้ความสนใจอย่างมากในอุตสาหกรรม เนื่องจากมีข้อดีอยู่หลายประการได้แก่ เป็นกระบวนการที่ง่าย, ลงทุนต่ำและสามารถเพิ่มคุณสมบัติของวัสดุ โดยทั่วไปแล้วสามารถเพิ่มสมบัติทางกลของพอลิเมอร์ให้สูงขึ้นได้มีการประยุกต์ใช้อย่างหลากหลายในอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมหุ้มฉนวนไฟฟ้าแรงสูง, อุตสาหกรรมผลิตท่อจากพอลิเมอร์, ไม้เทียมที่ผลิตจากพลาสติก, โฟมพลาสติก, อุตสาหกรรมเส้นใย และสิ่งทอ เป็นต้น ไซเลนที่นิยมใช้กันทั่วไปในกระบวนการเชื่อมขวางสายโซ่พอลิเมอร์มีอยู่หลายชนิด ขึ้นอยู่กับการใช้งานกับพอลิเมอร์แต่ละประเภทสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2.4

กระบวนการเชื่อม ขวางสายโซ่เป็นระบบร่างแหในขั้นตอนแรกคือขั้นตอนของการกราฟท์ไซเลน เป็นการเกิดอนุมูลอิสระ เพื่อเริ่มปฏิกิริยาโดยการสลายตัวจากความร้อนของสารเปอร์ออกไซด์ โดยหลักการสามารถสันนิษฐาน ได้ว่า อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นนี้เข้าไปจับกับอะตอมของไฮโดรเจนของสายโซ่พอลิเมอร์สุดท้ายเกิดเป็นการกราฟท์ไซเลนของพอลิเมอร์ ขึ้นต่อมาคือการเชื่อมขวางสายโซ่ของพอลิเมอร์ที่กราฟท์ด้วยไซเลน ผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยความชื้นของน้ำ โดยกระบวนการควบแน่นก่อตัวขึ้นจากหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) เชื่อมต่อกัน โดยพันธะซิล็อกเซน (Si-O-Si) กลไกการเชื่อมขวางสายโซ่ให้เป็น โครงสร้างร่างแห ด้วยไซเลนและน้ำของพอลิเมอร์แสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 กลไกเชื่อมขวางสายโซ่ให้เป็นโครงสร้างร่างแหด้วยไซเลน [7]

2.6 กระบวนการแปรรูปพลาสติก

2.6.1 เครื่องผสมแบบเปิดสองลูกกลิ้ง (Two Roll Mill Plastic) [8]

เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้งนี้ใช้ได้กับทั้งการผสมสารเคมีกับยาง และพลาสติก โดยขนาดของเครื่องผสมจะขึ้นอยู่กับขนาดของลูกกลิ้ง โดยมีความยาวตั้งแต่ 15 เซนติเมตร กรณีที่ใช้ในห้องปฏิบัติการจนถึงเครื่องขนาดใหญ่ที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม โดยลูกกลิ้งความยาวถึง 2 เมตร ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกกลิ้งจะเพิ่มขึ้นตามความยาว ลักษณะเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้งแสดงดังรูป 2.7 ส่วนประกอบหลักของเครื่อง คือ ลูกกลิ้งสองตัวที่หมุนสวนทางกัน และสามารถปรับความเร็วของการหมุนได้ ความร้อนของลูกกลิ้งได้มาจากชุดให้ความร้อน ส่วนอุปกรณ์อื่น ๆ เช่น ใบมีดปาด เป็นต้น

ข้อดีของเครื่องผสมแบบเปิดสองลูกกลิ้ง

สามารถมองเห็นลักษณะ และระดับการเข้ากันของสารเคมีกับพลาสติกได้ มีความสะดวกในการทำความสะอาดเครื่องผสม สามารถทำการผสมในปริมาณที่แตกต่างกันได้ คือตั้งแต่แบตช์ขนาดเล็กไปจนถึงแบตช์ขนาดใหญ่ การผสมแบบนี้จะได้ผลิตภัณฑ์ในลักษณะเป็นแผ่นเหมาะกับการแปรรูปต่อโดยเทคนิคบางเทคนิคเช่น การขึ้นรูปแบบกดอัด (Compression molding)

ข้อเสียของเครื่องผสมแบบเปิดสองลูกกลิ้ง

ผู้ผสมจะต้องมีทักษะในการใช้เครื่อง และมีความรู้เรื่องการคอมปาวด์สูง ในกรณีที่มีการผสมให้มีขนาดแบตช์แต่ละแบตช์เท่ากันทำได้ยากมาก เนื่องจากอาจมีการสูญเสียสารเคมีบางส่วน ในขณะที่ทำการผสมนอกจากนี้การผสมโดยใช้เครื่องผสมชนิดนี้จะกระทำในที่เปิด ดังนั้นจึงมีโอกาสที่ฝุ่นละออง และสิ่งปนเปื้อนชนิดต่างๆ เข้ามาปะปนกับคอมปาวด์ และมีโอกาสที่จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของคอมปาวด์ได้ง่าย การผสมโดยใช้เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้งจะช้ากว่าการผสมแบบเครื่องผสมระบบปิด



รูปที่ 2.7 เครื่องผสมแบบเปิดสองลูกกลิ้ง (Two Roll Mill Plastic)

ที่: ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร.ธัญบุรี

2.6.2 เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Machine) [9]

งานอัด (Compression Molding) หมายถึง การทำงานพลาสติก เช่น ทำเป็นจาน ชาม สวิตช์ไฟ ถังขยะ พาเลท ถังพลาสติก ฯลฯ โดยเติมพลาสติกลงในแบบเปิด แล้วใช้ความดันอัดปิดแม่แบบพร้อมทั้งให้ความร้อน ให้พลาสติกไหลเข้าไปแทนที่ช่องว่างรูปทรงของชิ้นงาน งานอัดฉีด (Transfer Molding) ต่างกับงานอัด (Compression Molding) คือจะไม่เติมพลาสติกลงในแม่แบบเปิด แต่จะใช้แรงดันจากลูกสูบไฮดรอลิก อัดพลาสติกให้เข้าไปในแม่แบบปิด การเตรียมพลาสติกเพื่อเข้ากระบวนการผลิตชิ้นงาน พลาสติกที่ผลิตออกมาจำหน่ายส่วนมากจะอยู่ในรูปผง เป็นเม็ด หรือเหลว เป็นแป้งเปียกซึ่งถ้าอยู่ในสภาพนี้สามารถนำเข้ากระบวนการผลิตโดยงานอัด และอัดฉีดได้ดี

1) ข้อดีและข้อเสียของกระบวนการกดอัด

แม้การแปรรูปด้วยกระบวนการกดอัดจะเป็นเทคนิคที่ใช้กันมานาน แต่ในปัจจุบันก็ยังมี การใช้งานสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกอย่างกว้างขวาง ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการกดอัดมีข้อ ได้เปรียบเมื่อเทียบกับกระบวนการแปรรูปด้วยเทคนิคอื่นๆ หลายประการดังนี้

- แม่แบบมีราคาถูกและผลิตได้ง่าย
- มีการสูญเสียวัสดุน้อยมาก คือ มีครีบหรือ Flash เกิดขึ้นน้อยมากประมาณ 2-5% เท่านั้น

- โมเลกุลของพลาสติกเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ (Reorientation) น้อยมาก เนื่องจากในระหว่างการกดอัดเกิดการไหลของพลาสติกเพียงเล็กน้อยเท่านั้น
- เครื่องกดอัดมีราคาถูกกว่าเครื่องแปรรูปพลาสติกชนิดอื่นๆ
- ไม่เกิดเส้นรอยเชื่อม (Weld line) บนชิ้นงาน ซึ่งเส้นรอยเชื่อมนี้เป็นจุดบกพร่องที่ทำให้ชิ้นงานแตกหักได้ง่าย
- แม่แบบสำหรับกระบวนการกดอัดไม่มีส่วนของท่อวิ่ง (Runners) ท่อน้ำพลาสติก (Sprue) และประตูเข้า (Gates) ทำให้ไม่มีรอยตำหนิบนชิ้นงาน ถึงแม้ว่ากระบวนการกดอัดจะมีข้อได้เปรียบดังได้กล่าวมาแล้ว แต่เทคนิคนี้ก็มี

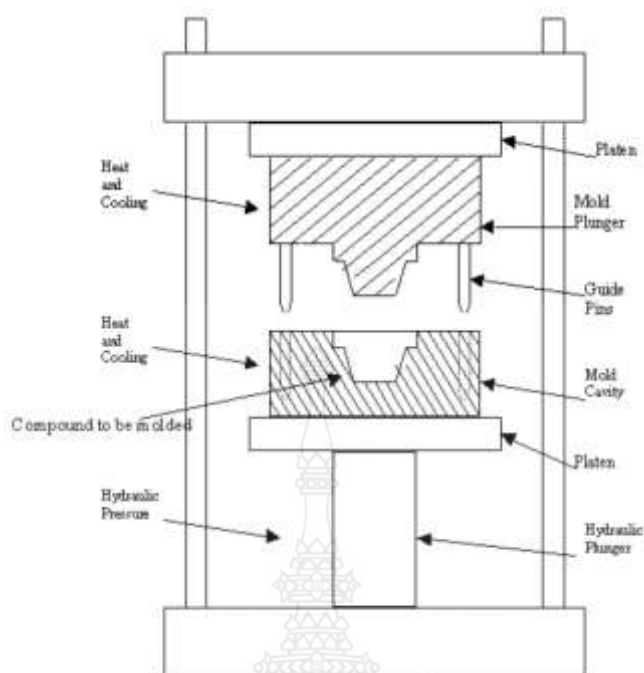
ข้อเสียเปรียบหลายประการ เช่น

- วัสดุคิอยู่ในสถานะของแข็งหรือกึ่งของแข็ง ทำให้เกิดความเครียดภายในแม่แบบสูง มากในขณะที่ทำการกดอัด จึงไม่สามารถใช้วัสดุอื่นๆ เช่น โลหะลงไปแม่แบบได้ เนื่องจากจะทำให้โลหะเกิดการบิดเบี้ยวและแม่แบบเกิดการเสียหายได้ จึงทำให้ไม่สามารถผลิตผลิตภัณฑ์แบบหุ้ม ด้วยเทคนิคนี้ได้
- ไม่สามารถผลิตชิ้นงานที่มีความซับซ้อนได้
- เวลาของวัฏจักรการผลิต (Cycle time) ค่อนข้างยาว ทำให้กำลัการผลิตต่อการผลิตชิ้นงานที่หน้าต้องใช้เวลาานาน
- จำเป็นต้องมีการตัดกรีบทิ้งเสมอ



รูปที่ 2.8 ส่วนต่างๆของเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding)

ที่: ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร.ธัญบุรี

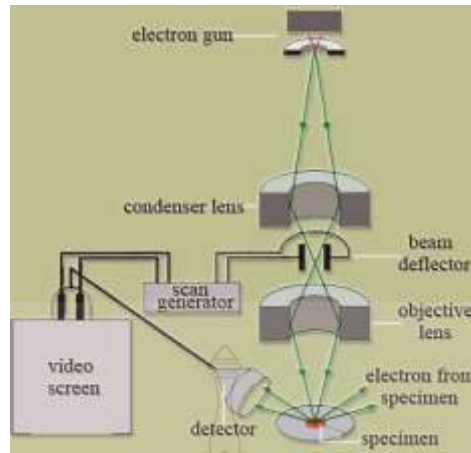


รูปที่ 2.9 ส่วนประกอบหลักของเครื่องอัดขึ้นรูป [9]

2.7 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ทางความร้อน และวิเคราะห์ธาตุและสารประกอบ

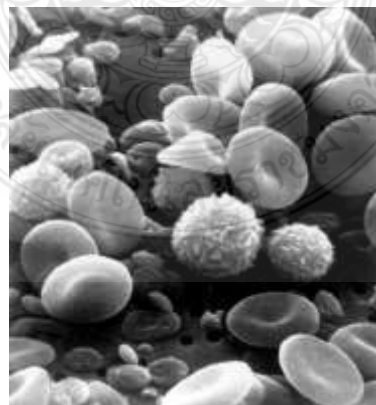
2.7.1 สัมฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) [10]

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีกำลังขยายไม่สูงเท่ากับเครื่อง TEM (เครื่อง SEM มีกำลังขยายสูงสุดประมาณ 10 นาโนเมตร) การเตรียมตัวอย่างเพื่อที่จะดูด้วยเครื่อง SEM นี้ไม่จำเป็นต้องที่ตัวอย่างจะต้องมีขนาดบางเท่ากับเมื่อดูด้วยเครื่อง TEM ก็ได้ (เพราะไม่ได้ตรวจวัดจากการที่อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ทะลุผ่านตัวอย่าง) การสร้างภาพทำได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่สะท้อนจากพื้นผิวหน้าของ ตัวอย่างที่ทำการสำรวจ ซึ่งภาพที่ได้จากเครื่อง SEM นี้จะเป็นภาพลักษณะของ 3 มิติ ดังนั้นเครื่อง SEM จึงถูกนำมาใช้ในการศึกษาสัณฐานและรายละเอียดของลักษณะพื้นผิวของตัวอย่าง เช่น ลักษณะพื้นผิวด้านนอกของเนื้อเยื่อและเซลล์หน้าตัดของโลหะและวัสดุ เป็นต้น



รูปที่ 2.10 แสดงหลักการทำงานของเครื่อง SEM [10]

หลักการทำงานของเครื่อง SEM จะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนซึ่งทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนเพื่อป้อนให้กับระบบ โดยกลุ่มอิเล็กตรอนที่ได้จากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า จากนั้นกลุ่มอิเล็กตรอนจะผ่านเลนส์รวบรวมรังสี (Condenser lens) เพื่อให้กลุ่มอิเล็กตรอนกลายเป็นลำอิเล็กตรอน ซึ่งสามารถปรับให้ขนาดของลำอิเล็กตรอนใหญ่หรือเล็กได้ตามต้องการ หากต้องการภาพที่มีความคมชัดจะปรับให้ลำอิเล็กตรอนมีขนาดเล็ก หลังจากนั้นลำอิเล็กตรอนจะถูกปรับระยะโฟกัสโดยเลนส์ใกล้วัตถุ (Objective lens) ลงไปบนผิวชิ้นงานที่ต้องการศึกษา หลังจากลำอิเล็กตรอนถูกกราดลงบนชิ้นงานจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary electron) ขึ้นซึ่งสัญญาณจากอิเล็กตรอนทุติยภูมินี้จะถูกบันทึก และแปลงไปเป็นสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์และ ถูกนำไปสร้างเป็นภาพบนจอโทรทัศน์ต่อไปและสามารถบันทึกภาพจากหน้าจอโทรทัศน์ได้เลย



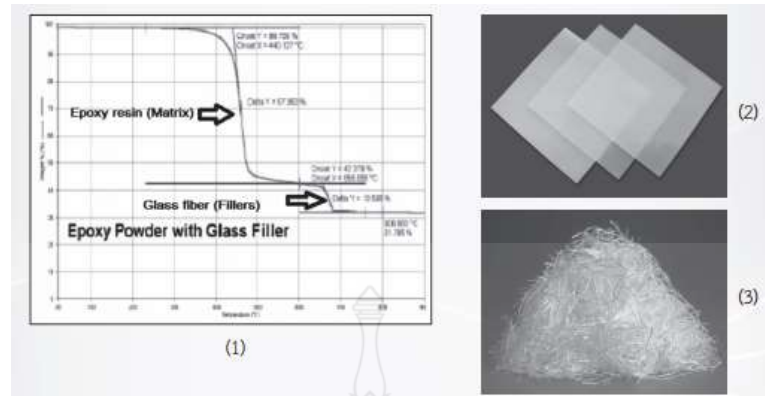
รูปที่ 2.11 แสดงพื้นผิวที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM [10]

2.7.2 วิเคราะห์ทางความร้อนด้วยเทคนิค (Thermogravimetric Analysis, TGA) [11]

TGA (Thermogravimetric Analysis) ซึ่งเป็นเทคนิคทางความร้อนมาประยุกต์ใช้นอกจากใช้ศึกษาเสถียรภาพทางความร้อนของพลาสติกเพื่อให้ทราบขอบเขตการใช้งานของวัสดุนั้นๆ แล้ว เทคนิคนี้ก็ยังถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาอัตราส่วน ของพอลิเมอร์ผสมหรือปริมาณสารเติมแต่งที่มีในวัสดุคอมโพสิตได้อีกด้วย ทั้งนี้แม้ปริมาณตัวอย่างมีน้อยประมาณ 10 มิลลิกรัมก็สามารถทำการวิเคราะห์ได้

TGA เป็นเทคนิคทางความร้อนใช้วิเคราะห์มวลวัตถุตัวอย่างที่อุณหภูมิและเวลาที่เปลี่ยนไปโดยวัตถุตัวอย่างนั้นจะถูกควบคุมภายใต้ช่วงอุณหภูมิและสภาวะที่กำหนดในการวิเคราะห์ ตัวอย่าง ตัวอย่างจะถูกวางบนจานขนาดเล็ก ซึ่งเชื่อมต่อกับเครื่องชั่งละเอียดที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงสูง โดยที่ทั้งหมดจะอยู่ในเตาที่เป็นระบบปิดสามารถควบคุมอุณหภูมิและบรรยากาศได้ บรรยากาศภายในอาจจะเป็นแก๊สเฉื่อย เช่น ไนโตรเจน หรือแก๊สที่มีความว่องไว เช่น อากาศ หรือ ออกซิเจน โดยน้ำหนักของตัวอย่างที่เปลี่ยนแปลงจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิเฉพาะของสารแต่ละชนิดโดย น้ำหนักที่หายไปนั้นเกิดมาจากการระเหย การย่อยสลายหรือการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ ผลการทดสอบจะถูกแสดงออกมาในรูปกราฟซึ่งมีแกน y แสดงน้ำหนักที่เปลี่ยนไป (Weight % หรือ mg) และแกน x แสดงอุณหภูมิหรือเวลาตามที่กำหนด การวิเคราะห์ผลจำเป็นต้องทราบการทำปฏิกิริยาทางเคมีและ อุณหภูมิการสลายตัวของวัตถุตัวอย่างอย่างคร่าวๆ หรือมีข้อมูลอุณหภูมิการสลายตัวของวัตถุอ้างอิง ชนิดต่างๆ ก่อนเพื่อนำมาใช้เปรียบเทียบผลที่ได้ รูปที่ 2.12 แสดงตัวอย่างการหาปริมาณองค์ประกอบของวัสดุที่มีการเติมสารเสริมแรงเข้าไปด้วยแต่ไม่ทราบปริมาณ เมื่อให้ความร้อนแก่วัสดุจนถึง อุณหภูมิการสลายตัวความชันของกราฟจะเปลี่ยนแสดงถึงน้ำหนักที่เปลี่ยนไปของวัสดุเมื่อได้รับความร้อนและเกิดการสลายตัว จากรูปที่ 2.12 จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นอย่างมีนัยสำคัญสอง ช่วงด้วยกัน นั่นคือช่วงอุณหภูมิการสลายตัวของ Epoxy และ Glass fibers จากเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปสามารถสรุปได้ว่าวัตถุตัวอย่างมีปริมาณเส้นใยแก้วอยู่ 31.8% (Fillers) และที่เหลือคือปริมาณ Epoxy ส่วนที่เป็นพอลิเมอร์หลัก (Matrix) ตัวอย่างผลิตภัณฑ์พลาสติกอื่นๆ ที่นำมาใช้ ในการวิเคราะห์ องค์ประกอบของพลาสติกได้แก่ ชิ้นงานจากไนลอน 6 ที่มีสารเติมแต่ง Carbon black ผสมและชิ้นงาน อะครีโลไนไตรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีน (ABS) เป็นต้น นอกจากนี้ น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปอาจไม่ได้เกิดจากการสลายตัวของเนื้อพอลิเมอร์อย่างเดียว แต่อาจเกิดจากการสูญเสีย น้ำ หรือการสลายตัว เป็นก๊าซขององค์ประกอบทางเคมีของวัสดุก็ได้

ด้วยเหตุนี้เองจึงมีการนำเทคนิคนี้ไปใช้ในการหาปริมาณความชื้นที่มีในพลาสติกและ ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซที่อุณหภูมิต่างๆ ของวัสดุบางประเภทอีกด้วย



รูปที่ 2.12 (1) กราฟ TGA แสดงอุณหภูมิการสลายตัว Epoxy-glass fibers

(2) Epoxy resin with glass fibers (3) Chopped glass fibers [11]

2.7.3 วิเคราะห์ธาตุและสารประกอบด้วยเทคนิค (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FT-IR Spectroscopy) [10]

เครื่อง FT-IR Spectroscopy มีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ เมื่อรังสีอินฟราเรดที่มีหลายความถี่จากแหล่งคลื่นรังสีอินฟราเรด ผ่านเข้าไปยังอินเทอร์โพโรมิเตอร์ ลำแสงจะถูกแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนที่เป็น Beam Splitter ลำแสงครึ่งหนึ่งจะผ่านไปยังกระจกที่ตรึงอยู่กับที่ และกระจกที่เคลื่อนที่ได้ด้วยความเร็วคงที่เมื่อลำแสงสะท้อนกลับมาที่ Beam Splitter จะเกิดการแทรกสอดแบบเสริมกันหรือการแทรกสอดแบบหักล้างของแต่ละความยาวคลื่น เมื่อแสงผ่านสารตัวอย่างไปยังตัววัดสัญญาณ ที่อ่านได้ทุกความถี่พร้อมกันกับช่วงสแกนของกระจก โดยที่อัตราการสแกนวัดสัญญาณและความเร็วของกระจกที่เคลื่อนที่ได้จะถูกควบคุมให้มีความถูกต้องและคงที่เรียกสัญญาณอ้างอิงจากตัววัดสัญญาณที่เกิดจากหลอด He – Ne Laser ว่า Internal Reference Laser สัญญาณที่ตัววัดสัญญาณ อ่านได้จะอยู่ในรูปอินเทอร์โพแกรมถูกเก็บไว้

ของวัสดุ ซึ่งมีประโยชน์ต่อการนำไปประยุกต์ใช้ ถึงแม้ว่าในระยะหลายปีที่ผ่านมาได้มีการศึกษาสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของพอลิเมอร์ในชั้นสูงแล้วก็ตาม โดยทั่วไปพบว่าไม่สามารถทำนายสมบัติเชิงกล (Mechanical properties) ของพอลิเมอร์โดยอาศัยความรู้จากโครงสร้างพื้นฐานทางเคมีได้อย่างแม่นยำ เช่น ความแข็งแรง (Strength) ที่แท้จริงของพอลิเมอร์อาจมีค่าเพียง 0.1-0.01 เท่าของค่าที่ได้จากการคำนวณ โดยใช้ความรู้พื้นฐานจากความแข็งแรงของพันธะ และแรงระหว่างโมเลกุล เพราะฉะนั้นในปัจจุบันการทดสอบสมบัติเชิงกล จึงเป็นวิธีที่ดีที่จะศึกษาถึงสมบัติ และความเป็นไปได้ในการนำเอาพอลิเมอร์ไปใช้งาน

2.8.1 ทดสอบการทนต่อแรงดึง (Tensile Strength) [12]

ความทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ สามารถทดสอบจากลักษณะการยืดออกของตัวอย่างเมื่อได้รับแรงดึงจากภายนอก โดยอาศัยเทอม 2 เทอมที่สัมพันธ์กัน คือ ความเค้น (Stress : σ) และความเครียด (Strain : ϵ) ความเค้น คือ แรงที่ใช้ในการดึงหรือยืดตัวอย่าง ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่หน้าตัด ดังสมการที่ 2.1

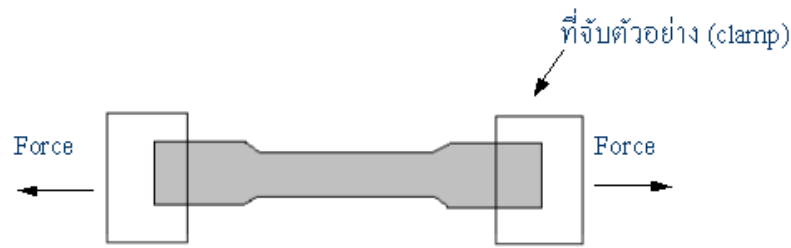
$$\text{ความเค้น} = \frac{\text{แรง (F)}}{\text{พื้นที่หน้าตัด (A)}} \quad (2.1)$$

ความเครียด (ϵ) คือ อัตราส่วนระหว่างความยาวที่เปลี่ยนไปของตัวอย่างเมื่อได้รับแรงดึงต่อความยาวเริ่มต้น ดังสมการที่ 2.2 และสามารถหาค่าโมดูลัสได้จากสมการที่ 2.3

$$\text{ความเครียด} = \frac{\text{ความยาวที่เปลี่ยนไป}}{\text{ความยาวเดิม}} = \frac{\Delta L}{L} \quad (2.2)$$

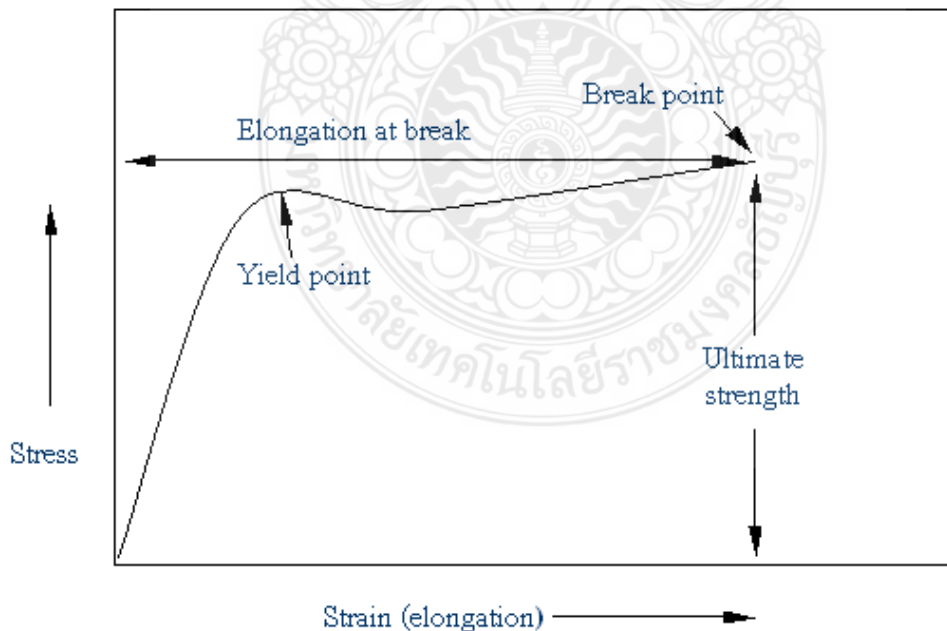
$$\text{โมดูลัส} = \frac{\text{ความเค้น}}{\text{ความเครียด}} = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (2.3)$$

เนื่องจากพฤติกรรมความเค้น และความเครียดของวัสดุเป็นลักษณะที่ขึ้นกับเวลา อัตราเร็วที่ความเค้น หรือแรงถูกให้กับตัวอย่างจึงมีผลต่อการยืดของตัวอย่าง หรือความเครียดเป็นอย่างมาก เช่น เมื่อนำตัวอย่างประเภทเส้นใยมาทดสอบ โดยใช้แรงดึงอย่างรวดเร็วจนทำให้เส้นใยขาดออกโดยง่าย แต่เมื่อใช้แรงขนาดเดิมแต่ดึงอย่างช้า ๆ จะทำให้เส้นใยยืดออก และทนต่อแรงดึงอยู่นานก่อนที่จะขาด ในทางปฏิบัติทั่วไปการทดสอบความเค้น และความเครียดของพอลิเมอร์ มักใช้ตัวอย่างรูปร่างดังแสดงในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 รูปร่างตัวอย่างของพอลิเมอร์ที่ใช้ทดสอบความเค้น - ความเครียด [12]

ปลายของตัวอย่างถูกยึดด้วยที่จับ และจะถูกดึงให้ยืดออกด้วยแรงที่รู้ขนาดแน่นอน จากนั้นจึงนำข้อมูลไปพลอตกราฟระหว่างความเค้น และความเครียด (Stress-Strain curve) สำหรับพอลิเมอร์ที่มีลักษณะคล้ายยาง (Elastomer) ซึ่งเกิดการยืดออกได้ง่ายเมื่อได้รับแรงดึง กราฟที่ได้มีลักษณะดังรูปที่ 2.15 นอกจากความเค้น และความเครียด แล้วยังมีเทอมที่แสดงสมบัติเชิงกลประเภทอื่นของพอลิเมอร์ อีก เช่น Modulus หรือ Stiffness ซึ่งแสดงโดยค่าอัตราส่วนระหว่างความเค้น และความเครียด (หรือความชันในช่วงแรกของเส้นกราฟ) และ Toughness ซึ่งแสดงความต้านทานต่อการขาด



รูปที่ 2.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น - ความเครียด [12]

2.8.2 ทดสอบการทนต่อการโค้งงอ (Bending Test) [12]

ความสามารถของวัสดุที่จะสามารถทนต่อแรงที่ทำให้ตัวอย่างโค้งงอ โดยไม่เกิดการแตกหรือเสียรูปของตัวอย่างเมื่อหยุดให้แรง เป็นปัจจัยสำคัญสำหรับพอลิเมอร์ที่ถูกนำไปใช้งานบางประเภท เช่น ยางล้อรถ ล้อเฟือง โครงสร้างของยานยนต์ เรือ และเครื่องบิน เป็นต้น วิธีการทดสอบแสดงดังรูปที่ 2.16 และค่า Flexural Strength สามารถหาได้จากสมการที่ 2.4

$$\text{Flexural Strength} = 3FL/WH^2 \quad (2.4)$$

เมื่อ F = น้ำหนักที่ทำให้เกิดการแตกของพอลิเมอร์

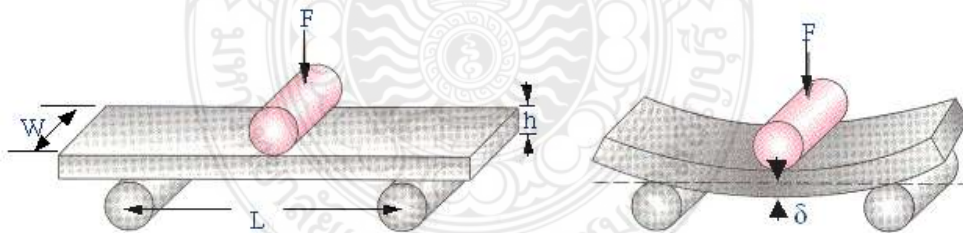
L = ระยะห่างระหว่างตำแหน่งของวัสดุที่รองรับตัวอย่าง

W = ความกว้างของตัวอย่าง

H = ความสูงของตัวอย่าง

โมดูลัสของความยืดหยุ่น (Modulus of elasticity) ในการทำให้ตัวอย่างโค้งงอสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.5 เมื่อ δ คือระยะที่ตัวอย่างเกิดการโค้งงอ เมื่อถูกกดด้วยแรง F

$$\text{Flexural Modulus} = L^3F/4WH^3 \delta \quad (2.5)$$



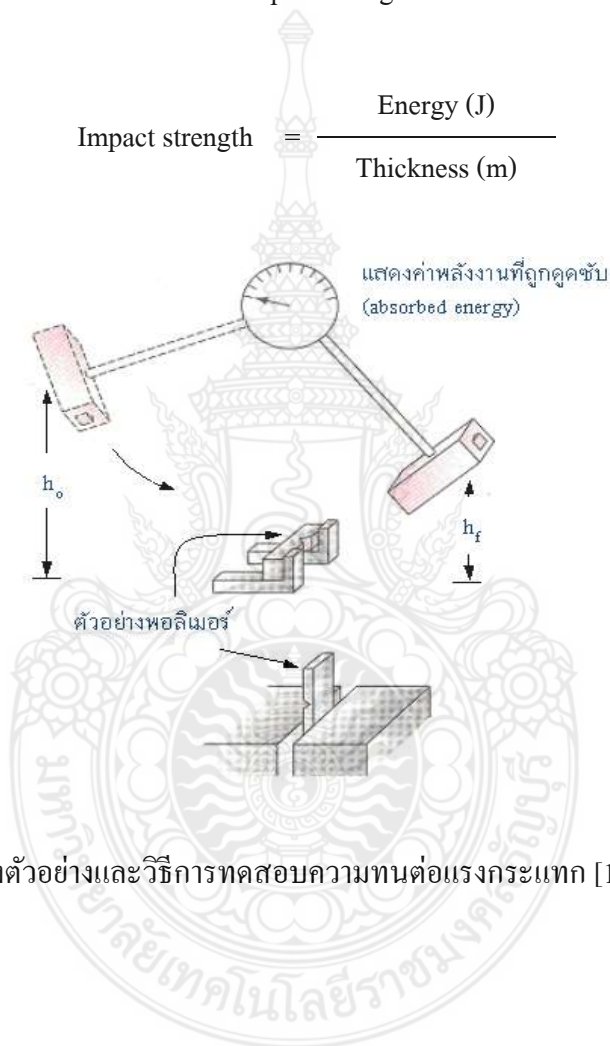
รูปที่ 2.16 การทดสอบการโค้งงอของพอลิเมอร์ (Bend test) [12]

2.8.3 ทดสอบการทนต่อแรงกระแทก (Impact Resistance) [12]

การทดสอบสมบัติด้านการทนแรงกระแทกของพอลิเมอร์จะมีจุดเด่นตรงที่เป็นการทดสอบด้วยอัตราการกระแทกด้วยความเร็วสูง โดยมีรูปแบบ 2 ลักษณะ คือ แบบ Pendulum Test และ Falling weight Test

ลักษณะการทดสอบแบบ Pendulum test จะใช้ก้อนเหวี่ยงลงมากระทบชิ้นงาน พลังงานส่วนหนึ่งสูญเสียไปในการทำให้ชิ้นงานแตกหัก ซึ่งสามารถอ่านค่าพลังงานที่ใช้ไปได้จากเข็มหน้าปัด (หน่วยเป็น ft-lbs) ซึ่งในกรณีที่ทดสอบแล้วชิ้นงานไม่หักแสดงว่าพลังงานไม่พอ ซึ่งจะต้องเพิ่มน้ำหนักขึ้นไปอีก (หรือใช้เครื่องที่มีขนาดใหญ่กว่าหรือ Specification ตรงกว่า) ชิ้นงานทดสอบจะต้องมีการทำรอยบากเพื่อให้เกิดจุดรวมแรง (Stress concentration point) ดังรูปที่ 2.17 โดยจากพลังงานที่อ่านได้สามารถนำมาคำนวณเป็น Impact strength ได้จากสมการ 2.6

$$\text{Impact strength} = \frac{\text{Energy (J)}}{\text{Thickness (m)}} \quad (2.6)$$



รูปที่ 2.17 ลักษณะของตัวอย่างและวิธีการทดสอบความทนต่อแรงกระแทก [12]

2.9 ทบทวนวรรณกรรม (Literature review)

Justin R. Barone et al. (2004) ได้ทำการศึกษาวัสดุคอมโพสิตพอลิเอทิลีนเสริมแรงด้วยเส้นใยเคราตินจากขนไก่ จัดทำขึ้นโดยใช้เส้นใยเคราตินที่ได้จากขนไก่ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยใกล้เคียงกัน แต่อัตราส่วนแตกต่างกัน ถูกผสมลงในพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ ด้วยเครื่องผสมบราเวนเดอร์แกนเดียว ทดสอบค่าความทนทานต่อแรงดึง ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น พบว่าความเค้นจุดครากในวัสดุคอมโพสิตมากกว่าในพอลิเมอร์บริสุทธิ์ตามปริมาณ ของเส้นใย ก่อตั้งจุลทรรศน์เผยให้เห็นการทำงานร่วมกันระหว่างพอลิเมอร์และเส้นใยเคราติน นอกจากนี้ยังพบว่าเส้นใยเคราตินมีความหนาแน่นต่ำกว่าพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ส่งผลให้วัสดุคอมโพสิตมีความหนาแน่นลดลง ผลที่ได้รับจากการทดสอบสมบัติทางกล เมื่อเปรียบเทียบกับการคาดการณ์ตามทฤษฎีพื้นฐานแล้วจะขึ้นอยู่กับขนาดของวัสดุผสม [13]

Justin R. Barone et al. (2004) ได้ทำการศึกษาการผสม และการขึ้นรูปพอลิเอทิลีน คอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยเคราตินจากขนสัตว์ การเตรียมพอลิเอทิลีนด้วยเส้นใยเคราตินจากขนไก่ ผสมเข้ากับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงที่ 20% โดยน้ำหนัก ด้วยเครื่องผสมบราเวนเดอร์ ขั้นตอนการผสม และตัวแปรที่ศึกษาในครั้งนี้คือ เวลาในการผสม อุณหภูมิ ความเร็ว และสภาวะการกระจายตัวของเส้นใย คอมโพสิตจะถูกอัดขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ในหลายๆ ครั้ง หลายๆ อุณหภูมิ ผลของการศึกษาการผสม และการขึ้นรูปจากการทดสอบแรงดึง และการแตกนกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน พบว่าเคราตินในเส้นใยขนไก่ทำให้พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นและช่วยลดความเครียดแรงดึง เส้นใยมีเสถียรภาพทางความร้อนในระยะเวลาที่นานถึง 200 องศาเซลเซียส และพบว่าที่อุณหภูมิแม่พิมพ์ 205 องศาเซลเซียส เส้นใยมีความเสถียรภาพเพียงไม่กี่วินาที [14]

Lucia Conzatti et al. (2014) ได้ทำการศึกษาพอลิโพรพิลีนคอมโพสิตที่มีน้ำหนักเส้นใยขนสัตว์ 20% ประสบความสำเร็จในการใช้ขั้นตอนการผสมแบบละลายอย่างง่ายกับพอลิโพรพิลีนเกรดเชิงพาณิชย์ และได้เลือก a maleinised PP เป็นเมทริกซ์เพื่อใช้ศึกษาผลของการปรับเปลี่ยนพื้นผิวเส้นใยและการยึดเกาะเมทริกซ์ การยึดเกาะเส้นใยขนสัตว์ถูกนำมาใช้ร่วมกับปฏิกิริยาไซเลในเซชันของไซเลนกับทั้งเส้นใยและเมทริกซ์ และผลเนื่องมาจากการปรับเปลี่ยนพื้นผิว ได้ประเมินด้วยกล้องอินฟราเรด และแตกนกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ผลในแง่ลักษณะทางสัญญาณวิทยาของเสถียรภาพทางความร้อนและพฤติกรรมทางกล พบว่าพอลิโพรพิลีนคอมโพสิตที่ใช้มีลักษณะการกระจายตัวอย่างทั่วถึง [15]

J.R. Barone (2005) ได้ศึกษาคอมโพสิตเสริมแรงเส้นใยสั้นที่ทำจากเส้นใยเคราตินที่ได้จากขนสัตว์ปีกและพอลิเอทิลีนที่เป็นผลึกแตกต่างกัน ลักษณะทางเคมีของพอลิเมอร์และเส้นใยจะถูกเก็บ

ไว้อย่างคงที่และสถาปัตยกรรมระดับโมเลกุลของพอลิเมอร์จะแตกต่างกัน นอกจากนี้ยังพบว่า พอลิเอทีลีนผลึกต่ำจะเสริมแรงด้วยเส้นใยเคราติน แต่พอลิเอทีลีนผลึกสูงไม่ได้เสริมแรงด้วยเส้นใยเคราติน เส้นใยเคราตินยับยั้งผลึกในพอลิเอทีลีนผลึกต่ำ แต่เพิ่มความเป็นผลึกในพอลิเอทีลีนผลึกสูง การใช้กล้องจุลทรรศน์แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นการยึดเกาะระหว่างเส้นใยและพอลิเมอร์สำหรับพอลิเอทีลีนอสถฐานมากขึ้น รูปแบบที่จะนำเสนออธิบายสมบัติคอมโพสิตเป็นหน้าที่ของสมบัติเส้นใยและเมทริกซ์ที่เป็นผลึก [16]



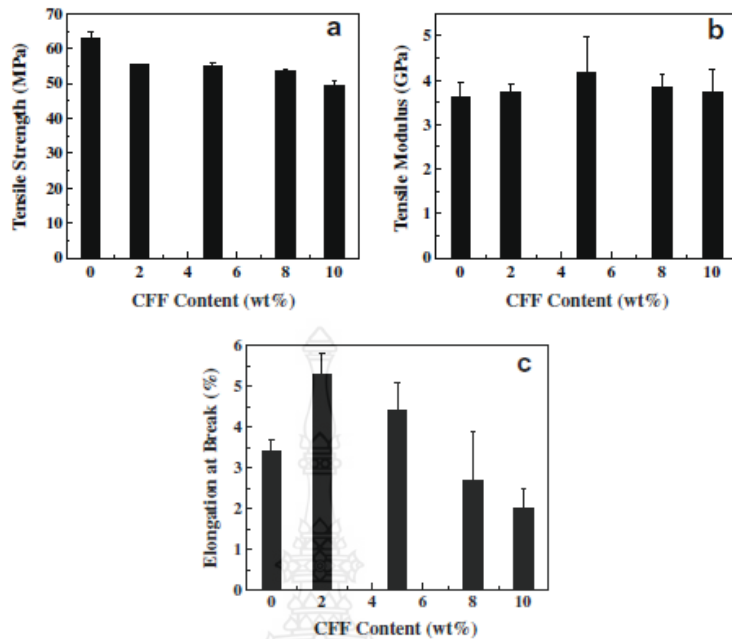
รูปที่ 2.18 สัณฐานวิทยาของ (a) LD133A/20 wt% 0.1 ซม. คอมโพสิตเส้นใยขนสัตว์ และ (b) HD7760/20 wt% 0.1 ซม. คอมโพสิตเส้นใยขนสัตว์ [16]

T.A. Bullions et al. (2006) ได้สร้างคอมโพสิตพอลิโพรพิลีนเมทริกซ์ที่มีส่วนประกอบที่แตกต่างกันเส้นใยขนนก (FF) เยื่อกระดาษเส้นใยรีไซเคิลกราฟท์ (PF) เยื่อกระดาษเส้นใยหนังสือพิมพ์รีไซเคิล (NF) และ retted เยื่อเส้นใยปอแก้ว (KF) คอมโพสิตที่ถูกบีบอัดขึ้นรูปจากหลาย plies ของนอนวูฟเวน, prepreg ผ้าเหมือนที่ผลิตด้วยอุปกรณ์การผลิตกระดาษ wetlay คอมโพสิตเหล่านี้ถูกทดสอบในความดึงเครียดและการโค้งงอสามจุดเพื่อเปรียบเทียบผลงานของเส้นใยที่แตกต่างกันเพื่อสมบัติเชิงกลคอมโพสิต ผลงานของเส้นใยที่แตกต่างกันที่เส้นใยต่อความแข็งแรงของคอมโพสิตจะพบจากสูงสุดไปต่ำสุด: PF > NF > FF > KF สามเส้นใยเซลลูโลสดูเหมือนจะมีผลงานที่คล้ายกับโมดูลัสคอมโพสิต นอกเหนือจาก Ff ส่วนประกอบใด ๆ โมดูลัสคอมโพสิตลดลง [17]

Shah Huda et al. (2009) คุณสมบัติทางกลและคุณสมบัติในการป้องกันเสียงสะท้อนของวัสดุคอมโพสิตจากบริเวณขนและพอลิโพรพิลีน (PP) ได้รับการตรวจสอบและเปรียบเทียบกับคอม

โพลีเอทิลีน-PP การทำงานของคอมโพลีเมอร์จากบริเวณขนสัตว์ปีกอาจนำไปสู่การลดความสำคัญของการเกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมผ่านการแทนที่ของของวัสดุที่ไม่สามารถหาทดแทนได้ในวัสดุคอมโพลีเมอร์ ผลของความเข้มข้นของบริเวณขน อุณหภูมิโพลีเมอไรเซชันและความหนาแน่นต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพลีเมอร์และผลกระทบของความเข้มข้นของบริเวณขนและความหนาแน่นในการดูดซับเสียงที่มีการการศึกษา ปริมาณช่องว่างในคอมโพลีเมอร์และผลกระทบของความเข้มข้นของบริเวณขนและความหนาแน่นต่อการดูดซึม โดยรอบยังเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติทางกลและสมบัติการการดูดซึมเสียง ขนมีความเข้ากันได้ดีกว่ากับ PP เมื่อเทียบกับโพลีเอทิลีน-PP เหมาะสมที่สุด และส่วนที่คล้ายกันกับ PP-โพลีเอทิลีนคือ มีความทนทานต่อการดึงและ Offset yield load , โมดูลัสของความยืดหยุ่นที่ลดลงและความทนทานต่อแรงดึงที่ลดลงและ โมดูลัสที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับคอมโพลีเอทิลีน-PP ค่าสัมประสิทธิ์การลดเสียงรบกวน (NRC) จากคอมโพลีเมอร์เป็น 71% สูงกว่าที่ของคอมโพลีเอทิลีน-PP ที่สภาวะที่ดีที่สุดในการของคุณสมบัติการดึง [18]

Sha Cheng et al. (2009) ได้ทำการศึกษาสมบัติทางกล และสมบัติทางความร้อนของวัสดุคอมโพลีเมอร์จากเส้นใยขนไก่กับพอลิแลคติกแอซิด ที่อัตราส่วนร้อยละ 2 5 8 10 โดยน้ำหนัก ทำการผสมโดยใช้เครื่อง Twin screw และทำการฉีดขึ้นรูป จากการทดสอบความต้านทานแรงดึงพบว่าที่อัตราส่วน 5 % มีสมบัติต้านทานแรงดึงสูงที่สุด ผลจากการทดสอบ TGA ซึ่งให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณขนไก่มีอิทธิพลต่อเสถียรภาพทางความร้อนของวัสดุผสม เมื่อเทียบกับพอลิแลคติกแอซิดบริสุทธิ์ ผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้เชื่อว่าจะช่วยให้นักพัฒนาของคอมโพลีเมอร์เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้นจากโพลีเมอร์ย่อยสลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับการแปลงของเสียทางการเกษตรเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีประโยชน์ [19]



รูปที่ 2.19. ผลของการเติม เส้นใยขนไก่บนสมบัติแรงดึงของวัสดุคอมโพสิต CFF/PLA [19]

A. El-Sabbagh (2014) ได้ศึกษาเพื่อเพิ่มการยึดเกาะระหว่างเส้นใยธรรมชาติและเมทริกซ์เทอร์โมพลาสติกสารคู่ควบของมาเลอิกแอนไฮไดรด์พอลิโพรพิลีน MAPP ถูกนำไปใช้ในงานวิจัยมีแนวทางที่แตกต่างของอัตราร้อยละที่เหมาะสมที่ต้องการของ MAPP ดังนั้นระบบการทำงานจะดำเนินการเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพร้อยละ MAPP กับส่วนที่ชนิดของเส้นใยธรรมชาติ ค่าพารามิเตอร์ที่แตกต่างกันที่ถูกรวบรวมได้แก่ อัตราส่วนสารคู่ควบต่อเส้นใย (0%w/w, 6.67%w/w, 10%w/w, 13.3%w/w, 16.67%w/w) แหล่งที่มาของสารคู่ควบ ประเภทเส้นใย (ปอป่า, ป่าน, ป่านสรนารายณ์) และปริมาณเส้นใย (30%w/w, 50%w/w) คอมโพสิตผลิตโดยใช้ kneader และวัสดุที่เกิดขึ้นจะมีการประเมินผล ทางกล, ทางความร้อน, กล้องจุลทรรศน์และการดูดซึมน้ำ สำหรับแหล่งที่มา MAPP ที่แตกต่างกันและประเภทเส้นใยธรรมชาติ, MAPP ที่เหมาะสมต่ออัตราส่วนเส้นใยที่พบเฉลี่ยในช่วงระหว่าง 10%w/w และ 13.3%w/w ตามการตรวจสอบสมบัติ (ความแข็ง, ความแข็งแรงและผลความทนทานต่อแรงกระแทก) การเพิ่มขึ้นของ MAPP พบว่าลดอุณหภูมิหลอมละลาย พฤติกรรมความร้อนยังเชื่อมโยงกับน้ำหนักโมเลกุลลิเมอร์ [20]

Nak-Bum Song et al. (2013) ได้ศึกษาเพื่อเตรียมโปรตีนขนไก่ (CFP) / nano-clay พิล์มคอมโพสิตและในการประเมินผลกระทบของพลาสติกไซเซอร์ต่างๆและความเข้มข้นของ nano-clay ต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์ม, CFP พิล์มคอมโพสิตที่มีความเข้มข้นต่างๆของ Cloisite Nap ที่ได้จากการเตรียมและสมบัติทางกายภาพที่ได้ทำการตรวจสอบเช่นความทนทานต่อแรงดึง (TS) การยึดตัวฉูดขาด (E) และซึมผ่านไอน้ำ (WVP) พิล์ม CFP ที่เหมาะสมที่สุดที่ 5 กรัม CFP, 0.5 กรัมของกลีเซอรอล

และ 1.5 กรัมของซอร์บิทอลใน 100 มิลลิลิตรของสารละลายที่ขึ้นรูปฟิล์ม ; TS, E, และ WVP ของฟิล์ม เป็น 4.74 MPa, 10.08% และ 3.11 กรัม 10^{-9} m/m² s MPa ตามลำดับ หลังจาก nano-clay เข้าร่วมกัน ในสารละลายที่ขึ้นรูปฟิล์ม CFP, กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและการศึกษาการ เลี้ยวเบน X-ray ได้ดำเนินการเพื่อตรวจสอบลักษณะโครงสร้างของ CFP / nano-clay ฟิล์มคอมโพสิต การรวมตัวกันของ nano-clay ปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของฟิล์ม CFP TS ของ CFP / nano-clay ฟิล์มคอมโพสิต ที่มี 7% Cloisite Nap เพิ่มขึ้น 1.21 MPa และ WVP ของฟิล์มคอมโพสิตลดลง 1.15 กรัม 10^{-9} m/m² s MPa เมื่อเทียบกับฟิล์ม CFP ดังนั้นผลลัพธ์เหล่านี้ชี้ให้เห็นว่า CFP ฟิล์มคอมโพสิต สามารถเตรียมได้มีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น โดยการเพิ่มของ nano-clay และใช้เป็นวัสดุบรรจุภัณฑ์อาหาร ในอุตสาหกรรมอาหาร [21]

Mingjiang Zhan et al. (2011) ได้ประดิษฐ์วัสดุคอมโพสิตด้วยอีพ็อกซี, เส้นใยคาร์บอน (CFE) และไฟเบอร์กลาส-E และการตรวจสอบสมบัติของสำหรับการใช้งานที่มีศักยภาพเป็นแผงวงจรพิมพ์ (PCB) ค่าความต้านทานทางไฟฟ้าของคอมโพสิต CFE เป็น 2-4 อันดับของขนาดสูงกว่าที่ ไฟเบอร์ กลาส-E คอมโพสิต ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของคอมโพสิตลดลงด้วยการเติมเส้นใย คอมโพสิตที่มีเส้นใย ไสบริดมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกต่ำ 3.6-4.2 และสัมประสิทธิ์การสูญเสีย 0.027 ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับของวัสดุ PCB เชนพาคีซี CFE คอมโพสิตมีศักยภาพสามารถนำมาใช้สำหรับอุตสาหกรรม PCBs และคอมโพสิต เส้นใยโพลีเอทิลีนที่มีคุณสมบัติและค่าใช้จ่ายในขณะที่ความยั่งยืนมากขึ้น [22]

M.U. de la Orden et al. (2010) ได้ศึกษาผลกระทบของสารคู่ควบสองชนิดในการเปลี่ยนสี ของวัสดุผสมเซลลูโลส / โพรพิลีนในการตรวจสอบระหว่างการหลอมละลาย วัสดุคอมโพสิตของพอลิ โพรพิลีน สารคู่ควบและการฟอกเชื้อกระดาษกราฟที่ผลิตโดยผสมในเครื่องอัดรีดสกรู สารคู่ ควบเป็นมาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟต์พอลิโพรพิลีน (MAPP) และ Polyethylenimine (PEI) การเปลี่ยนสี ได้รับการวัดโดยใช้มาตรฐานการวัดความเข้มของสีและการเปลี่ยนสีถูกตรวจสอบโดยใช้ค่าการ สะท้อนกระจายแสง (FTIR และ UV-Visible) สเปกโทรสโกปี MAPP และ PEI ทั้งสองมีการเพิ่มขึ้น ของเกิดสีน้ำตาล แต่ทั้งสองกลไกที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน PEI จะทำปฏิกิริยากับสารประกอบคาร์- บอนิลที่ผลิตในการสลายตัวเซลลูโลสในรูปแบบ Chromophores ใหม่ แต่ไม่มีกระบวนการเปลี่ยนสีที่ เฉพาะเจาะจงที่ถูกตรวจพบในคอมโพสิตที่ทำด้วย MAPP ในกรณีนี้มีผลกระทบต่อเปลี่ยนสีที่ เกี่ยวข้องกับการเพิ่มขึ้นการย่อยสลายแรงเสียดทาน [23]

A.L. Marti'nez-Herna'ndez et al. (2007) เส้นใยเคราตินจากขนไก่ถูกนำมาใช้เป็นเส้นใยเสริมแรงสำหรับพอลิเมทิลเมทาไครเลต (PMMA) เมทริกซ์ คอมโพสิตได้รับการประเมินผ่านการวิเคราะห์ทางความร้อนและการวิเคราะห์สมบัติทางกลเชิงไดนามิก เสถียรภาพทางความร้อนและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิพบว่า มีสูงกว่ามาตรฐาน PMMA โมดูลัสสะสมที่อุณหภูมิห้องเพิ่มขึ้น 1% และ 2% น้ำหนักของไบโอไฟเบอร์เคราตินและที่อุณหภูมิสูง การเสริมแรงมีความเสถียรสูงสะท้อนให้เห็นในพฤติกรรมของโมดูลัส เส้นใยเคราตินอยู่ภายในความแข็งพอลิเมอร์ลดลงสูงสุด ข้อบ่งชี้ของอินเทอร์เฟซที่แข็งแกร่ง มีการถ่ายภาพทางแสงยืนยัน [24]

ปราณี ชุมสำโรง และคณะ ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของพลาสติกเสริมแรงด้วยเส้นใยธรรมชาติ การเตรียมพอลิเมอร์เชิงประกอบหรือพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยเส้นใยกล้วยน้ำว้า และเส้นใยป่านสารายณ์ 1-10 %w/w เพื่อทำการศึกษาสมบัติเชิงกล โดยทดสอบสมบัติการดึงของเส้นใย การทดสอบพฤติกรรมกลการคลายตัวของเส้นใย ณ อุณหภูมิต่างๆ การทดสอบโดยการขึ้นรูปแบบการกดอัดด้วยความร้อน การทดสอบคุณสมบัติการดึง การทดสอบค่าความต้านทานการกระแทก จากการทดสอบ พบว่าค่าโมดูลัสของพอลิเมอร์เชิงประกอบมีค่าสูงกว่าพอลิโพรพิลีนเมทริกซ์ และมีค่าสูงขึ้นตามปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้น ค่าความแข็งแรงในการดึงมีค่าสูงกว่า แต่เมื่อเพิ่มเส้นใยมากขึ้นค่าความแข็งแรงในการดึงลดลง ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกลดลงตามปริมาณเส้นใยที่เพิ่ม [25]

ธวัชณ์ สร้อยทอง ได้ทำการศึกษาสมบัติทางกล และสมบัติทางความร้อนของวัสดุผสมพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงที่เสริมแรงด้วยเส้นใยกล้วย พบว่าการนำเส้นใยไปทำการปรับปรุงผิวด้วยไซเลนจะส่งผลให้ค่าโมดูลัสมีค่ามากขึ้น ซึ่งพบว่าการปรับปรุงผิว และการใช้สารช่วยผสมทำให้ความแข็งแรงของวัสดุเพิ่มขึ้น จากการศึกษาสมบัติทางความร้อน พบว่าการใช้เส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยกระบวนการต่างๆ ไม่ทำให้สมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์เสียไป นอกจากนี้ภาพจากกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราดช่วยยืนยันได้ว่าการยึดเกาะของพอลิเมอร์ และเส้นใยกล้วยเกิดขึ้นได้ดี ส่งผลให้สมบัติเชิงกลเพิ่มขึ้น [26]

ปิยวุฒิ มาศโค้ง และคณะ ศึกษาการเตรียมคอมโพสิตของพอลิยูรีเทนโพลีผสมเส้นใยปอจากธรรมชาติที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติของเส้นใยด้วยวิธีทางเคมีโดยใช้สารละลายไซเดียมไฮดรอกไซด์ และการปรับปรุงสมบัติด้วยวิธีทางกายภาพโดยการแช่เส้นใยปอในสารละลายเอทิลีนไกลคอล และสารละลายโพรพิลีนไกลคอล เพื่อปรับปรุงสมบัติการเปียกและการยึดเกาะระหว่างเส้นใยกับคอม

โพลีดีโพลิม โดยทำการเตรียมคอมโพลีดีโพลิมที่ผสมเส้นใยปอในช่วง 0 ถึง 15 phr กับพอลิยูรีเทนโพลิม ที่เตรียมจากการผสมพอลิเอทิลีนทำปฏิกิริยากับไดฟีนิลมีเทนไดไอโซไซยาเนต ขึ้นรูปในแม่พิมพ์ที่ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จากนั้นนำตัวอย่างคอมโพลีดีโพลิมไปทดสอบความต้านแรงดึงและ ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่าการ ปรับปรุงผิวของเส้นใยปอด้วยวิธีทางเคมีและวิธีทางกายภาพมีลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่บริเวณ อินเตอร์เฟสแตกต่างกัน การปรับปรุงสมบัติของเส้นใยปอทั้งสองวิธีสามารถช่วยเพิ่มการยึดเกาะ ระหว่างเส้นใยปอกับพอลิยูรีเทนเมทริกซ์ได้ดีขึ้น และจากผลการทดสอบสมบัติความต้านแรงดึงอ พบว่าคอมโพลีดีโพลิมที่ผสมเส้นใยปอที่ปรับปรุงพื้นผิวสัมผัสให้เปียกด้วยเอทิลีนไกลคอล มีค่า มอดูลัสดึงต่อความหนาแน่นของโพลีดีโพลิมมีค่าเท่ากับ 1530 MPa cm³/g ซึ่งสอดคล้องกับผล การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยปอตัวอย่างคอมโพลีดีโพลิมที่เสียดสภาพหลังจากผ่านการ ทดสอบสมบัติมอดูลัสดึง โดยพบว่าเส้นใยปอมียึดเกาะกับพอลิยูรีเทนเมทริกซ์ได้ดี [27]



บทที่ 3

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

วิธีการเตรียมวัสดุผสมที่ได้จากการใช้ขนสัตว์เป็นวัสดุเสริมแรงในพอลิโพรพิลีน เริ่มจากการทำความสะอาดขนสัตว์ การเตรียมวัสดุอุปกรณ์ และเครื่องมือต่างๆ เพื่อให้ได้วัสดุผสมที่สามารถนำมาขึ้นรูปชิ้นงานตัวอย่าง เพื่อใช้ในการทดสอบสมบัติเชิงกล และทดสอบสมบัติด้านอื่นๆ ของขนสัตว์ด้วย มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.1 วัสดุอุปกรณ์ สารเคมีและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 สารเคมีและวัสดุอุปกรณ์

3.1.1.1 พอลิโพรพิลีน (PP) บริษัท IRPC เกรด 1102H

3.1.1.2 Maleic anhydride grafted polypropylenes (MA-g-PP) บริษัท Sigma-alarich

3.1.1.3 ขนเป็ด (Duck Feather: DF) บริษัท CPF

3.1.1.4 ขนไก่ (Chicken Feather: CF) บริษัท CPF

3.1.1.5 ขนสุนัข (Dog Hair: DH) ร้านตัดขนสุนัข

3.1.1.6 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) บริษัท Ajax Finechem เกรด AR

3.1.1.7 ติวบ ยี่ห้อ BINDER บริษัท SCIENTIFIC PROMOTION CO.,LTD. USA

3.1.1.8 เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ ELECTRONIC SCALE บริษัท

INDUSTRY ELECTRONIC BALANCE

3.1.2 เครื่องมือที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงาน

3.1.2.1 เครื่องบดสองลูกกลิ้ง (Two Roll Mill) บริษัท LAB TECH ENGINEERING

CO., LTD

3.1.2.2 การขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์แบบกดอัด (Compression Molding)

บริษัท LAB TECH ENGINEERING CO., LTD

3.1.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

3.1.3.1 Universal Testing Machine ของบริษัท LLOYD Instrument A Trademark of AMETEK รุ่น Hounsfield

3.1.3.3 การทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก (Izod Impact) ยี่ห้อ CEAST

3.1.3.4 เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) รุ่น JSM 6610LV

บริษัท JEOL

3.1.3.5 เครื่อง Fourier Transform Infrared, FT-IR Spectroscopy

3.1.3.6 เครื่อง Thermo gravimetric Analysis, TGA

3.2 ขั้นตอนในการทดลอง

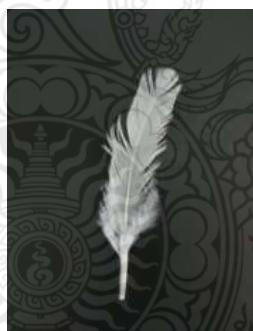
3.2.1 ขั้นตอนในการเตรียมขนสัตว์

- นำขนสัตว์ (ขนเป็ด, ขนไก่ และขนสุนัข) มาล้างด้วยน้ำสะอาด ตากให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง 24 ชั่วโมง และอบที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

- เพื่อศึกษาผลของการปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธี Alkalization ขนทั้ง 3 ชนิด ถูกนำไปแช่สารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ pH 11 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำขนสัตว์ล้างจนมีค่า pH 7 (เป็นกลาง) และอบที่อุณหภูมิ 80 °C และทำการเลือกขนสัตว์แต่ละชนิด โดยขนเป็ดและขนไก่ ใช้ส่วนก้านขน ส่วนขนสุนัขนำไปสาบด้วยเครื่องสาบเส้นใย ดังแสดงในรูปที่ 3.1



(ก) ขนเป็ด



(ข) ขนไก่



(ค) ขนสุนัข

รูปที่ 3.1 ขนสัตว์ชนิดต่างๆ (ก) ขนเป็ด (ข) ขนไก่ (ค) ขนสุนัข

3.2.2 ขั้นตอนการผสมและขึ้นรูป

ขั้นตอนนี้จะทำการเตรียมพอลิโพรพิลีนผสมระหว่างขนสัตว์แต่ละชนิดที่ได้เตรียมไว้ นำพอลิโพรพิลีนผสมกับขนสัตว์แต่ละชนิดตามปริมาณดังนี้ คือ 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 wt% (โดยน้ำหนัก) ทำการผสมด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two Roll Mill) ใช้อุณหภูมิในการผสมอยู่ที่ 170 องศาเซลเซียส หลังจากทีผสมจนเข้ากันแล้ว นำไปขึ้นเป็นแผ่น โดยเครื่องอัดแบบไฮดรอลิก (Compression Molding) ที่ความดัน 250 MPa อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที แล้วทำ

การลดอุณหภูมิของชิ้นด้วยการหล่อเย็น หลังจากนั้นนำชิ้นงานที่ได้ไปทำการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล เพื่อเลือกปริมาณการเติมขดตัวแต่ละชนิดที่เหมาะสมเพื่อทำการศึกษาในส่วนของการนำไปปรับสภาพผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เตรียมไว้และเติมสารคู่ควบ MA-g-PP 1 wt% ต่อไปโดยการผสม และขึ้นรูปเช่นเดียวกัน



(ก) PPผสมขดเปิด 4 wt%

(ข) PPผสมขดปิด 4 wt%

(ค) PPผสมขดสั้น 4 wt%

รูปที่ 3.2 ตัวอย่างแผ่นวัสดุคอมโพสิตพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขดเปิด ขดปิด และขดสั้น ที่ ปริมาณ 4 wt%

3.3 วิธีการศึกษาสมบัติของแผ่นวัสดุผสม

3.3.1 ทดสอบสมบัติทางความร้อน

การทดสอบ Thermo Gravimetric Analysis (TGA)

วิธีการทดสอบ

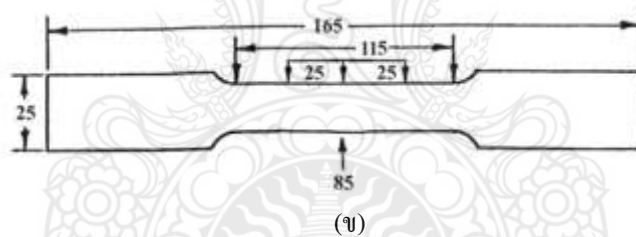
- 1) เตรียมสารตัวอย่างน้ำหนักประมาณ 5-20 มิลลิกรัม
- 2) ปรับสถานะของเครื่องมือ (Thermo balance) โดยให้ความร้อนจาก อุณหภูมิ 30-850 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราเร็วคงที่ 20 °C/min ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน
- 3) ชั่งน้ำหนักของภาชนะสำหรับใส่สารตัวอย่าง (Crucible) และ ปรับตั้ง (Tare) ให้เป็นศูนย์
- 4) ใส่สารตัวอย่างในภาชนะที่เตรียมไว้
- 5) น้ำหนักของสารแน่นอนจะถูกชั่ง โดยตาชั่ง ใน Thermo balance และเก็บไว้ในคอมพิวเตอร์
- 6) ปิดเตาเผา (Furnace) ที่ใส่สารตัวอย่างไว้ในบรรยากาศก๊าซ ไนโตรเจน 10-15 นาที ก่อนเริ่มการทดลอง

3.3.2 ทดสอบสมบัติการทนแรงดึง (Tensile Strength)

ในการทดสอบนี้เป็นการหาค่าการทนต่อแรงดึงของชิ้นงานเพื่อทำการทดสอบหาความสามารถในการทนแรงดึงของพลาสติกด้วยวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D638 ในการทดสอบนี้จะบอกถึงค่าการทนต่อแรงดึงของชิ้นงาน ในการทดสอบชิ้นงานที่ใช้ในจะต้องมีขนาดของชิ้นงานตามรูปที่ 3.2



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.3 (ก) เครื่องทดสอบสมบัติการทนแรงดึง (Tensile Strength)

(ข) ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบการทนแรงดึง (หน่วย มิลลิเมตร)

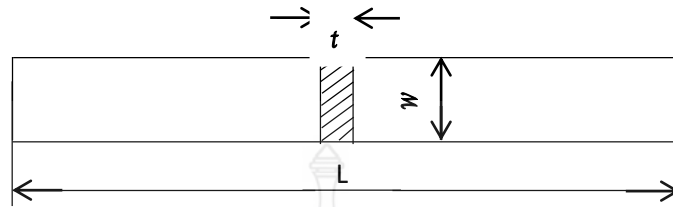
3.3.3 การทดสอบแรงดัดโค้ง (Bend Test) ตามมาตรฐาน D 790

วิธีการทดสอบ

- 1) เตรียมชิ้นงานทดสอบขนาด หน้า 3 mm ยาว 129 mm กว้าง 12.7 mm ดังแสดงในรูปที่ 3.15 และ 3.16
- 2) นำชิ้นงานวางบนแท่นทดสอบของเครื่อง universal testing machine
- 3) ป้อนคำสั่งให้แม่พิมพ์กดลงมาด้วยอัตราคงที่ 100 mm/min มายัง

ชิ้นงานทดสอบ

- 4) ทำการทดสอบ 3 – 5 ชั้น บันทึกผลการทดสอบ
- 5) วิเคราะห์ผลการทดสอบ



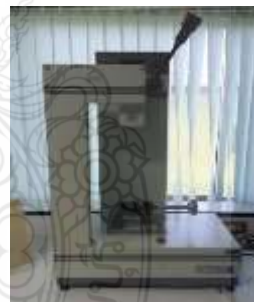
รูปที่ 3.4 ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบการโค้งงอ

3.2.4 การทดสอบการทนต่อแรงกระแทกตามมาตรฐาน ASTM D 256

ทดสอบความสามารถของแผ่นอัดที่ทำการผสมกับเส้นใยพืช ด้วยวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D2240 Shore D ชิ้นงานที่นำมาทดสอบจะต้องมีความหนา 6 มิลลิเมตร และผิวเรียบวิธีทดสอบกดหัวเข็มลงบนชิ้นงานจนหัวเข็มถึงจุดหยุดทำการจับเวลาประมาณ 10 วินาที แล้วอ่านค่าจากหน้าปัดจะไม่มีหน่วยสำหรับหัวกดแบบ Shore D จะใช้กับวัสดุที่ค่อนข้างแข็ง



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.5 (ก) เครื่องบากชิ้นงาน (ข) เครื่องทดสอบแรงกระแทกแบบ Izod

ค่าความแข็งแรงแรงกระแทกสามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{Impact strength} = W/A \quad (3.1)$$

เมื่อ W คือ ค่าพลังงานกระแทก (kJ)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่าง (m^2)

3.3.4 ทดสอบสมบัติทางกายภาพ (Scanning Electron Microscopy, SEM)

ทดสอบสัณฐานวิทยา ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เพื่อดูพื้นผิวของ

แผ่นอัดที่ทำการผสมกับเส้นใยเพ็ก โดยคุณลักษณะการแตกหักของของวัสดุซึ่งรอยแตกอาจจะเป็นตัวบอกว่าชิ้นงานของเรามีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้นหรือไม่ และยังสามารถบอกได้ว่าชิ้นงานของเรามีลักษณะเหนียวหรือเปราะ



รูปที่ 3.6 เครื่องทดสอบสมบัติทางกายภาพ Scanning Electron Microscopy, (SEM)

3.3.5 ทดสอบหมู่ฟังก์ชันเคมี Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FT-IR Spectroscopy)

ตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันเคมีด้วยเครื่อง FT-IR Spectroscopy ทดสอบเส้นใยเพ็กที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิวและเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงผิว ในช่วงความยาวคลื่น (wave number) โดยทำการวิเคราะห์ในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง $4,000-400\text{ cm}^{-1}$



รูปที่ 3.7 เครื่องทดสอบตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันเคมี Fourier Transform Infrared Spectrophotometer

ตารางที่ 3.1 ตารางการดำเนินงาน

การดำเนินงานวิจัย	ระยะเวลา (เดือนสิงหาคม 58-เดือนเมษายน 61)											
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
1.การเตรียมวัสดุ / สารเคมี / อุปกรณ์ ที่ใช้ในงานวิจัยและค้นคว้างานวิจัยที่ เกี่ยวข้อง												
2.วางแผนขั้นตอนการดำเนินงาน												
3.เตรียมวัสดุคอมพิวเตอร์ด้วยเครื่อง ผสมสองลูกกลิ้ง												
4.เตรียมชิ้นงานทดสอบด้วยเครื่อง ผสมสองลูกกลิ้งเพื่อขึ้นรูป, ทำการ ทดสอบวัสดุคอมพิวเตอร์ด้วยวิธีต่างๆ												
5.วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลการวิจัย												
6.รายงานความก้าวหน้า												
7.เสนอผลงานวิชาการ												
8. สรุปผลและเขียนรายงาน ผลการวิจัย												

Act Plan

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน และการวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการดำเนินงานการเตรียมวัสดุผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับขนสัตว์ (ขนเป็ด,ขนไก่,ขนสุนัข) อัตราส่วนที่แตกต่างกันโดยใช้เครื่องผสมสองลูกกลิ้ง (Two Roll Mill) ในการผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับขนสัตว์ (ขนเป็ด,ขนไก่,ขนสุนัข) โดยทำการขึ้นรูปเป็นชิ้นงานทดสอบด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อน (Compression molding) เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบสมบัติของวัสดุผสม ซึ่งประกอบด้วย การทดสอบสมบัติทางกายภาพ การทดสอบสมบัติทางความร้อน การทดสอบสมบัติทางเคมี และการทดสอบสมบัติเชิงกล ได้แก่ การทดสอบการทนต่อแรงดึง (Tensile Test) การทดสอบแรงดัดโค้ง (Bending Test) การทดสอบแรงกระแทก (Impact Test) และตรวจสอบสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) ได้ผลการวิจัยดังต่อไปนี้

4.1 สมบัติของขนสัตว์

4.1.1 สมบัติทางกายภาพ

ลักษณะทางกายภาพโดยทั่วไปของขนสัตว์ทั้ง 3 ชนิด (ขนเป็ด,ขนไก่,ขนสุนัข) ที่มองเห็นและทำการศึกษาเบื้องต้น เพื่อการขึ้นรูปที่เหมาะสมและลักษณะที่อาจบ่งบอกถึงความสามารถในการเป็นเส้นใยที่เสริมแรงในเมทริกซ์ที่ดีขึ้นหรือไม่ ซึ่งส่งผลการขึ้นรูปและทดสอบสมบัติต่อไป จะเห็นลักษณะทางกายภาพของขนสัตว์ทั้ง 3 ชนิด (ขนเป็ด,ขนไก่,ขนสุนัข) จากรูปที่ 4.1 แสดงลักษณะทางกายภาพของขนสัตว์ทั้ง 3 ชนิด (ขนเป็ด,ขนไก่,ขนสุนัข) ก่อนการขึ้นรูป



รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะทางกายภาพของขนสัตว์ทั้ง 3 ชนิด (ขนเป็ด,ขนไก่,ขนสุนัข) ก่อนการขึ้นรูป

4.1.2 สมบัติทางความร้อน

เพื่อหาสถานะในการขึ้นรูปที่เหมาะสม ที่จะไม่เกิดการสลายตัวของขนสัตว์ระหว่าง การขึ้นรูปขนสัตว์ทั้ง 3 ชนิด (ขนเปิด,ขนไก่อ,ขนสุนัข) ถูกนำมาทดสอบอุณหภูมิการสลายตัวด้วย เครื่อง TGA จากตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของขนสัตว์ทั้ง 3 ชนิด (ขนเปิด,ขน ไก่อ,ขนสุนัข) ซึ่งจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิการสลายตัวของขนสัตว์ทั้ง 3 ชนิด (ขนเปิด,ขนไก่อ,ขนสุนัข) ใกล้เคียงกัน ที่ 237.57, 236.68 และ 232.63 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สามารถขึ้นรูปได้อย่างเหมาะสม ที่ 170 องศาเซลเซียส ไม่มีการสลายตัวในขณะที่ทำการขึ้นรูปแต่อย่างใด

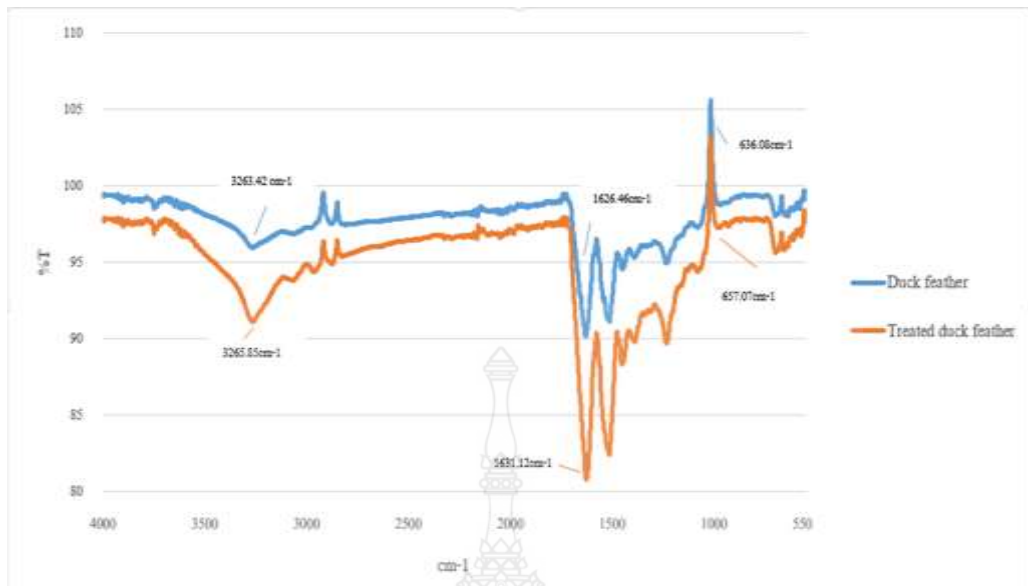
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของขนสัตว์ทั้ง 3 ชนิด (ขนเปิด,ขนไก่อ,ขนสุนัข)

ตัวอย่าง	อุณหภูมิการสลายตัว (องศาเซลเซียส)	% สูญเสียน้ำหนัก
ขนเปิด	237.57	86.477
ขนไก่อ	236.68	86.449
ขนสุนัข	232.63	88.327

4.1.3 สมบัติทางเคมี

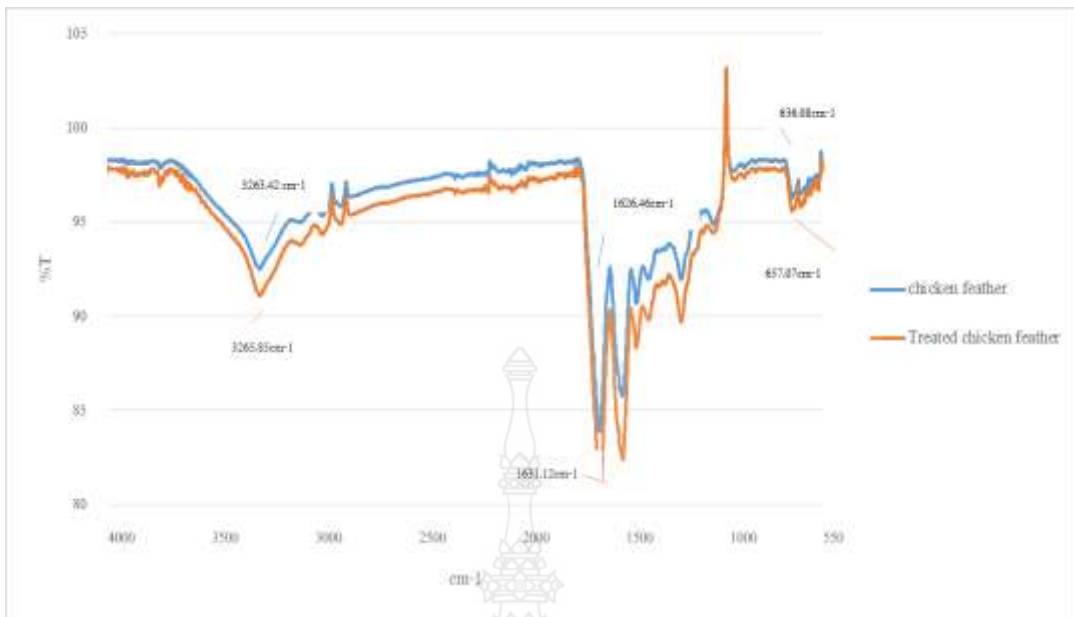
ตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันเคมีด้วยเครื่อง FT-IR spectrophotometer ทดสอบขนสัตว์ทั้ง 3 ชนิด (ขนเปิด,ขนไก่อ,ขนสุนัข) ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิวและขนสัตว์ทั้ง 3 ชนิด (ขนเปิด,ขนไก่อ,ขน สุนัข) ที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยวิธี Alkalization ในช่วงความยาวคลื่น (Wave Number) โดยทำการ วิเคราะห์ในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง $4,000-400\text{ cm}^{-1}$

พบว่าขนเปิดก่อนและหลังการปรับปรุงผิวด้วยวิธี Alkalization พบว่า ก่อนการปรับ สภาพผิวขนเปิดมีพีคที่สำคัญคือ $3,263.42\text{ cm}^{-1}$ สำหรับ (กลุ่ม เอ ไมด์), $1,631.12\text{ cm}^{-1}$ สำหรับ (เครา ดิน)และ $636.\text{ cm}^{-1}$ สำหรับ (เคราติน) และเมื่อปรับสภาพผิวขนเปิดแล้วมีพีคที่สำคัญคือ $3,265.85\text{ cm}^{-1}$ สำหรับ (กลุ่ม เอ ไมด์), 1626.46 cm^{-1} สำหรับ (เคราติน)และ 657.07 cm^{-1} สำหรับ (เคราติน) มีการเลื่อน ของพีคเกิดขึ้นเนื่องมาจากมีปรับสภาพผิว ดังรูปที่ 4.2 แสดงสเปกตรัมของ FTIR ของขนเปิดก่อนและ หลังการปรับปรุงผิวด้วยวิธี Alkalization [19]



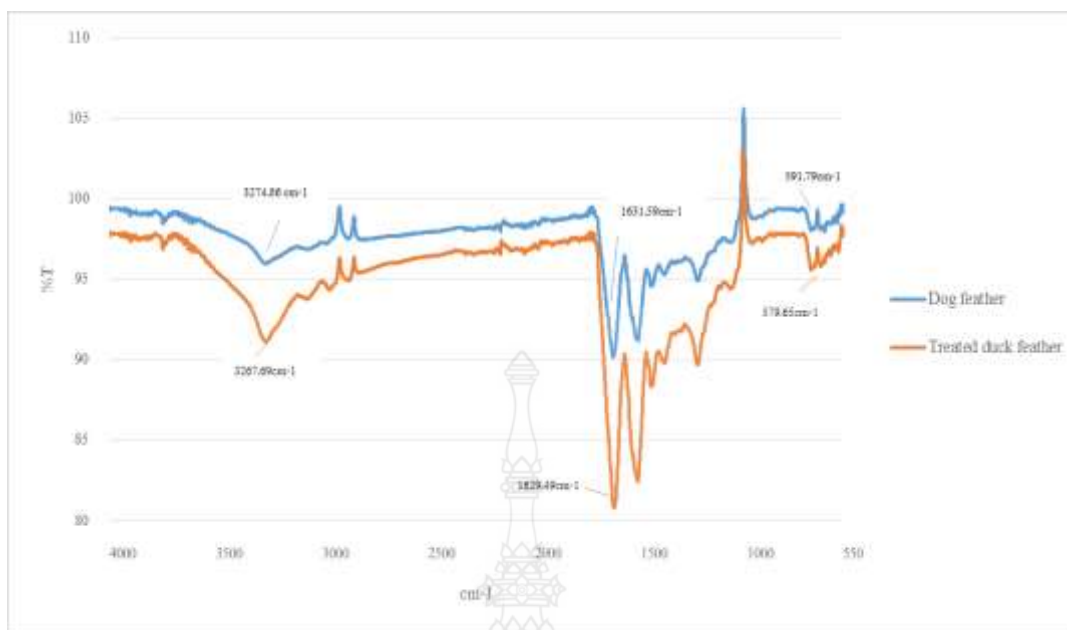
รูปที่ 4.2 สเปกตรัมของ FT-IR spectrophotometer ของขนเป็ดก่อนและหลังการปรับปรุงผิวด้วยวิธี Alkalization

พบว่าขนไก่ก่อนและหลังการปรับปรุงผิวด้วยวิธี Alkalization พบว่า ก่อนการปรับสภาพผิวขนไก่มิพิกที่สำคัญคือ $3,263.42\text{ cm}^{-1}$ สำหรับ (กลุ่ม เอไมด์), $1,631.12\text{ cm}^{-1}$ สำหรับ (เคราติน) และ 636.08 cm^{-1} สำหรับ(เคราติน) และเมื่อปรับสภาพผิวขนไก่แล้วมีพิกที่สำคัญคือ $3,265.85\text{ cm}^{-1}$ สำหรับ (กลุ่ม เอไมด์), $1,626.46\text{ cm}^{-1}$ สำหรับ (เคราติน) และ 657.07 cm^{-1} สำหรับ (เคราติน) มีการเลื่อนของพิกเกิดขึ้นเนื่องมาจากมีปรับสภาพผิวของขนไก่ ดังรูปที่ 4.3 แสดง สเปกตรัมของ FTIR ของขนไก่ก่อนและหลังการปรับปรุงผิวด้วยวิธี Alkalization [19]



รูปที่ 4.3 สเปกตรัมของ FT-IR spectrophotometer ของขนไก่ก่อนและหลังการปรับปรุงผิวด้วยวิธี Alkalization

พบว่าขนสุนัขก่อนและหลังการปรับปรุงผิวด้วยวิธี Alkalization พบว่า ก่อนการปรับสภาพผิวขนสุนัขมีพีคที่สำคัญคือ $3,263.42 \text{ cm}^{-1}$ สำหรับ (กลุ่ม เอไมด์), $1,631.12 \text{ cm}^{-1}$ สำหรับ (เคราติน) และ 636.08 cm^{-1} สำหรับ (เคราติน) และเมื่อปรับสภาพผิวขนสุนัขแล้วมีพีคที่ $3,265.85 \text{ cm}^{-1}$ สำหรับ (กลุ่ม เอไมด์), $1,626.46 \text{ cm}^{-1}$ สำหรับ (เคราติน) และ 657.07 cm^{-1} สำหรับ (เคราติน) มีการเลื่อนของพีคเกิดขึ้นเนื่องมาจากมีปรับสภาพผิวของขนสุนัข ดังรูปที่ 4.4 แสดง สเปกตรัมของ FTIR ของขนสุนัขก่อนและหลังการปรับปรุงผิวด้วยวิธี Alkalization [19]



รูปที่ 4.4 สเปกตรัมของ FT-IR spectrophotometer ของขนเป็ดก่อนและหลังการปรับปรุงผิวด้วยวิธี Alkalization

ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยพบว่าการทำ Alkalization ทำให้บางพีคเพิ่มขึ้นหลังจากการปรับสภาพผิวนั้นมีพีคเพิ่มขึ้นเล็กน้อย จากงานวิจัยศึกษา FTIR ขนไก่ พีค 1800 cm^{-1} - 1500 cm^{-1} และ 1100 cm^{-1} - 450 cm^{-1} เป็นพีคของเคราติน [19]

4.2 สมบัติเชิงกลของวัสดุผสมพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขนสัตว์ตามอัตราส่วนต่างๆ

4.2.1 ผลการทดสอบการทนต่อแรงดึง (Tensile Testing)

จากการทดสอบโดยการนำชิ้นงานไปทำการทดสอบการทนต่อแรงดึง (Tensile Testing) จะทำให้ได้ค่าการทดสอบความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength) ค่ายังมอดูลัส (Tensile Modulus) และ ค่าร้อยละการยืดของชิ้นทดสอบที่จุดขาด (Elongation at Break)

4.2.1.1 วัสดุผสมพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขนเป็ด (PP/DF) ตามอัตราส่วนต่างๆ

จากตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่า ผลจากการทดสอบการทนต่อแรงดึง จากอัตราส่วนผสมที่ทำการศึกษาของ PP/DF 100:0, 98:2, 96:4, 94:6, 92:8 และ 90:10 wt% ผลจากการศึกษาผลของ ความทนต่อแรงดึง โดยพอลิโพรพิลีนมีความทนต่อแรงดึง 29.41 MPa มีค่ายังมอดูลัส 1,473 MPa ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดมีค่าอยู่ที่ 10.03 แต่เมื่อมีการเติมขนเป็ดที่อัตราส่วนต่างๆ ที่

อัตราส่วน PP/DF2 มีความทนต่อแรงดึงมากที่สุด 28.07 MPa และค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดมีค่าอยู่ที่ 5.52 มีสูงที่สุดด้วยเช่นกัน แต่มีค้ำยังมอดูลัส 1,372 MPa

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบแรงดึงวัสดุผสมพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขนเป็ด ตามอัตราส่วนต่างๆ

ตัวอย่าง	อัตราส่วน	Tensile Strength (MPa)	Young's Modulus (MPa)	% Elongation at break
PP/DF0	100:0	29.41±0.3	1473±58.6	10.03±1.2
PP/DF2	98:2	28.07±1.6	1372±67.4	5.52±1.7
PP/DF4	96:4	23.31±1.7	1410±60.2	4.11±0.7
PP/DF6	94:6	22.86±1.6	1499±103.3	3.85±0.6
PP/DF8	92:8	22.46±1.5	1489±133.2	3.93±0.4
PP/DF10	90:10	22.67±0.4	1634±116.1	4.21±0.3

4.2.1.2 วัสดุผสมพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขนไก่ (PP/CF) ตามอัตราส่วนต่างๆ

จากตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่า ผลจากการทดสอบการทนต่อแรงดึง จากอัตราส่วนผสมที่ทำการศึกษาของ PP/DF 100:0, 98:2, 96:4, 94:6, 92:8 และ 90:10 wt% ผลจากการศึกษาผลของความทนต่อแรงดึง โดยพอลิโพรพิลีนมีความทนต่อแรงดึง 29.41 MPa มีค้ำยังมอดูลัส 1,473 MPa ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดมีค่าอยู่ที่ 10.03 แต่เมื่อมีการเติมขนไก่ที่อัตราส่วนต่างๆ โดย ที่อัตราส่วน PP/CF2 มีความทนต่อแรงดึงมากที่สุด 26.41 MPa และมีค้ำยังมอดูลัส 1,586 MPa สูงที่สุดด้วยเช่นกัน แต่ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดมีค่าอยู่ที่ 4.53

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบแรงดึงวัสดุผสมพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขุ่นไม้ตามอัตราส่วนต่างๆ

ตัวอย่าง	อัตราส่วน	Tensile Strength (MPa)	Young's Modulus (MPa)	% Elongation at break
PP/CF0	100:0	29.41±0.3	1473±58.6	10.03±1.2
PP/CF2	98:2	26.41±1.5	1586±92.2	4.53±1.1
PP/CF4	96:4	23.81±1.2	1353±100.3	4.29±0.7
PP/CF6	94:6	23.07±1.9	1393±103.1	3.85±0.6
PP/CF8	92:8	22.89±1.4	1341±54.5	3.52±0.4
PP/CF10	90:10	21.9±1.3	1433±111	3.39±0.6

4.2.1.3 วัสดุผสมพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขุ่นสนุ่น (PP/DH) ตามอัตราส่วนต่างๆ

จากตารางที่ 4.4 จะเห็นได้ว่า ผลจากการทดสอบการทนต่อแรงดึง จากอัตราส่วนผสมที่ทำการศึกษาของ PP/DF 100:0, 98:2, 96:4, 94:6, 92:8 และ 90:10 wt% ผลจากการศึกษาผลของความทนต่อแรงดึง โดยพอลิโพรพิลีนมีความทนต่อแรงดึง 29.41 MPa มีค่ายังมอดูลัส 1,473 MPa ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดมีค่าอยู่ที่ 10.03 แต่เมื่อมีการเติมขุ่นสนุ่นที่อัตราส่วนต่างๆ โดยที่อัตราส่วน PP/ DH 4 มีความทนต่อแรงดึงมากที่สุด 24.79 MPa และมีค่ายังมอดูลัส 1,625 MPa สูงที่สุดด้วยเช่นกัน แต่ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดมีค่าอยู่ที่ 2.79

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบแรงดึงวัสดุผสมพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขนสุนัข ตามอัตราส่วนต่างๆ

ตัวอย่าง	อัตราส่วน	Tensile Strength (MPa)	Young's Modulus (MPa)	% Elongation at break
PP/DH0	100:0	29.41±0.3	1473±58.6	10.03±1.2
PP/ DH 2	98:2	24.36±1.8	1594±171.4	2.46±0.3
PP/ DH 4	96:4	24.79±1.8	1625±162.9	2.79±0.6
PP/ DH 6	94:6	22.69±1.6	1892±127.6	1.91±0.3
PP/ DH 8	92:8	17.61±1.3	1936±96.9	1.08±0.2
PP/ DH 10	90:10	16.1±2.1	1975±125.1	1.22±0.2

จากการศึกษานี้มีส่วนคล้ายกับงานวิจัยของ (Justin R. Barone และคณะ, 2004) ได้ทำการศึกษาพอลิเอทิลีนคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยเคราตินจากขนไก่ในพอลิเอทิลีน พบว่ายิ่งเพิ่มสัดส่วนในการผสมที่มากขึ้น จะมีสมบัติความต้านทานแรงดึงลดลง เนื่องจากลักษณะรูปร่างของวัสดุที่นำมาเติมมีปริมาตร และขนาดต่างกัน ในอัตราส่วน 2 wt% ของขนเป็ดและขนไก่มีการกระจายตัวที่ดี แต่ขนสุนัขในอัตราส่วน 4 wt% มีการกระจายตัวที่ดี เมื่อเทียบกับปริมาณขนสัตว์ทุกชนิดที่อัตราส่วน 10% จากกราฟจะเห็นได้ว่าค่าการทนต่อแรงดึงในอัตราส่วนที่มีการผสมขนเป็ดในทุกๆ อัตราส่วนลดลงเป็นอย่างมาก ซึ่งอาจเกิดจากการตัดแปรทางความร้อนที่ทำให้เกิดการกำจัดบางส่วนของเคราตินในเส้นใยขนสัตว์ทำให้สูญเสียความยืดหยุ่น และส่งผลต่อการยึดติดกันระหว่างขนสัตว์กับเมทริกซ์พอลิโพรพิลีน และด้วยขนสัตว์ที่มีขนาดที่อิสระไม่มีความสม่ำเสมอ จึงส่งผลต่อผลการทดสอบที่อาจมีการคาดเคลื่อนเล็กน้อย

4.2.2 ผลการทดสอบการทนต่อการโค้งงอ (Flexural Strength)

จากการทดสอบโดยการนำชิ้นงานไปทำการทดสอบการทนต่อการโค้งงอ (Flexural Strength) จะทำให้ได้ค่าการทดสอบค่าการโค้งงอ (Flexural Strength) และค่ายังมอดูลัส (Flexural Modulus)

4.2.2.1 วัสดุผสมพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขนเป็ด (PP/DF) ตามอัตราส่วนต่างๆ

จากตารางที่ 4.5 จะเห็นได้ว่า ผลจากการทดสอบการทนต่อการโค้งงอ จากอัตราส่วนผสมที่ทำการศึกษาของ PP/DF 100:0, 98:2, 96:4, 94:6, 92:8 และ 90:10 wt% ผลจาก

การศึกษาผลของความทนต่อการโค้งงอ โดยพอลิโพรพิลีนมีความทนต่อการโค้งงอ 47.49 MPa มีค่ามอดูลัสคดงอ 1,233 MPa แต่เมื่อมีการเติมขนเป็ดที่อัตราส่วนต่างๆ ที่อัตราส่วน PP/DF2 มีความทนต่อการโค้งงอ 45.82 MPa สูงที่สุด แต่มีค่ามอดูลัสคดงอ 1,377 MPa

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบการทนต่อการโค้งงอ (Flexural Strength) วัสดุผสมพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขนเป็ด ตามอัตราส่วนต่างๆ

ตัวอย่าง	อัตราส่วน	Flexural Strength	Flexural Modulus
		(MPa)	(MPa)
PP/DF0	100:0	47.49±2.1	1233±108.2
PP/DF2	98:2	45.82±2.2	1377±145.4
PP/DF4	96:4	40.52±2.0	1099±105.8
PP/DF6	94:6	33.72±1.2	1007±98.2
PP/DF8	92:8	37.56±0.8	1030±74.2
PP/DF10	90:10	29.81±2.3	823±52.4

4.2.2.2 วัสดุผสมพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขนไก่ (PP/CF) ตามอัตราส่วนต่างๆ

จากตารางที่ 4.6 จะเห็นได้ว่า ผลจากการทดสอบการทนต่อการโค้งงอ จากอัตราส่วนผสมที่ทำการศึกษาของ PP/DF 100:0, 98:2, 96:4, 94:6, 92:8 และ 90:10 wt% ผลจากการศึกษาผลของความทนต่อการโค้งงอ โดยพอลิโพรพิลีนมีความทนต่อการโค้งงอ 47.49 MPa มีค่ามอดูลัสคดงอ 1,233 MPa แต่เมื่อมีการเติมขนไก่ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่อัตราส่วน PP/CF4 มีความทนต่อการโค้งงอ 41.07 MPa สูงที่สุด แต่มีค่ามอดูลัสคดงอ 1,127 MPa

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบการทนต่อการโค้งงอ (Flexural Strength) วัสดุผสมพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขี้เถ้า ตามอัตราส่วนต่างๆ

ตัวอย่าง	อัตราส่วน	Flexural Strength (MPa)	Flexural Modulus (MPa)
PP/CF0	100:0	47.49±2.1	1233±108.2
PP/CF2	98:2	33.97±1.6	821±38.0
PP/CF4	96:4	41.07±1.9	1127±86.8
PP/CF6	94:6	34.33±2.2	1034±88.3
PP/CF8	92:8	40.46±1.5	1237±188.3
PP/CF10	90:10	38.08±1.9	1344±135.9

4.2.2.3 วัสดุผสมพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขี้เถ้า (PP/DH) ตามอัตราส่วนต่างๆ

จากตารางที่ 4.7 จะเห็นได้ว่า ผลจากการทดสอบการทนต่อการโค้งงอ จากอัตราส่วนผสมที่ทำการศึกษาของ PP/DH 100:0, 98:2, 96:4, 94:6, 92:8 และ 90:10 wt% ผลจากการศึกษาผลของความทนต่อการโค้งงอ โดยพอลิโพรพิลีนมีความทนต่อการโค้งงอ 40.46 MPa มีค่ามอดูลัสค้ำคอง 1,233 MPa แต่เมื่อมีการเติมขี้เถ้าที่อัตราส่วนต่างๆ ที่อัตราส่วน PP/DH 2 มีความทนต่อการโค้งงอ 44.84 MPa สูงที่สุด แต่มีค่ามอดูลัสค้ำคอง 1,299 MPa

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบการทนต่อการโค้งงอ (Flexural Strength) วัสดุผสมพอลิโพรพิลีน เสริมแรงด้วยขนสุนัขตามอัตราส่วนต่างๆ

ตัวอย่าง	อัตราส่วน	Flexural Strength (MPa)	Flexural Modulus (MPa)
PP/DH0	100:0	40.46±1.5	1233±108.8
PP/ DH 2	98:2	44.84±1.6	1299±147.6
PP/ DH 4	96:4	35.40±1.7	1258±161.7
PP/ DH 6	94:6	32.78±2.2	1626±91.7
PP/ DH 8	92:8	37.78±2.7	1090±181.7
PP/ DH 10	90:10	22.83±2.9	1749±153.8

จากการศึกษาข้างต้นพบว่าเมื่อมีการเติมขนสัตว์ลงไปสมบัติการทนต่อแรงดึงลดลงจากพอลิโพรพิลีนที่ไม่มีการเติมขนสัตว์ลงไป เนื่องจากการเติมขนสัตว์ปริมาณที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เกิดช่องว่างเพิ่มขึ้นระหว่างขนสัตว์และเมทริกซ์เพิ่มมากขึ้น สมบัติการทนต่อแรงดึงจึงลดลงเช่นเดียวกับสมบัติการทนต่อการโค้งงอ

4.2.3 ผลการทดสอบแรงกระแทก (Impact Strength)

4.2.3.1 วัสดุผสมพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขนเป็ด (PP/DF) ตามอัตราส่วนต่างๆ

จากตารางที่ 4.8 จะเห็นได้ว่า ผลจากการทดสอบการทนต่อแรงกระแทก จากอัตราส่วนผสมที่ทำการศึกษาของ PP/DF 100:0, 98:2, 96:4, 94:6, 92:8 และ 90:10 wt% ผลจากการศึกษาผลของความทนต่อการโค้งงอ โดยพอลิโพรพิลีนมีความทนต่อแรงกระแทก 31.86 J/m แต่เมื่อมีการเติมขนเป็ดที่อัตราส่วนต่างๆ ที่อัตราส่วน PP/DF8 มีความทนต่อแรงกระแทก 32.59 J/m สูงที่สุด

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบการทนแรงกระแทก วัสดุผสมพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขุ่นเป็ด ตามอัตราส่วนต่างๆ

ตัวอย่าง	อัตราส่วน	Impact strength (J/m)
PP/DF0	100:0	31.86±2.3
PP/DF2	98:2	17.76±0.9
PP/DF4	96:4	24.01±1.3
PP/DF6	94:6	18.45±2.9
PP/DF8	92:8	32.59±1.5
PP/DF10	90:10	24.71±2.4

4.2.3.1 วัสดุผสมพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขุ่นไก่ (PP/CF) ตามอัตราส่วนต่างๆ

จากตารางที่ 4.9 จะเห็นได้ว่า ผลจากการทดสอบการทนต่อแรงกระแทก จากอัตราส่วนผสมที่ทำการศึกษาของ PP/CF 100:0, 98:2, 96:4, 94:6, 92:8 และ 90:10 wt% ผลจากการศึกษาผลของความทนต่อการโค้งงอ โดยพอลิโพรพิลีนมีความทนต่อแรงกระแทก 31.86 J/m แต่เมื่อมีการเติมขุ่นไก่ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่อัตราส่วน PP/CF8 มีความทนต่อแรงกระแทก 21.6 J/m สูงที่สุด

ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบการทนแรงกระแทกวัสดุผสมพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขุ่นไก่ ตามอัตราส่วนต่างๆ

ตัวอย่าง	อัตราส่วน	Impact strength (J/m)
PP/CF0	100:0	31.86±2.3
PP/CF2	98:2	21.35±0.4
PP/CF4	96:4	21.40±0.8
PP/CF6	94:6	17.36±2.0
PP/CF8	92:8	21.60±1.5
PP/CF10	90:10	20.78±2.2

4.2.3.1 วัสดุผสมพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขนสุนัข (PP/DH) ตามอัตราส่วนต่างๆ

จากตารางที่ 4.10 จะเห็นได้ว่า ผลจากการทดสอบการทนต่อแรงกระแทก จากอัตราส่วนผสมที่ทำการศึกษาของ PP/DH 100:0, 98:2, 96:4, 94:6, 92:8 และ 90:10 wt% ผลจากการศึกษาผลของความทนต่อการโค้งงอ โดยพอลิโพรพิลีนมีความทนต่อแรงกระแทก 31.86 J/m แต่เมื่อมีการเติมขนสุนัขที่อัตราส่วนต่างๆ ที่อัตราส่วน PP/ DH 8 มีความทนต่อแรงกระแทก 24.14 J/m สูงที่สุด

ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบการทนแรงกระแทกวัสดุผสมพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขนสุนัข ตามอัตราส่วนต่างๆ

ตัวอย่าง	อัตราส่วน	Impact strength (J/m)
PP/DH0	100:0	31.86±2.3
PP/ DH 2	98:2	23.09±1.5
PP/ DH 4	96:4	18.10±2.9
PP/ DH 6	94:6	18.74±1.8
PP/ DH 8	92:8	24.14±2.5
PP/ DH 10	90:10	17.57±1.6

จากการศึกษาข้างต้นที่ค่า Impact Strength มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณขนสัตว์ที่เพิ่ม อาจเกิดจากขนสัตว์มีการกระจายตัวตรงข้ามกับแนวรับแรงกระแทกจึงทำให้รับแรงกระแทกได้ดีขึ้น ซึ่งเติมขนสัตว์ได้สูงสุดถึง 8wt% ดังรูปที่ 4.7

4.3 สมบัติเชิงกลเปรียบเทียบวัสดุผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับขนสัตว์แต่ละชนิดที่ไม่ผ่านการปรับสภาพผิวและปรับสภาพผิวขนสัตว์ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

4.3.1 ผลการทดสอบการทนต่อแรงดึง (Tensile Testing)

จากการทดสอบโดยการนำชิ้นงานไปทำการทดสอบการทนต่อแรงดึง (Tensile Testing) จะทำให้ได้ค่าการทดสอบความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength) ค่ายังมอดูลัส (Tensile Modulus) และ ค่าร้อยละการยืดของชิ้นทดสอบที่จุดขาด (Elongation at Break)

4.3.1.1 วัสดุผสมพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขนเป็ด (PP/DF) ไม่ผ่านการปรับสภาพผิวและปรับสภาพผิวขนสัตว์ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

จากตารางที่ 4.11 จะเห็นได้ว่า ผลจากการทดสอบการทนต่อแรงดึง จากการเปรียบเทียบวัสดุผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับขนเป็ดที่ไม่ผ่านการปรับสภาพผิวและปรับสภาพผิวขนเป็ดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ผลจากการศึกษาผลของความทนต่อแรงดึง โดยพอลิโพรพิลีนมีความทนต่อแรงดึง 29.41 MPa มีค้ำยังมอดูลัส 1,473 MPa ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดมีค่าอยู่ที่ 10.03 แต่เมื่อมีการเติมขนเป็ดที่อัตราส่วนต่างๆ ที่อัตราส่วน PP/ DF 4 (Treatment) มีความทนต่อแรงดึงมากที่สุด 23.89 MPa และมีค้ำยังมอดูลัส 2,033 MPa สูงที่สุดด้วยเช่นกัน แต่ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดมีค่าอยู่ที่ 2.92

ตารางที่ 4.11 ผลการทดสอบแรงดึงวัสดุผสมพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขนเป็ดที่ไม่ผ่านการปรับสภาพผิวและปรับสภาพผิวขนเป็ดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

ตัวอย่าง	Tensile Strength (MPa)	Young's Modulus (MPa)	% Elongation at break
PP/DF0	29.41±0.3	1,473±58.6	10.03±1.2
PP/ DF4 (Non-Treatment)	23.31±1.7	1,410±60.2	4.11±0.7
PP/ DF 4 (Treatment)	23.89±4.5	2,033±168.0	2.92±0.9

4.4.1.2 วัสดุผสมพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขนไก่ (PP/CF) ไม่ผ่านการปรับสภาพผิวและปรับสภาพผิวขนไก่ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

จากตารางที่ 4.12 จะเห็นได้ว่า ผลจากการทดสอบการทนต่อแรงดึง จากการเปรียบเทียบวัสดุผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับขนไก่ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพผิวและปรับสภาพผิวขนไก่ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ผลจากการศึกษาผลของความทนต่อแรงดึง โดยพอลิโพรพิลีนมีความทนต่อแรงดึง 29.41 MPa มีค้ำยังมอดูลัส 1,473 MPa ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดมีค่าอยู่ที่ 10.03 แต่เมื่อมีการเติมขนไก่ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่อัตราส่วน PP/ CF 4 (Treatment) มีความทนต่อแรงดึงมาก

ที่สุด 23.67 MPa และมีค้ำยังมอดูลัส 1,892 MPa สูงที่สุดด้วยเช่นกัน แต่ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดมีค่าอยู่ที่ 2.22

ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบแรงดึงวัสดุผสมพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขนไก่ ไม่ผ่านการปรับสภาพผิวและปรับสภาพผิวขนไก่ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

ตัวอย่าง	Tensile strength (MPa)	Young's modulus (MPa)	% Elongation at break
PP/CF0	29.41±0.3	1,473±58.6	10.03±1.2
PP/ CF4 (Non-treatment)	23.11±1.6	1,353±100.3	4.29±0.7
PP/ CF 4 (Treatment)	23.67±3.2	1,892±176.7	2.22±0.4

4.4.1.2 วัสดุผสมพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขนสุนัข (PP/DH) ไม่ผ่านการปรับสภาพผิวและปรับสภาพผิวขนสุนัขด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

จากตารางที่ 4.13 จะเห็นได้ว่า ผลจากการทดสอบการทนต่อแรงดึง จากการเปรียบเทียบวัสดุผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับขนสุนัขที่ไม่ผ่านการปรับสภาพผิวและปรับสภาพผิวขนสุนัขด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ผลจากการศึกษาผลของความทนต่อแรงดึง โดยพอลิโพรพิลีนมีความทนต่อแรงดึง 29.41 MPa มีค้ำยังมอดูลัส 1,473 MPa ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดมีค่าอยู่ที่ 10.03 แต่เมื่อมีการเติมขนสุนัขที่อัตราส่วนต่างๆ ที่อัตราส่วน PP/ DH 4 (Treatment) มีความทนต่อแรงดึงมากที่สุด 25.49 MPa และมีค้ำยังมอดูลัส 2,271 MPa สูงที่สุดด้วยเช่นกัน แต่ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดมีค่าอยู่ที่ 2.79

ตารางที่ 4.13 ผลการทดสอบแรงดึงวัสดุผสมพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขนสุนัขไม่ผ่านการปรับสภาพผิวและปรับสภาพผิวขนสุนัขด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

ตัวอย่าง	Tensile Strength (MPa)	Young's Modulus (MPa)	% Elongation at break
PP/DH0	29.41±0.3	1,473±58.6	10.03±1.2
PP/ DH4 (Non-treatment)	24.79±1.8	1,625±162.9	2.79±0.6
PP/ DH 4 (Treatment)	25.49±2.1	2,271±159.3	2.09±0.4

จากการศึกษาข้างต้นพบว่าการปรับสภาพผิวขนสัตว์ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ส่งผลให้ค่าการทนต่อแรงดึงที่สูงขึ้น นั้นแสดงให้เห็นว่า พื้นที่ผิวของขนสัตว์มีการยึดเกาะกับเมทริกซ์ในแนวแรงดึงได้ดียิ่งขึ้น

4.2.2 ผลการทดสอบการทนต่อการโค้งงอ (Flexural strength)

จากการทดสอบโดยการนำชิ้นงานไปทำการทดสอบการทนต่อการโค้งงอ (Flexural strength) จะทำให้ได้ค่าการทดสอบค่าการโค้งงอ (Flexural strength) และค่ายังมอดูลัส (Flexural modulus)

4.2.2.1 วัสดุผสมพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขนเป็ด (PP/DF) ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพผิวและปรับสภาพผิวขนเป็ดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

จากตารางที่ 4.14 จะเห็นได้ว่า ผลจากการทดสอบการทนต่อการโค้งงอ จากการเปรียบเทียบวัสดุผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับขนเป็ดที่ไม่ผ่านการปรับสภาพผิวและปรับสภาพผิวขนเป็ดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ผลจากการศึกษาผลของความทนต่อการโค้งงอ โดยพอลิโพรพิลีนมีความทนต่อการโค้งงอ 29.41 MPa มีค่ามอดูลัสคดงอ 1,233.83 MPa แต่เมื่อมีการเติมขนเป็ดที่อัตราส่วน PP/ DF 4 (Treatment) มีความทนต่อการโค้งงอ 58.58 MPa สูงที่สุด แต่มีค่ามอดูลัสคดงอ 1,660 MPa

ตารางที่ 4.14 ผลการทดสอบการทนต่อการโค้งงอ (Flexural strength) วัสดุผสมพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขนเป็ด ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพผิวและปรับสภาพผิวขนเป็ดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

ตัวอย่าง	Flexural strength (MPa)	Flexural modulus (MPa)
PP/DF0	47.49±2.1	1,233±108.2
PP/ DF4 (Non-treatment)	35.4±1.7	1,258±161.7
PP/ DF 4 (Treatment)	58.58±3.3	1,660±261.6

4.2.2.2 วัสดุผสมพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขนไก่ (PP/CF) ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพผิวและปรับสภาพผิวขนไก่ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

จากตารางที่ 4.15 จะเห็นได้ว่า ผลจากการทดสอบการทนต่อการโค้งงอ จากการเปรียบเทียบวัสดุผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับขนไก่ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพผิวและปรับสภาพผิวขนไก่ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ผลจากการศึกษาผลของความทนต่อการโค้งงอ โดยพอลิโพรพิลีนมีความทนต่อการโค้งงอ 47.49 MPa มีค่ามอดูลัสตัดงอ 1,233 MPa แต่เมื่อมีการเติมขนไก่ที่อัตราส่วน PP/ CF 4 (Treatment) มีความทนต่อการโค้งงอ 48.42 MPa สูงที่สุด แต่มีค่ามอดูลัสตัดงอ 1,683.13 MPa

ตารางที่ 4.15 ผลการทดสอบการทนต่อการโค้งงอ (Flexural strength) วัสดุผสมพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขนไก่ ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพผิวและปรับสภาพผิวขนไก่ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

ตัวอย่าง	Flexural strength (MPa)	Flexural modulus (MPa)
PP/CF0	47.49±2.1	1,233±108.2
PP/ CF4 (Non-treatment)	41.07±1.9	1,127±86.8
PP/ CF 4 (Treatment)	48.42±4.2	1,683±261.6

4.2.2.3 วัสดุผสมพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขนสุนัข (PP/DH) ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพผิวและปรับสภาพผิวขนสุนัขด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

จากตารางที่ 4.16 จะเห็นได้ว่า จากการเปรียบเทียบวัสดุผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับขนสุนัขที่ไม่ผ่านการปรับสภาพผิวและปรับสภาพผิวขนสุนัขด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ผลจากการศึกษาผลของความทนต่อการโค้งงอ โดยพอลิโพรพิลีนมีความทนต่อการโค้งงอ 47.49 MPa มีค่ามอดูลัสคดงอ 1233 MPa แต่เมื่อมีการเติมขนสุนัขที่อัตราส่วน PP/ DH 4 (Treatment) มีความทนต่อการโค้งงอ 48.42 MPa สูงที่สุด แต่มีค่ามอดูลัสคดงอ 1,760 MPa

ตารางที่ 4.16 ผลการทดสอบการทนต่อการโค้งงอ (Flexural strength) วัสดุผสมพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขนสุนัข ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพผิวและปรับสภาพผิวขนสัตว์ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

ตัวอย่าง	Flexural strength	Flexural modulus
	(MPa)	(MPa)
PP/DH0	47.49±2.1	1,233±108.2
PP/ DH4 (Non-treatment)	35.4±1.7	1,258±161.7
PP/ DH 4 (Treatment)	48.42±4.2	1,760±210.1

จากการศึกษาข้างต้นเห็นได้ว่า เมื่อมีการปรับสภาพผิวและปรับสภาพผิวขนสัตว์ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ส่งผลให้ค่าการทนต่อการโค้งงอมีค่าที่ดีขึ้น เนื่องจากการปรับสภาพผิวขนสัตว์นั้นทำให้ขนสัตว์มีพื้นผิวที่เหมาะสมแก่การยึดเกาะมากขึ้น ส่งผลต่อการกระจายตัวในทิศทางการรับแรงดัดงอได้ดียิ่งขึ้นกว่าการไม่ปรับสภาพผิวใดๆ

4.2.3 ผลการทดสอบแรงกระแทก (Impact Strength)

4.2.3.1 วัสดุผสมพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขนเป็ด (PP/DF) ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพผิวและปรับสภาพผิวขนเป็ดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

จากตารางที่ 4.17 จะเห็นได้ว่า ผลจากการทดสอบการทนต่อแรงกระแทก จากอัตราส่วนผสมที่ทำการศึกษาของ พอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขนเป็ดที่ไม่ผ่านการปรับสภาพผิวและปรับสภาพผิวขนสัตว์ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ผลจากการศึกษาผลของความทนต่อการโค้งงอ โดยพอลิโพรพิลีนมีความทนต่อแรงกระแทก 31.86 J/m แต่เมื่อมีการเติมขนเป็ดที่ไม่ผ่านการปรับสภาพผิวและปรับสภาพผิวขนเป็ดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่อัตราส่วน PP/ DF4 (Non-treatment) มีความทนต่อแรงกระแทก 24.01 J/m สูงที่สุด

ตารางที่ 4.17 ผลการทดสอบการทนแรงกระแทกวัสดุผสมพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขนเป็ดที่ไม่ผ่านการปรับสภาพผิวและปรับสภาพผิวขนเป็ดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

ตัวอย่าง	Impact strength (J/m)
PP/DF0	31.86±2.3
PP/ DF4 (Non-treatment)	24.01±1.3
PP/ DF 4 (Treatment)	12.96±2.5

4.2.3.2 วัสดุผสมพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขนไก่ (PP/CF) ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพผิวและปรับสภาพผิวขนไก่ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

จากตารางที่ 4.18 จะเห็นได้ว่า ผลจากการทดสอบการทนต่อแรงกระแทกจากอัตราส่วนผสมที่ทำการศึกษาของพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขนไก่ไม่ผ่านการปรับสภาพผิวและปรับสภาพผิวขนไก่ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ผลจากการศึกษาผลของความทนต่อการโค้งงอ โดยพอลิโพรพิลีนมีความทนต่อแรงกระแทก 31.86 J/m แต่เมื่อมีการเติมขนไก่ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพผิวและปรับสภาพผิวขนไก่ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราส่วน PP/ CF4 (Non-treatment) มีความทนต่อแรงกระแทก 21.4 J/m สูงที่สุด

ตารางที่ 4.18 ผลการทดสอบการทนแรงกระแทกวัสดุผสมพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขนไก่ ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพผิวและปรับสภาพผิวขนไก่ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

ตัวอย่าง	Impact strength (J/m)
PP/CF0	31.86±2.3
PP/ CF4 (Non-treatment)	21.40±0.8
PP/ CF 4 (Treatment)	13.24±2.7

4.2.3.3 วัสดุผสมพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขนสุนัข (PP/DH) ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพผิวและปรับสภาพผิวขนสุนัขด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

จากตารางที่ 4.19 จะเห็นได้ว่า ผลจากการทดสอบการทนต่อแรงกระแทก จากอัตราส่วนผสมที่ทำการศึกษาของพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขนสุนัขที่ไม่ผ่านการปรับสภาพผิว และปรับสภาพผิวขนสุนัขด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ผลจากการศึกษาผลของความทนต่อการโค้งงอ โดยพอลิโพรพิลีนมีความทนต่อแรงกระแทก 31.86 J/m แต่เมื่อมีการเติมขนสุนัขที่ไม่ผ่านการปรับสภาพผิวและปรับสภาพผิวขนสัตว์ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่อัตราส่วน PP/ DH4 (Non-treatment) มีความทนต่อแรงกระแทก 18.10J/m สูงที่สุด

ตารางที่ 4.19 ผลการทดสอบการทนแรงกระแทกวัสดุผสมพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขนสุนัข ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพผิวและปรับสภาพผิวขนสัตว์ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

ตัวอย่าง	Impact strength (J/m)
PP/DH0	31.86±2.3
PP/ DH4 (Non-treatment)	18.10±2.9
PP/ DH 4 (Treatment)	17.15±1.7

จากการศึกษาข้างต้นที่ค่า Impact strength มีค่าลดลงเมื่อมีการปรับสภาพผิวขนสัตว์ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ อาจส่งผลมาจากการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอของขนสัตว์ในเนื้อเมทริกซ์ การยึดเกาะที่ดีขึ้นของขนสัตว์ไม่ได้ส่งผลดีต่อค่า Impact strength เนื่องจากขนสัตว์ไม่ได้กระจายตัวให้รับแรงในทิศทางแรงกระแทกการยึดเกาะที่ดีไม่ได้เกิดขึ้นในทิศทางการรับแรงกระแทก

4.4 สมบัติเชิงกลเปรียบเทียบวัสดุผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับขนสัตว์ที่ปรับสภาพผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ไม่เติมสารกลุ่มควบและเติมสารกลุ่มควบ MA-g-PP 1 wt%

4.4.1 ผลการทดสอบการทนต่อแรงดึง (Tensile testing)

จากการทดสอบโดยการนำชิ้นงานไปทำการทดสอบการทนต่อแรงดึง (Tensile testing) จะทำให้ได้ค่าการทดสอบความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) ค่ายังมอดูลัส (Tensile modulus) และ ค่าร้อยละการยืดของชิ้นทดสอบที่จุดขาด (Elongation at Break)

4.4.1.1 วัสดุผสมพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขนเป็ด (PP/DF) ที่ปรับสภาพผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ไม่เติมสารคู่ควบและเติมสารคู่ควบ MA-g-PP 1 wt%

จากตารางที่ 4.20 จะเห็นได้ว่า ผลจากการทดสอบการทนต่อแรงดึง จากการเปรียบเทียบวัสดุผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับขนเป็ดที่ปรับสภาพผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ไม่เติมสารคู่ควบและเติมสารคู่ควบ Ma-PP 1 wt% ผลจากการศึกษาผลของความทนต่อแรงดึง โดยพอลิโพรพิลีนมีความทนต่อแรงดึง 29.41 MPa มีค่ายังมอดูลัส 1,473 MPa ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดมีค่าอยู่ที่ 10.03 แต่เมื่อมีการเติมขนเป็ดที่อัตราส่วน PP/ DF 4(Treatment)/MA-g-PP1มีความทนต่อแรงดึงมากที่สุด 25.37 MPa และมีค่ายังมอดูลัส 2,068 MPa สูงที่สุดด้วยเช่นกัน แต่ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดมีค่าอยู่ที่ 2.36

ตารางที่ 4.20 ผลการทดสอบแรงดึงวัสดุผสมพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขนเป็ดที่ปรับสภาพผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ไม่เติมสารคู่ควบและเติมสารคู่ควบ MA-g-PP 1 wt%

ตัวอย่าง	Tensile strength (MPa)	Young's modulus (MPa)	% Elongation at break
PP/DF0	29.41±0.3	1,473±58.6	10.03±1.2
PP/ DF4 (Treatment)	23.89±4.5	2,033±168.0	2.92±0.9
/MA-g-PP0			
PP/ DF 4 (Treatment)	25.37±1.2	2,068±168.0	2.36±0.8
/MA-g-PP1			

4.4.1.2 วัสดุผสมพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขนไก่ (PP/CF) ที่ปรับสภาพผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ไม่เติมสารคู่ควบและเติมสารคู่ควบ MA-g-PP 1 wt%

จากตารางที่ 4.21 จะเห็นได้ว่า ผลจากการทดสอบการทนต่อแรงดึง จากการเปรียบเทียบวัสดุผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับขนไก่ที่ปรับสภาพผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ไม่เติมสารกลุ่มควบและเติมสารกลุ่มควบ MA-g-PP 1 wt% ผลจากการศึกษาผลของความทนต่อแรงดึง โดยพอลิโพรพิลีนมีความทนต่อแรงดึง 29.41 MPa มีค้ำยังมอดูลัส 1,473 MPa ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดมีค่าอยู่ที่ 10.03 แต่เมื่อมีการเติมขนไก่ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่อัตราส่วน PP/ CF 4(Treatment)/MA-g-PP1 มีความทนต่อแรงดึงมากที่สุด 26.40 MPa และมีค้ำยังมอดูลัส 1,994 MPa สูงที่สุดด้วยเช่นกัน แต่ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดมีค่าอยู่ที่ 2.92

ตารางที่ 4.21 ผลการทดสอบแรงดึง วัสดุผสมพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขนไก่ ที่ปรับสภาพผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ไม่เติมสารกลุ่มควบและเติมสารกลุ่มควบ MA-g-PP 1 wt%

ตัวอย่าง	Tensile Strength (MPa)	Young's Modulus (MPa)	% Elongation at break
PP/CF0	29.41±0.3	1,473±58.6	10.03±1.2
PP/ CF4 (Treatment)	23.67±3.2	1,892±176.7	2.22±0.4
/MA-g-PP0			
PP/ CF 4 (Treatment)	26.40±4.11	1,994±111.5	2.92±0.4
/MA-g-PP1			

4.4.1.2 วัสดุผสมพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขนสุนัข (PP/DH) ที่ปรับสภาพผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ไม่เติมสารกลุ่มควบและเติมสารกลุ่มควบ MA-g-PP 1 wt%

จากตารางที่ 4.22 จะเห็นได้ว่า ผลจากการทดสอบการทนต่อแรงดึง จากการเปรียบเทียบวัสดุผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับขนสุนัขที่ที่ปรับสภาพผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ไม่เติมสารกลุ่มควบและเติมสารกลุ่มควบ MA-g-PP 1 wt% ผลจากการศึกษาผลของความทนต่อแรงดึง โดยพอลิโพรพิลีนมีความทนต่อแรงดึง 29.41 MPa มีค้ำยังมอดูลัส 1473 MPa ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดมีค่าอยู่ที่ 10.03 แต่เมื่อมีการเติมขนสุนัขที่อัตราส่วน PP/ DH 4 (Treatment)/MA-g-PP1มีความ

ทนต่อแรงดึงมากที่สุด 26.14 MPa และมีค้ำย้งมอดูลัส 2,358 MPa สูงที่สุดด้วยเช่นกัน แต่ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดมีค่าอยู่ที่ 2.05

ตารางที่ 4.22 ผลการทดสอบแรงดึงวัสดุผสมพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขนสุนัขที่ปรับสภาพผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ไม่เติมสารคู่ควบและเติมสารคู่ควบ MA-g-PP 1 wt%

ตัวอย่าง	Tensile strength (MPa)	Young's modulus (MPa)	% Elongation at break
PP/DH0	29.41±0.3	1,473±58.6	10.03±1.2
PP/ DH4 (Treatment) /MA-g-PP0	25.49±2.1	2,271±159.3	2.09±0.4
PP/ DH 4 (Treatment) /MA-g-PP1	26.14±2.13	2,358±191.9	2.05±0.5

4.2.2 ผลการทดสอบการทนต่อการโค้งงอ (Flexural Strength)

จากการทดสอบโดยการนำชิ้นงานไปทำการทดสอบการทนต่อการโค้งงอ (Flexural Strength) จะทำให้ได้ค่าการทดสอบค่าการโค้งงอ (Flexural Strength) และค้ำย้งมอดูลัส (Flexural Modulus)

4.2.2.1 วัสดุผสมพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขนเป็ด (PP/DF) ที่ปรับสภาพผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ไม่เติมสารคู่ควบและเติมสารคู่ควบ MA-g-PP 1 wt%

จากตารางที่ 4.23 จะเห็นได้ว่า ผลจากการทดสอบการทนต่อการโค้งงอ จากการเปรียบเทียบวัสดุผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับขนเป็ดที่ปรับสภาพผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ไม่เติมสารคู่ควบและเติมสารคู่ควบ MA-g-PP 1 wt% ผลจากการศึกษาผลของความทนต่อการโค้งงอ โดยพอลิโพรพิลีนมีความทนต่อการโค้งงอ 29.41 MPa มีค้ำมอดูลัสค้ำดงอ 1,233 MPa แต่เมื่อมีการเติมขนเป็ดที่อัตราส่วน PP/ DF4(Treatment)/MA-g-PP0 มีความทนต่อการโค้งงอ 58.58 MPa สูงที่สุด แต่มีค้ำมอดูลัสค้ำดงอ 1,660 MPa

ตารางที่ 4.23 ผลการทดสอบการทนต่อการโค้งงอ (Flexural Strength) วัสดุผสมพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขนเป็ดที่ปรับสภาพผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ไม่เติมสารคู่ควบและเติมสารคู่ควบ MA-g-PP 1 wt%

ตัวอย่าง	Flexural Strength (MPa)	Flexural Modulus (MPa)
PP/DF0	47.49±2.1	1,233±108.2
PP/ DF4 (Treatment)	58.58±3.3	1,660±261.6
/MA-g-PP0		
PP/ DF 4 (Treatment)	43.72±3.3	1,682±342.2
/MA-g-PP1		

4.2.2.2 วัสดุผสมพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขนไก่ (PP/CF) ที่ปรับสภาพผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ไม่เติมสารคู่ควบและเติมสารคู่ควบ MA-g-PP 1 wt%

จากตารางที่ 4.24 จะเห็นได้ว่า ผลจากการทดสอบการทนต่อการโค้งงอ จากเปรียบเทียบวัสดุผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับขนไก่ที่ปรับสภาพผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ไม่เติมสารคู่ควบและเติมสารคู่ควบ MA-g-PP 1 wt% ผลจากการศึกษาผลของความทนต่อการโค้งงอ โดยพอลิโพรพิลีนมีความทนต่อการโค้งงอ 47.49 MPa มีค่ามอดูลัสค้ำคอง 1,233 MPa แต่เมื่อมีการเติมขนไก่ที่อัตราส่วน PP/ DF4(Treatment)/MA-g-PP0 มีความทนต่อการโค้งงอ 48.42 MPa สูงที่สุด แต่มีค่ามอดูลัสค้ำคอง 1,683 MPa

ตารางที่ 4.24 ผลการทดสอบการทนต่อการโค้งงอ (Flexural Strength) วัสดุผสมพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขนไก่ ที่ปรับสภาพผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ไม่เติมสารคู่ควบและเติมสารคู่ควบ MA-g-PP 1 wt%

ตัวอย่าง	Flexural Strength (MPa)	Flexural Modulus (MPa)
PP/CF0	47.49±2.1	1,233±108.2
PP/ CF4 (Treatment)	48.42±4.2	1,683±261.6
/MA-g-PP0		
PP/ CF 4 (Treatment)	40.94±3.8	2,309±272.8
/MA-g-PP1		

4.2.2.3 วัสดุผสมพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขนสุนัข (PP/DH) ที่ปรับสภาพผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ไม่เติมสารคู่ควบและเติมสารคู่ควบ MA-g-PP 1 wt%

จากตารางที่ 4.24 จะเห็นได้ว่า จากการเปรียบเทียบวัสดุผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับขนสุนัขที่ปรับสภาพผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ไม่เติมสารคู่ควบและเติมสารคู่ควบ MA-g-PP 1 wt% ผลจากการศึกษาผลของความทนต่อการโค้งงอ โดยที่พอลิโพรพิลีนมีความทนต่อการโค้งงอ 47.49 MPa มีค่ามอดูลัสค้ำคอง 1,233 MPa แต่เมื่อมีการเติมขนสุนัขที่อัตราส่วน PP/ DH4(Treatment)/MA-g-PP0 มีความทนต่อการโค้งงอ 43.07 MPa สูงที่สุด แต่มีค่ามอดูลัสค้ำคอง 1,726 MPa

ตารางที่ 4.25 ผลการทดสอบการทนต่อการโค้งงอ (Flexural Strength) วัสดุผสมพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขนสุนัข ที่ปรับสภาพผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ไม่เติมสารคู่ควบและเติมสารคู่ควบ MA-g-PP 1 wt%

ตัวอย่าง	Flexural Strength (MPa)	Flexural Modulus (MPa)
PP/DH0	47.49±2.1	1,233±108.2
PP/ DH4 (Treatment)	43.07±1.8	1,726±22.5
/MA-g-PP0		
PP/ DH 4 (Treatment)	40.94±3.8	1,760±210.1
/MA-g-PP1		

4.2.3 ผลการทดสอบแรงกระแทก (Impact Strength)

4.2.3.1 วัสดุผสมพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขนเป็ด (PP/DF) ปรับสภาพผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ไม่เติมสารคู่ควบและเติมสารคู่ควบ MA-g-PP 1 wt%

จากตารางที่ 4.26 จะเห็นได้ว่า ผลจากการทดสอบการทนต่อแรงกระแทก จากอัตราส่วนผสมที่ทำการศึกษาของพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขนเป็ดปรับสภาพผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ไม่เติมสารคู่ควบและเติมสารคู่ควบ MA-g-PP 1 wt% ผลจากการศึกษาผลของความทนต่อการโค้งงอ โดยพอลิโพรพิลีนมีความทนต่อแรงกระแทก 31.86 J/m แต่เมื่อมีการเติมขนเป็ดที่ปรับสภาพผิวขนเป็ดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ไม่เติมสารคู่ควบและเติมสารคู่ควบ MA-g-PP 1 wt% ที่อัตราส่วน PP/ DF4(Treatment)/MA-g-PP0 มีความทนต่อแรงกระแทก 23.30 J/m สูงที่สุด

ตารางที่ 4.26 ผลการทดสอบการทนแรงกระแทกวัสดุผสมพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขนเป็ดที่ปรับสภาพผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ไม่เติมสารคู่ควบและเติมสารคู่ควบ MA-g-PP 1 wt%

ตัวอย่าง	Impact strength (J/m)
PP/DF0	31.86±2.30
PP/ DF4 (Treatment) /MA-g-PP0	23.30±2.45
PP/ DF 4 (Treatment) /MA-g-PP1	11.37±2.77

4.2.3.2 วัสดุผสมพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขนไก่ (PP/CF) ที่ปรับสภาพผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ไม่เติมสารคู่ควบและเติมสารคู่ควบ MA-g-PP 1 wt%

จากตารางที่ 4.27 จะเห็นได้ว่า ผลจากการทดสอบการทนต่อแรงกระแทกจากอัตราส่วนผสมที่ทำการศึกษาของพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขนไก่ที่ปรับสภาพผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ไม่เติมสารคู่ควบและเติมสารคู่ควบ MA-g-PP 1 wt% ผลจากการศึกษาผลของความทนต่อการโค้งงอ โดยพอลิโพรพิลีนมีความทนต่อแรงกระแทก 31.86 J/m แต่เมื่อมีการเติมขนไก่ที่ปรับสภาพผิวขนไก่ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ไม่เติมสารคู่ควบและเติมสารคู่ควบ MA-g-PP 1 wt% ที่อัตราส่วน PP/CF4(Treatment)/MA-g-PP0 มีความทนต่อแรงกระแทก 19.41 J/m สูงที่สุด

ตารางที่ 4.27 ผลการทดสอบการทนแรงกระแทก วัสดุผสมพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขนไก่ ที่ปรับสภาพผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ไม่เติมสารคู่ควบและเติมสารคู่ควบ MA-g-PP 1wt%

ตัวอย่าง	Impact strength (J/m)
PP/CF0	31.86±2.3
PP/ CF4 (Treatment)	19.41±1.79
/MA-g-PP0	
PP/ CF 4 (Treatment)	12.29±3.12
/MA-g-PP1	

4.2.3.3 วัสดุผสมพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขนสุนัข (PP/DH) ปรับสภาพผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ไม่เติมสารคู่ควบและเติมสารคู่ควบ MA-g-PP 1 wt%

จากตารางที่ 4.28 จะเห็นได้ว่า ผลจากการทดสอบการทนต่อแรงกระแทก จากอัตราส่วนผสมที่ทำการศึกษาของพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขนสุนัขปรับสภาพผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ไม่เติมสารคู่ควบและเติมสารคู่ควบ MA-g-PP 1 wt% ผลจากการศึกษาผลของความทนต่อการโค้งงอ โดยที่พอลิโพรพิลีนมีความทนต่อแรงกระแทก 31.86 J/m แต่เมื่อมีการเติมขนสุนัขที่ผ่านการปรับสภาพผิวขนสุนัขด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ไม่เติมสารคู่ควบและเติมสารคู่ควบ MA-g-PP 1 wt% ที่อัตราส่วน PP/ DH4 (Treatment)/MA-g-PP0 มีความทนต่อแรงกระแทก 17.74 J/m สูงที่สุด

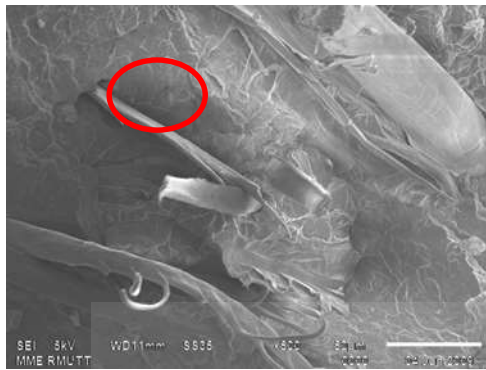
ตารางที่ 4.28 ผลการทดสอบการทนแรงกระแทกวัสดุผสมพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขนสุนัขที่ปรับสภาพผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ไม่เติมสารก่อกวนและเติมสารก่อกวน MA-g-PP 1 wt%

ตัวอย่าง	Impact strength (J/m)
PP/DH0	31.86±2.30
PP/ DH4 (Treatment) /MA-g-PP0	17.74±2.85
PP/ DH 4 (Treatment) /MA-g-PP1	16.17±3.06

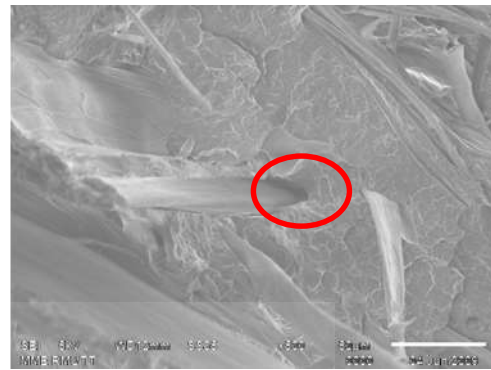
จากการศึกษาข้างต้นที่ค่า Impact Strength มีค่าลดลงเมื่อมีการเติมสารก่อกวน MA-g-PP 1 wt% อาจส่งผลมาจากการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอของขนสัตว์ในเนื้อเมทริกซ์ การยึดเกาะที่ดีขึ้นของขนสัตว์เมื่อมีการเติมสารก่อกวน MA-g-PP 1 wt% ไม่ได้ส่งผลดีต่อค่า Impact Strength เนื่องจากขนสัตว์ไม่ได้กระจายตัวให้รับแรงในทิศทางแรงกระแทกการยึดเกาะที่ดีไม่ได้เกิดขึ้นในทิศทางการรับแรงกระแทกนั่นเอง

4.5 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของวัสดุผสมเสริมแรงด้วยขนสัตว์ที่ขึ้นรูปได้

การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของวัสดุผสมเสริมแรงด้วยขนเป็ดที่ทำการขึ้นรูปได้ด้วย SEM พบว่าพื้นผิวที่ทำการเติมขนเป็ดที่กระจายตัวอยู่ในเนื้อเมทริกซ์ ทำการศึกษาทางสัณฐานวิทยาในครั้งนี้ใช้กำลังขยายเพียง 500 เท่า เพื่อดูการกระจายตัวของขนเป็ดและช่องว่างที่เกิดขึ้นระหว่างเนื้อเมทริกซ์ซึ่งขนเป็ดมีการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอมีช่องว่างระหว่างขนเป็ดกับเมทริกซ์ แต่เมื่อมีการปรับสภาพผิวขนเป็ดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และเติมสารก่อกวน MA-g-PP ลงไป ก็ทำให้ช่องว่างระหว่างขนเป็ดกับเมทริกซ์น้อยลง การยึดเกาะของขนเป็ดดีขึ้นดูได้จากรูปที่ 4.5



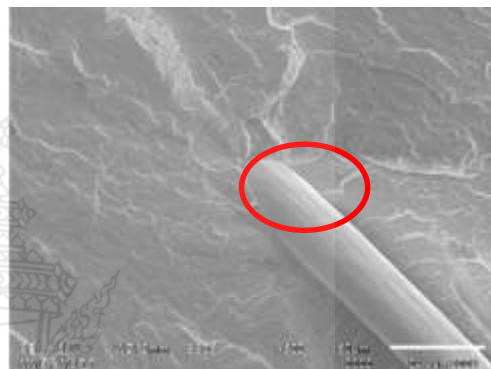
(ก)



(ข)



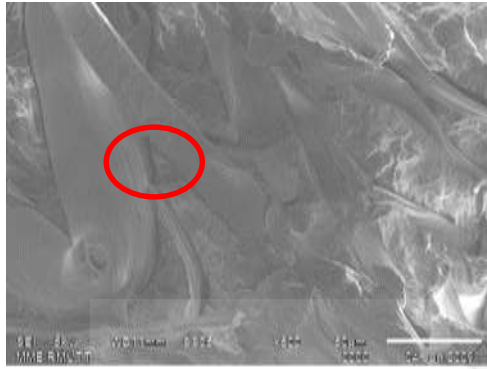
(ค)



(ง)

รูปที่ 4.5 สัณฐานวิทยาจาก SEM ของ (ก) PP/DF4 (ข) PP/DF 10 (ค) PP/DF(treatment)4/MA-g-PP0 (ง) PP/DF(Treatment) 4 /MA-g-PP1

การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของวัสดุผสมเสริมแรงด้วยขนไก่ที่ทำการขึ้นรูปได้ด้วย SEM พบว่าพื้นผิวที่ทำการเติมขนไก่ที่กระจายตัวอยู่ในเนื้อเมทริกซ์ ทำการศึกษาทางสัณฐานวิทยาในครั้งนี้ใช้กำลังขยายเพียง 500 เท่า เพื่อดูการกระจายตัวของขนไก่และช่องว่างที่เกิดขึ้นระหว่างเนื้อเมทริกซ์ซึ่งขนไก่มีการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอมีช่องว่างระหว่างขนไก่กับเมทริกซ์ แต่เมื่อมีการปรับสภาพผิวขนไก่ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และเติมสารคู่ควบ MA-g-PP ลงไป ก็ทำให้ช่องว่างระหว่างขนไก่กับเมทริกซ์น้อยลง การยึดเกาะของขนไก่ดีขึ้นดูได้จากรูปที่ 4.6



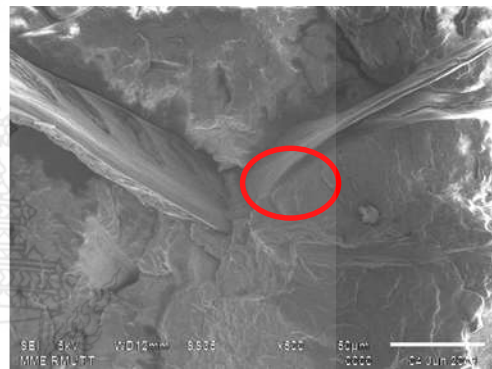
(ก)



(ข)



(ค)



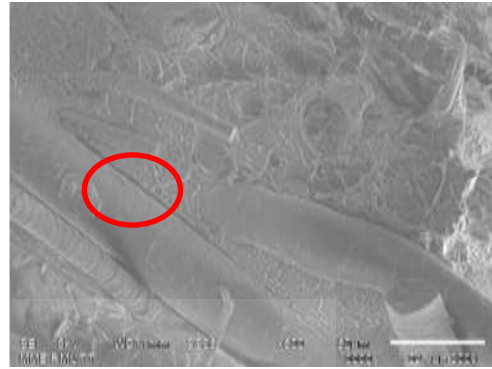
(ง)

รูปที่ 4.6 ลักษณะผิวจาก SEM ของ (ก) PP/CF 4 (ข) PP/CF 10 (ค) PP/CF(treatment)4/MA-g-PP0 (ง) PP/CF(treatment) 4 /MA-g-PP1

การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของวัสดุผสมเสริมแรงด้วยขนสุนัขที่ทำการขึ้นรูปได้ด้วย SEM พบว่าพื้นผิวที่ทำการเติมขนสุนัขที่กระจายตัวอยู่ในเนื้อเมทริกซ์ ทำการศึกษาทางสัณฐานวิทยาในครั้งนี้ใช้กำลังขยายเพียง 500 เท่า เพื่อดูการกระจายตัวของขนสุนัขและช่องว่างที่เกิดขึ้นระหว่างเนื้อเมทริกซ์ซึ่งขนสุนัขมีการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอมีช่องว่างระหว่างขนสุนัขกับเมทริกซ์ แต่เมื่อมีการปรับสภาพผิวขนสุนัขด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และเติมสารกลุ่มควบ MA-g-PP ลงไป ก็ทำให้ช่องว่างระหว่างขนสุนัขกับเมทริกซ์น้อยลง การยึดเกาะของขนสุนัขดีขึ้นดูได้จากรูปที่ 4.7



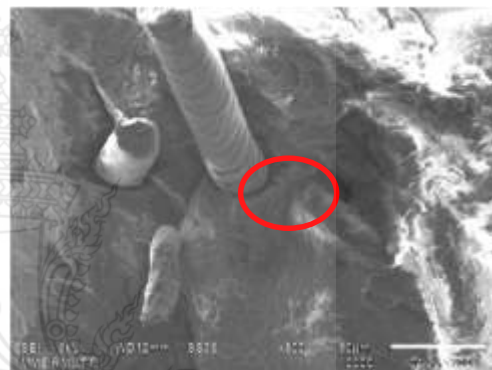
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 4.7 สัณฐานวิทยาจาก SEM ของ (ก) PP/DH4 (ข) PP/DH 10 (ค) PP/DH(Treatment)4 MA-g-PP0 (ง) PP/DH(Treatment)4/MA-g-PP1

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการใช้ขนสัตว์เป็นวัสดุเสริมแรงในพอลิโพรพิลีน ด้วยการเตรียมชิ้นงานทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมโดยกระบวนการขึ้นรูปแบบอัดรีด และเตรียมชิ้นงานโดยกระบวนการผสมแบบเปิดสองลูกกลิ้ง สามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ

ขนสัตว์ทั้ง 3 ชนิด (ขนเป็ด,ขนไก่,ขนสุนัข) สามารถนำมาผสมเข้ากับเมทริกซ์พอลิโพรพิลีนได้ ตามลักษณะเส้นขนแต่ละชนิด

5.1.2 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อน

- ขนเป็ดมีอุณหภูมิการสลายตัวอยู่ที่ 237.57 องศาเซลเซียส
- ขนไก่มีอุณหภูมิการสลายตัวอยู่ที่ 236.68 องศาเซลเซียส
- ขนสุนัขมีอุณหภูมิการสลายตัวอยู่ที่ 232.63 องศาเซลเซียส

ซึ่งขนสัตว์ทั้ง 3 ชนิด สามารถนำไปขึ้นรูปเป็นแผ่นวัสดุผสมได้ที่อัตราส่วนสูงสุด 10 wt% ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส โดยขนสัตว์แต่ละชนิดเริ่มมีการสลายตัวบางส่วนจากการสูญเสียทางความร้อนทำให้สมบัติความยืดหยุ่นลดลง

5.1.3 ผลการทดสอบสมบัติทางเคมี

ขนสัตว์ทั้ง 3 ชนิด (ขนเป็ด,ขนไก่,ขนสุนัข) ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิวและขนสัตว์ทั้ง 3 ชนิด (ขนเป็ด,ขนไก่,ขนสุนัข) ที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยวิธี Alkalization ในช่วงความยาวคลื่น (Wave Number) โดยทำการวิเคราะห์ในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง $4,000-400\text{ cm}^{-1}$ พบว่าการทำ Alkalization ทำให้บางพีคเพิ่มขึ้นหลังจากการปรับสภาพผิวนั้นมีพีคเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

5.1.4 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขนสัตว์ตามอัตราส่วน 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 wt%

5.1.4.1 การทดสอบการทนต่อแรงดึง

- พอลิโพรพิลีนมีความทนต่อแรงดึง 29.41 MPa มีค่ายังมอดูลัส 1,473 MPa ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดมีค่าอยู่ที่ 10.03

- การเติมขนเปิดที่อัตราส่วนต่างๆ ที่อัตราส่วน 2 wt% มีความทนต่อแรงดึงสูงสุด 28.07 MPa และมีค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดมีค่าอยู่ที่ 5.52 ที่สูงสุดด้วยเช่นกัน แต่มีค่าน้อยสุด 1,372 MPa และที่อัตราส่วน 8 wt% มีค่าความทนต่อแรงดึงต่ำที่สุด 22.46 MPa มีค่าน้อยสุด 1,489 MPa และค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดมีค่าอยู่ที่ 3.93

- การเติมขนไก่อัตราส่วนต่างๆ โดย ที่อัตราส่วน 2 wt% มีความทนต่อแรงดึงมากที่สุด 26.41 MPa และมีค่าน้อยสุด 1,586 MPa สูงที่สุดด้วยเช่นกัน แต่ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดมีค่าอยู่ที่ 4.53 และที่อัตราส่วน 10 wt% มีค่าความทนต่อแรงดึงต่ำที่สุด 21.90 MPa มีค่าน้อยสุด 1433 MPa และค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดมีค่าอยู่ที่ 3.93

- การเติมขนสุนัขที่อัตราส่วนต่างๆ ที่อัตราส่วน 4 wt% มีความทนต่อแรงดึงสูงสุด 24.79 MPa และมีค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดมีค่าอยู่ที่ 2.79 สูงที่สุดด้วยเช่นกัน แต่มีค่าน้อยสุด 1,625 MPa และที่อัตราส่วน 10 wt% มีค่าความทนต่อแรงดึงต่ำที่สุด 16.10 MPa มีค่าน้อยสุด 1,975 MPa และค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดมีค่าอยู่ที่ 1.22

5.1.4.2 การทดสอบการทนต่อการโค้งงอ

- โพลีโพรพิลีนมีค่าความทนต่อการโค้งงอ 29.41 MPa มีค่าน้อยสุด 1,233.83 MPa

- การเติมขนเปิดที่อัตราส่วนต่างๆ ที่อัตราส่วน 2 wt% มีความทนต่อการโค้งงอ 45.82 MPa สูงที่สุด แต่มีค่าน้อยสุด 1,377 MPa และที่อัตราส่วน 10 wt% มีความทนต่อการโค้งงอ 29.81 MPa ต่ำที่สุด แต่มีค่าน้อยสุด 823 MPa

- การเติมขนไก่อัตราส่วนต่างๆ ที่อัตราส่วน 4 wt% มีความทนต่อการโค้งงอ 41.07 MPa สูงที่สุด แต่มีค่าน้อยสุด 1,127 MPa และที่อัตราส่วน 2 wt% มีความทนต่อการโค้งงอ 33.97 MPa ต่ำที่สุด แต่มีค่าน้อยสุด 821 MPa

- การเติมขนสุนัขที่อัตราส่วนต่างๆ ที่อัตราส่วน 2 wt% มีความทนต่อการโค้งงอ 44.84 MPa สูงที่สุด แต่มีค่าน้อยสุด 1,299 MPa และที่อัตราส่วน 10 wt% มีความทนต่อการโค้งงอ 22.83 MPa สูงที่สุด แต่มีค่าน้อยสุด 1,749 MPa

5.1.4.3 การทดสอบแรงกระแทก

- โพลีโพรพิลีนมีค่าความทนต่อแรงกระแทก 31.86 J/m มีค่าน้อยสุด 1,233 MPa

- การเติมขนสัตว์แต่ละชนิดที่อัตราส่วนต่างๆ ที่อัตราส่วน 8 wt% ทั้งขนเปิด ขนไก่ และขนสุนัขมีค่าความทนต่อแรงกระแทกสูงสุด 32.59, 21.6 และ 24.14 J/m แต่ที่อัตราส่วน

2 wt% ทั้งชนิดเปิด มีค่าความทนต่อแรงกระแทกต่ำที่สุด 17.76 J/m ที่อัตราส่วน 6 wt% ชนิดเปิด มีค่าความทนต่อแรงกระแทกต่ำที่สุด 17.36 J/m และอัตราส่วน 10 wt% ชนิดปิด มีค่าความทนต่อแรงกระแทกต่ำที่สุด 17.57 J/m

5.1.5 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลเปรียบเทียบวัสดุผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับขนสัตว์แต่ละชนิดที่ไม่ผ่านการปรับสภาพผิวและปรับสภาพผิวขนสัตว์ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

5.1.5.1 การทดสอบการทนต่อแรงดึง

- การเติมชนิดเปิดที่ไม่ผ่านการปรับสภาพผิวและปรับสภาพผิวขนสัตว์ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราส่วน 4 wt% (Treatment) มีความทนต่อแรงดึงมากที่สุด 23.89 MPa และมีค่ายังมอดูลัส 2,033 MPa สูงที่สุดด้วยเช่นกัน แต่ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดมีค่าอยู่ที่ 2.92 และที่อัตราส่วน 4 wt% (Non-treatment) มีความทนต่อแรงดึงต่ำกว่าที่ 23.31 MPa และมีค่ายังมอดูลัส 1,410 MPa ต่ำด้วยเช่นกัน แต่ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดมีค่าอยู่ที่ 4.11

- การเติมชนิดปิดที่ไม่ผ่านการปรับสภาพผิวและปรับสภาพผิวขนสัตว์ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราส่วน 4 wt% (Treatment) มีความทนต่อแรงดึงมากที่สุด 23.67 MPa และมีค่ายังมอดูลัส 1,892 MPa สูงที่สุดด้วยเช่นกัน แต่ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดมีค่าอยู่ที่ 2.22 และที่อัตราส่วน 4 wt% (Non-treatment) มีความทนต่อแรงดึงต่ำกว่าที่ 23.11 MPa และมีค่ายังมอดูลัส 1,353 MPa ต่ำกว่าด้วยเช่นกัน แต่ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดมีค่าอยู่ที่ 4.29

- การเติมชนิดขนสัตว์ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพผิวและปรับสภาพผิวขนสัตว์ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราส่วน 4 wt% (Treatment) มีความทนต่อแรงดึงมากที่สุด 25.49 MPa และมีค่ายังมอดูลัส 2,271 MPa สูงที่สุดด้วยเช่นกัน แต่ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดมีค่าอยู่ที่ 2.09 และที่อัตราส่วน 4 wt% (Non-treatment) มีความทนต่อแรงดึงต่ำกว่าที่ 24.79 MPa และมีค่ายังมอดูลัส 1,625 MPa สูงที่สุดด้วยเช่นกัน แต่ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดมีค่าอยู่ที่ 2.79

5.1.5.2 การทดสอบการทนต่อการโค้งงอ

- การเติมชนิดเปิดที่ไม่ผ่านการปรับสภาพผิวและปรับสภาพผิวขนสัตว์ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราส่วน 4 wt% (Treatment) มีความทนต่อการโค้งงอ 58.58 MPa สูงที่สุด แต่มีค่ามอดูลัสคดงอ 1,660 MPa และที่อัตราส่วน 4 wt% (Non-treatment) มีความทนต่อการโค้งงอ 35.4 MPa สูงที่สุด แต่มีค่ามอดูลัสคดงอ 1258.5 MPa ที่ต่ำกว่า

- การเติมชนิดปิดที่ไม่ผ่านการปรับสภาพผิวและปรับสภาพผิวขนสัตว์ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราส่วน 4 wt% (Treatment) มีความทนต่อการโค้งงอ 48.42 MPa สูงที่สุด แต่

มีค่ามอดูลัสคดงอ 1,683 MPa และที่อัตราส่วน 4 wt% (Non-treatment) มีความทนต่อการโค้งงอ 1127MPa สูงที่สุด แต่มีค่ามอดูลัสคดงอ 1127 MPa ที่ต่ำกว่า

- การเติมขนสุนัขที่ไม่ผ่านการปรับสภาพผิวและปรับสภาพผิวขนสัตว์ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราส่วน 4 wt% (Treatment) มีความทนต่อการโค้งงอ 48.42 MPa สูงที่สุด แต่มีค่ามอดูลัสคดงอ 1760 MPa และที่อัตราส่วน 4 wt% (Non-treatment) มีความทนต่อการโค้งงอ 35.4 MPa แต่มีค่ามอดูลัสคดงอ 1,258 MPa ที่ต่ำกว่า

5.1.5.3 การทดสอบแรงกระแทก

- การเติมขนสัตว์แต่ละชนิดที่ไม่ผ่านการปรับสภาพผิวและปรับสภาพผิวขนสัตว์ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราส่วน 4 wt% (Non-treatment) ทั้งขนเป็ด ขนไก่ และขนสุนัขมีค่าความทนต่อแรงกระแทกสูงที่สุด 24.01, 21.40 และ 18.10 J/m ตามลำดับ ที่อัตราส่วน 4 wt% (Treatment) ทั้งขนเป็ด ขนไก่ และขนสุนัขมีค่าความทนต่อแรงกระแทกที่ต่ำกว่าคือ 12.96, 13.24 และ 17.15J/m ตามลำดับ

5.1.6 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลเปรียบเทียบวัสดุผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับขนสัตว์ที่ปรับสภาพผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ไม่เติมสารก่อกวนและเติมสารก่อกวน MA-g-PP 1 wt%

5.1.6.1 การทดสอบการทนต่อแรงดึง

- การเติมขนเป็ดที่ปรับสภาพผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ไม่เติมสารก่อกวนและเติมสารก่อกวน MA-g-PP 1 wt% ที่อัตราส่วน 4 wt% (Treatment)/ MA-g-PP 1 wt% มีความทนต่อแรงดึงมากที่สุด 25.37 MPa และมีค่านึงมอดูลัส 2,068 MPa สูงที่สุดด้วยเช่นกัน แต่ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดมีค่าอยู่ที่ 2.36 และที่อัตราส่วน 4 wt% (Treatment)/ MA-g-PP 0 wt% มีความทนต่อแรงดึงต่ำกว่าที่ 23.89 MPa และมีค่านึงมอดูลัส 2,033 MPa ต่ำกว่าด้วยเช่นกัน แต่ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดมีค่าอยู่ที่ 2.92

- การเติมขนไก่ที่ปรับสภาพผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ไม่เติมสารก่อกวนและเติมสารก่อกวน MA-g-PP 1 wt% ที่อัตราส่วน 4 wt% (Treatment)/MA-g-PP 1 wt% มีความทนต่อแรงดึงสูงที่สุด 26.40 MPa และมีค่านึงมอดูลัส 1,994 MPa สูงที่สุดด้วยเช่นกัน แต่ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดมีค่าอยู่ที่ 2.92 และที่อัตราส่วน 4 wt% (Treatment)/MA-g-PP 0 wt% มีความทนต่อแรงดึง 23.67 MPa มีค่านึงมอดูลัส 1,892 MPa และค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดมีค่าอยู่ที่ 2.22

- การเติมขนสุนัขที่ปรับสภาพผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ไม่เติมสารก่อกวนและเติมสารก่อกวน MA-g-PP 1 wt% ที่อัตราส่วน 4 wt% (Treatment)/ MA-g-PP 1 wt% มีความทนต่อแรงดึงมากที่สุด 26.14 MPa และมีค่านึงมอดูลัส 2,358 MPa สูงที่สุดด้วยเช่นกัน แต่ค่าเปอร์เซ็นต์การ

ยึดตัว ณ จุดขาดมีค่าอยู่ที่ 2.05 และที่อัตราส่วน 4 wt% (Treatment)/MA-g-PP 0 wt% มีความทนต่อแรงดึง 25.49 MPa และมีค่า Young's Modulus 2,271 MPa สูงที่สุดด้วยเช่นกัน แต่ค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัว ณ จุดขาดมีค่าอยู่ที่ 2.09

5.1.6.2 การทดสอบการทนต่อการโค้งงอ

- การเติมขนเปิดที่ปรับสภาพผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ไม่เติมสารก่อกวนและเติมสารก่อกวน MA-g-PP 1 wt% ที่อัตราส่วน 4 wt% (Treatment) /MA-g-PP 0 wt% มีความทนต่อการโค้งงอ 58.58 MPa สูงที่สุด แต่มีค่า Young's Modulus คัดงอ 1,660 MPa และที่อัตราส่วน 4 wt% (Treatment) /MA-g-PP 1 wt% มีความทนต่อการโค้งงอ 43.72 MPa ต่ำกว่า แต่มีค่า Young's Modulus คัดงอ 1,682 MPa

- การเติมขนไก่อที่ปรับสภาพผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ไม่เติมสารก่อกวนและเติมสารก่อกวน MA-g-PP 1wt% ที่อัตราส่วน 4 wt% (Treatment) /MA-g-PP 0 wt% มีความทนต่อการโค้งงอ 41.07 MPa สูงที่สุด แต่มีค่า Young's Modulus คัดงอ 1,127 MPa และที่อัตราส่วน 4 wt% (Treatment) /MA-g-PP 1 wt% มีความทนต่อการโค้งงอ 40.94 MPa ต่ำกว่า แต่มีค่า Young's Modulus คัดงอ 2,309 MPa

- การเติมขนสุนัขที่ปรับสภาพผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ไม่เติมสารก่อกวนและเติมสารก่อกวน MA-g-PP 1 wt% ที่อัตราส่วน 4 wt% (Treatment) /MA-g-PP 0 wt% มีความทนต่อการโค้งงอ 48.42 MPa สูงที่สุด แต่มีค่า Young's Modulus คัดงอ 1760 MPa และที่อัตราส่วน 4 wt% (Treatment)/MA-g-PP 1 wt% มีความทนต่อการโค้งงอ 40.94 MPa ต่ำกว่า แต่มีค่า Young's Modulus คัดงอ 1,760 MPa

5.1.6.3 การทดสอบแรงกระแทก

- การเติมขนสัตว์แต่ละชนิดที่ปรับสภาพผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ไม่เติมสารก่อกวนและเติมสารก่อกวน MA-g-PP 1 wt% ที่อัตราส่วน 4 wt% (Treatment) /MA-g-PP 0 wt% ทั้งขนเปิด ขนไก่ และขนสุนัขมีค่าความทนต่อแรงกระแทกสูงที่สุด 23.30, 19.41 และ 17.74 J/m ตามลำดับ ที่อัตราส่วน 4 wt% (Treatment) /MA-g-PP 1 wt% ทั้งขนเปิด ขนไก่ และขนสุนัขมีค่าความทนต่อแรงกระแทกที่ต่ำกว่าคือ 11.37, 12.29 และ 16.17 J/m ตามลำดับ

5.1.4 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของวัสดุผสมเสริมแรงด้วยขนสัตว์ที่ขึ้นรูปได้

จากการเปรียบเทียบสัณฐานวิทยาจาก SEM ของวัสดุผสมพอลิโพรพิลีนที่ศึกษาการเติมขนสัตว์ตามอัตราส่วน 0,2,4,6,8 และ 10 wt% การเติมขนสัตว์ที่ปรับสภาพผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และการเติมขนสัตว์ที่ปรับสภาพผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ไม่เติมสารก่อกวน MA-g-PP 1 wt%

โดยส่งผลให้เกิดช่องว่างระหว่างขนสัตว์และเมทริกซ์ลดลงตามลำดับ และเกิดการยึดเกาะระหว่างขนสัตว์และเมทริกซ์ที่ดีขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรศึกษานาขนสัตว์และกำหนดขนาดขนสัตว์ที่มีความใกล้เคียงกัน เพื่อผลการทดสอบที่แม่นยำมากยิ่งขึ้น

5.2.2 ควรศึกษาเครื่องผสมแบบปิดในการผสมวัสดุ เพื่อลดการปนเปื้อนและการขาดเคลื่อนของอัตราส่วนผสมของวัสดุ

5.2.3 ควรศึกษาการปรับสภาพผิวด้วยวิธีการอื่นที่มีความแม่นยำกว่านี้

5.2.4 ควรศึกษาสารก่อกวนชนิดอื่นๆที่อาจจะได้ผลการทดสอบที่ดียิ่งขึ้น



บรรณานุกรม

- [1] เป็ด. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก <http://koria55.blogspot.com/> (20 มกราคม 2560).
- [2] พอลิโพรไพลีน (PP) [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก:
<http://at2material.com/materials/polypropylene-pp/> (23 สิงหาคม 2558).
- [3] เป็ด ลอยตัวบนน้ำได้อย่างไร [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก :
<http://www.neutron.rmutphysics.com/teaching-glossary> (21 สิงหาคม 2558).
- [4] วัสดุคอมโพสิต [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก:
http://www.thaitechno.net/t1/knowledge_detail.php? Id=1849&uid=42939.(16 มกราคม 2559)
- [5] ฤดี 2555 เส้นใยธรรมชาติ. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก:
<https://www.ruedee.com/th/fabric/wool/> (17 สิงหาคม 2558).
- [6] Bio Plastic [ออนไลน์] 2550.เข้าถึงได้จาก:
http://www2.mtec.or.th/th/special/biodegradable_plastic (25 สิงหาคม 2558).
- [7] สมศักดิ์ นะ วิโรจน์ . ม.ป.ป.วัสดุเสริมแรง . [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก :
<http://www.material.chula.ac.th/Journal/V 2-2> (17 สิงหาคม 2558).
- [8] เครื่องจักรประเภทต่างๆ. เครื่องบดผสมยาง. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก:
<http://rubber.oie.go.th/box/Article/21041/1> (สิงหาคม 2558)
- [9] การขึ้นรูปและการคงรูปยางโดยใช้แม่พิมพ์. แม่พิมพ์กดอัด. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก:
<http://www.tgi.or.th/upload/files/7> (สิงหาคม 2558)
- [10] จตุพร วุฒิกนกกาญจน์. ม .ป.ป.การทดสอบสมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์ [ออนไลน์]
เข้าถึงได้จาก: <http://www.seem.kmutt.ac.th/research/pentec/download/MTT 656> (30 สิงหาคม 2558).
- [11] ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ . ม.ป.ป. Thermogravimetric Analysis (TGA). [ออนไลน์]
เข้าถึงได้จาก: http://www.nanotec.or.th/th/?page_id=569 (11 กันยายน 2558). frequency focused transducers. ” Ultrasonics Symposium (IUS), IEEE International, 1- 4.

บรรณานุกรม (ต่อ)

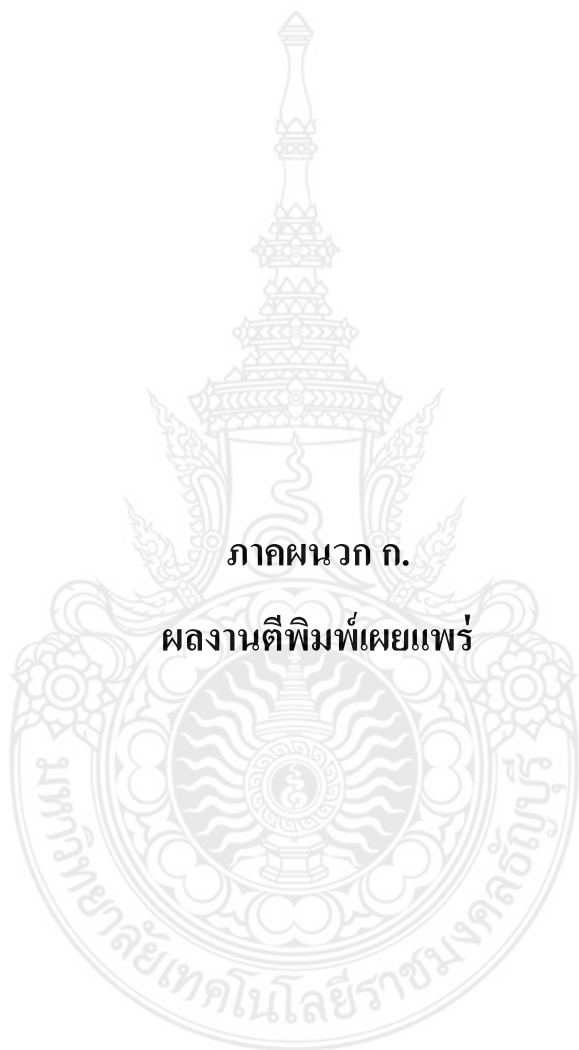
- [12] จตุพร วุฒิกนกกาญจน์. การทดสอบสมบัติทางกลของพอลิเมอร์ [ออนไลน์]
เข้าถึงได้จาก: <http://www.seem.kmutt.ac.th/research/pentec/download/MTT656> (30 สิงหาคม 2558).
- [13] Justin R. Barone. 2004. **“Polyethylene reinforced with keratin fibers obtained from chicken feathers.”** Ph.D Dissertations.
- [14] Justin R. Barone. 2004. **“Compounding and molding of polyethylene composites Reinforced with keratin feather fiber.”** Ph.D Dissertations
- [15] Lucia Conzatti, Francesco Giunco, Paola Stagnaro, Alessia Patrucco, Claudio Tonin, Claudia Marano, Marta Rink, Enrico Marsano,. (2014). **Wool fibres functionalised with a silane-based coupling agent for reinforced polypropylene composites.** journal homepage: www.elsevier.com/locate/compositesa, 61, 51–59.
- [16] J.R. Barone. (2005). **Polyethylene/keratin fiber composites with varying polyethylene crystallinity.** Composites, 36, 1518–1524.
- [17] T.A. Bullions, D. Hoffman, R.A. Gillespie, J. Price-O'Brien, A.C. Loos. (2006). **Contributions of feather fibers and various cellulose fibers to the mechanical properties of polypropylene matrix composites.** Composites Science and Technology, 66, 102–114.
- [18] Shah Huda, Yiqi Yang. (2008). **Composites from ground chicken quill and polypropylene.** Composites Science and Technology, 68, 790–798.
- [19] Sha Cheng, Kin-tak Lau, Tao Liu, Yongqing Zhao, Pou-Man Lam, Yansheng Yin (2009). **Mechanical and thermal properties of chicken feather fiber/PLA green composites.** journal homepage: www.elsevier.com/locate/compositesb, 40, 650–654.
- [20] A. El-Sabbagh. (2014). **Effect of coupling agent on natural fibre in natural fibre/polypropylene composites on mechanical and thermal behaviour.** journal homepage: www.elsevier.com/locate/compositesa, 57, 126–135.

บรรณานุกรม(ต่อ)

- [21] Nak-Bum Song, Wan-Shin Jo, Hye-Yeon Song, Kyung-Sook Chung, Misun Won, Kyung Bin Song. (2013). **Effects of plasticizers and nano-clay content on the physical properties of chicken feather protein composite films.**
Journal homepage: www.elsevier.com/locate/foodhyd2, 31, 340 -345.
- [22] Mingjiang Zhan, Richard P. Wool, John Q. Xiao. (2011). **Electrical properties of chicken feather fiber reinforced epoxy composites.**
journal homepage: www.elsevier.com/locate/compositesa, 42, 229–233.
- [23] M.U. de la Orden, C. González Sánchez, M. González Quesada, J. Martínez Urreaga. (2009). **Effect of different coupling agents on the browning of cellulose polypropylene composites during melt processing.** Journal homepage: www.elsevier.com/locate/polydegstab, 12, 253-256.
- [24] A.L. Martí'nez-Herna'ndez, C. Velasco-Santos, M. de-Icaza, Victor M. Castaño. (2007). **Dynamical–mechanical and thermal analysis of polymeric composites reinforced with keratin biofibers from chicken feathers.** Composites: Part B .38, 405–410
- [25] ปราณีย์ ชุมสำโรง “ การศึกษาคูณสมบัติเชิงกลของพลาสติกเสริมแรงด้วยเส้นใยธรรมชาติที่มีในประเทศไทย.” วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมพอลิเมอร์ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- [26] ธวัชฉน์ สร้อยทอง 2557. “วัสดุคอมโพสิตด้วยเส้นใยธรรมชาติสำหรับการใช้งานด้านบรรจุภัณฑ์.” วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
- [27] ปิยวุฒิ มาศไค้ง, ปิยพงศ์ บัวโฮม, พงศ์ประกาศ ปิยมโนชา, วุฒิพงษ์ รังสีสันติวานนท์ และ สุรัตน์ อาริรัตน์, “การเตรียมคอมโพสิตของพอลิยูรีเทนโฟมผสมเส้นใยปอ,” วิศวกรรมลาดกระบัง, ปีที่ 25, ฉบับที่ 3, กันยายน 2551 หน้า 42–47.

ภาคผนวก





ภาคผนวก ก.

ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่

ที่ มสป. 0402/2575

30 พฤศจิกายน 2560

เรื่อง ทบรับกรรณำเสนอบทความในการประชุมวิชาการ

เรียน คุณวណิศา อิจง

ตามที่ท่านได้ส่งบทความ เรื่อง "การพัฒนาวิศดุเชิงประภอบชนเป็คเค็ริมแวงพอลิโพทิติน
ล้าหรับเป็นวัสดุตกแต่ง" เพื่อนำเสนอในงานประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ มหาวิทยาลัย
ศรีปทุม ครั้งที่ 12 ประจำปี 2560 เรื่อง "ผลงานวิจัยและนวัตกรรมสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน" (The 12th
National and International Sripatum University Conference: SPUCON2017) ในวันที่พฤหัสบดีที่ 14
ธันวาคม 2560 เวลา 8.30-16.30 น. ณ ห้อง Auditorium 1-2 ชั้น 14 อาคาร 40 ปีศรีปทุม
มหาวิทยาลัยศรีปทุม บางเขน นั้น

ผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer reviewers) และคณะกรรมการพิจารณาผลงานพิจารณาบทความ
เรื่องดังกล่าวแล้ว มีมติเห็นชอบ ให้นำเสนอขอทวงถามในการประชุมวิชาการฯ ตามวัน เวลา และ
สถานที่ดังกล่าวข้างต้น และจะตีพิมพ์ในรายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการ(Proceedings)
ในรูปแบบของ CD-ROM ต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุบิน อูระวิธ)

ประธานคณะกรรมการพิจารณาผลงาน

การประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ

มหาวิทยาลัยศรีปทุม ครั้งที่ 12 ปีการศึกษา 2560

ฝ่ายเลขานุการคณะกรรมการพิจารณาผลงาน SPU Conference 2017

ศูนย์ส่งเสริมและพัฒนางานวิจัย มหาวิทยาลัยศรีปทุม

โทรศัพท์ 0 2579 1111 ต่อ 1331,1155, 1262

โทรสาร 0 2579 1111 ต่อ 2187

ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ spucon2017@gmail.com



NATIONAL AND INTERNATIONAL SRIPATUM UNIVERSITY CONFERENCE 2017

การประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ
มหาวิทยาลัยศรีปทุม ครั้งที่ 12 ประจำปี 2560
เรื่อง ผลงานวิจัยและนวัตกรรมสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน

14 December 2017

Sripatum University, Bangkok



NATIONAL AND
INTERNATIONAL
SRIPATUM
UNIVERSITY
CONFERENCE
2017

การประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ มหาวิทยาลัยศรีปทุม ครั้งที่ 12 ประจำปี 2560
เรื่อง ผลงานวิจัยและนวัตกรรมสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน
(Research and Innovations for Sustainable Development)

วันพฤหัสบดีที่ 14 ธันวาคม 2560

ณ ห้อง Auditorium ชั้น 14 อาคาร 40 ปีมหาวิทยาลัยศรีปทุม

รวบรวมโดย

คณะกรรมการพิจารณาผลงาน

การประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ มหาวิทยาลัยศรีปทุม ประจำปี 2560

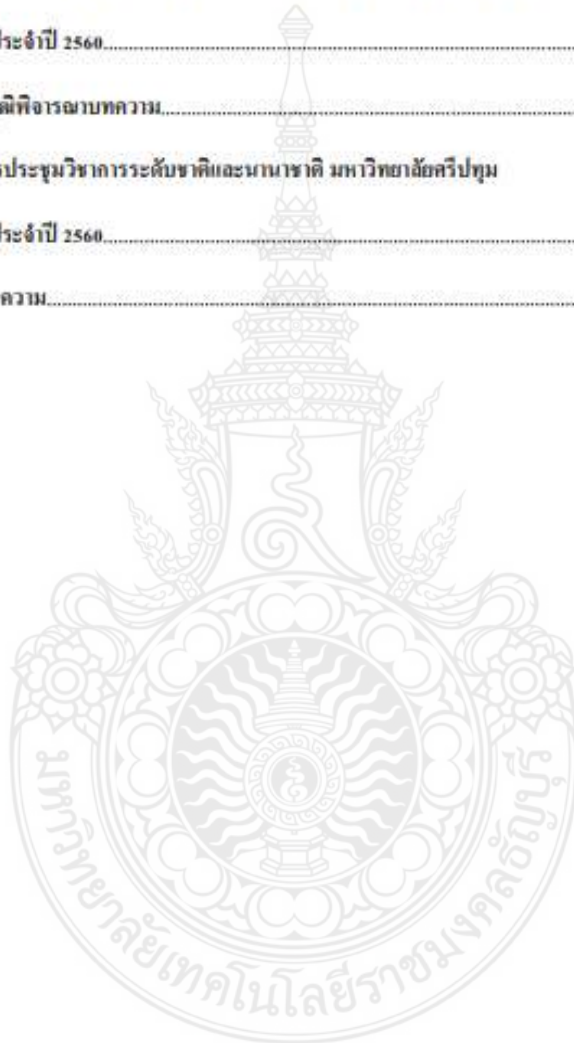
ออกเผยแพร่โดย สำนักงานประชาสัมพันธ์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

จัดรูปเล่มโดย โรงพิมพ์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

- บทความทุกเรื่อง ได้รับการตรวจสอบทางวิชาการโดยผู้ทรงคุณวุฒิ แต่ข้อความและเนื้อหาและบทความที่ดีมีค่าเป็นความรับผิดชอบของผู้เขียนและผู้เผยแพร่ ได้รับความคิดเห็นและความรับผิดชอบของมหาวิทยาลัยศรีปทุม
- การคัดลอกอ้างอิงต้องดำเนินการตามการปฏิบัติในหมู่นักวิชาการทั่วไป และสอดคล้องกับกฎหมายที่เกี่ยวข้อง

สารบัญ

	หน้า
สารอภิศารคดี.....	III
คณะกรรมการประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ มหาวิทยาลัยศรีปทุม ครั้งที่ 12 ประจำปี 2560.....	IV
ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ.....	VIII
กำหนดการประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ มหาวิทยาลัยศรีปทุม ครั้งที่ 12 ประจำปี 2560.....	XI
สารบัญบทความ.....	XIII




สารอธิการบดี

มหาวิทยาลัยศรีปทุม เป็นสถาบันอุดมศึกษาเอกชนที่เติบโตมาจนมากกว่า 4 ทศวรรษ ภายใต้ปณิธาน "มีคุณูภาพ เชี่ยวชาญ เน้นคุณภาพ คุณธรรม" โดยเชื่อมั่นในปรัชญาที่ว่า "การศึกษาสร้างคน คนสร้างชาติ" โดยมหาวิทยาลัยศรีปทุม มีพันธกิจที่สำคัญในการผลิตบัณฑิต พัฒนางานวิจัย บริการวิชาการแก่สังคม และทำนุบำรุงศิลปวัฒนธรรม สำหรับพันธกิจด้านการวิจัย มหาวิทยาลัยศรีปทุม ได้ส่งเสริมและสนับสนุนการทำวิจัยและงานสร้างสรรค์ของบุคลากรมาอย่างต่อเนื่อง ตลอดจนการพิจารณาจัดสรรและกั้นกรองทุนวิจัยภายในให้สอดคล้องกับทิศทางการวิจัยของประเทศ ที่ให้ความสำคัญกับการวิจัยเชิงบูรณาการหรือเชิงสหวิทยาการ การสร้างเครือข่ายการวิจัยโดยความร่วมมือกับแหล่งทุนต่างๆ การบริหารจัดการความรู้จากงานวิจัย การส่งเสริมและสนับสนุนการเผยแพร่ผลงานวิจัยในระดับชาติและนานาชาติ และการนำผลงานวิจัยไปใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างกว้างขวาง

การจัดการประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ มหาวิทยาลัยศรีปทุม ครั้งที่ 12 ประจำปี 2560 ในหัวข้อเรื่อง "พหุงานวิจัยและนวัตกรรมสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน (Research and Innovations to Sustainable Development)" เป็นกิจกรรมทางวิชาการที่จะช่วยส่งเสริมและสนับสนุนให้เกิดการแลกเปลี่ยนเรียนรู้องค์ความรู้ที่ได้จากการวิจัยในหลากหลายสาขาอาชีพ ไม่ว่าจะเป็นการวิจัยองค์ความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี การวิจัยองค์ความรู้ทางด้านสังคมศาสตร์และมนุษยศาสตร์ การวิจัยเพื่อพัฒนาการเรียนการสอน และผลงานวิทยานิพนธ์ของนิสิตและนักศึกษาระดับปริญญาโทและปริญญาเอก การจัดการประชุมวิชาการในครั้งนี้จะเป็นเวทีแลกเปลี่ยนเรียนรู้ที่สำคัญทางการวิจัยระหว่างนักวิจัย นักวิชาการ ภาควิชาฯ และนิสิตนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา ทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย ตลอดจนการสร้างเครือข่ายการวิจัยและความร่วมมือทางวิชาการ ในมิติต่างๆ ที่จะนำไปสู่การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์อย่างยั่งยืนต่อไป

ในนามของมหาวิทยาลัยศรีปทุม ดิฉันขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. หงษ์ศักดิ์ วัฒนโคโค ศาสตราจารย์ระดับ 11 สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ นักวิจัยดีเด่นแห่งชาติ ศกาวิจิตต์แห่งชาติ และเมธีวิจัยอาวุโส สกว. ที่ได้ให้เกียรติบรรยายพิเศษ เรื่อง "วิจัยและนวัตกรรมสำหรับประเทศไทย 4.0" และขอขอบคุณประธานห้องย่อย ตลอดจนผู้เข้าร่วมการประชุมวิชาการ ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความวิจัยทุกท่าน และคณะกรรมการจัดการประชุมวิชาการฯ ที่ทำให้การจัดการประชุมวิชาการในครั้งนี้ เป็นไปด้วยความเรียบร้อย และบรรลุวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ทุกประการ


(ดร.รัชนิพร ทุกษารณ์ ทุกษารณ)
อธิการบดี

คณะกรรมการจัดงานประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
ครั้งที่ 12 ปีการศึกษา 2560

1. ที่ปรึกษา

- | | |
|--------------------------|-----------|
| (1) อธิการบดี | ที่ปรึกษา |
| (2) ที่ปรึกษามหาวิทยาลัย | ที่ปรึกษา |
| (3) รองอธิการบดี | ที่ปรึกษา |
| (4) ผู้ช่วยอธิการบดี | ที่ปรึกษา |

2. คณะกรรมการจัดประชุม

- | | |
|--|--|
| (1) รองศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์ อุดมธม | ประธาน (มหาวิทยาลัยศรีปทุม) |
| (2) ศาสตราจารย์ ดร.ประภาส จงสถิตย์วัฒนา | กรรมการ (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) |
| (3) ศาสตราจารย์ ดร.ไพฑูริย์ สินดารวัฒน์ | กรรมการ (มหาวิทยาลัยธุรกิจสัมพันธ์) |
| (4) ศาสตราจารย์ ดร.วรงค์ กนกนุกุลชัย | กรรมการ (สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง) |
| (5) ศาสตราจารย์ ดร.สุกัญญา ธาระประภาณ | กรรมการ (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) |
| (6) ศาสตราจารย์กิตติคุณ เฉลา บุญคำ | กรรมการ (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) |
| (7) ศาสตราจารย์กนกนที ใจาวรรณ | กรรมการ (ศาลากลางนากลาง) |
| (8) ศาสตราจารย์วงจันทร์ ทัศนวิฑู | กรรมการ (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์) |
| (9) รองศาสตราจารย์ ดร.กาญจนา นันทาท | กรรมการ (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) |
| (10) Prof. Dr.Howard W Combs | กรรมการ (San José State University, USA) |
| (11) Prof. Dr.Marina Vayndor-Sysoeva | กรรมการ (Sholokhov Moscow State University for the Humanities, Russia) |
| (12) Prof. Dr.Yoshida Masami | กรรมการ (Chiba University, Japan) |
| (13) Prof. Dr.YoungHwan Kim | กรรมการ (Pusan National University, Republic of Korea) |
| (14) Dr.en C.E.T. Juan José Contreras Castillo | กรรมการ (Universidad de Colima, Mexico) |
| (15) Dr.Daniel Tan Tiong Hok | กรรมการ (Taylor's Education Group, Malaysia) |
| (16) รองศาสตราจารย์ ดร.สุเมธ ชูธรรม | เลขานุการ (มหาวิทยาลัยศรีปทุม) |

3. คณะกรรมการอำนวยการ

- | | |
|---|-----------|
| (1) รองอธิการบดี (รองศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์ อุดมธม) | ประธาน |
| (2) รองอธิการบดี วิชาเศรษฐศาสตร์ (ดร.บุญมา ชัยจินดา) | รองประธาน |
| (3) รองอธิการบดี (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิจิตร ใจพิสุทธิ์พันธ์) | รองประธาน |
| (4) ผู้ช่วยอธิการบดีทุกคน | กรรมการ |
| (5) คณบดีทุกคณะ | กรรมการ |
| (6) ผู้อำนวยการสำนักวิทยบริการทั่วไป | กรรมการ |
| (7) ผู้อำนวยการวิทยานิพนธ์ นานาชาติ | กรรมการ |

- | | |
|---|------------------|
| (8) ผู้อำนวยการกลุ่มงานทุกกลุ่ม | กรรมการ |
| (9) รองคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย วิทยาเขตธนบุรี | กรรมการ |
| (10) ผู้อำนวยการหลักสูตรทุกหลักสูตร | กรรมการ |
| (11) ผู้อำนวยการศูนย์ส่งเสริมและพัฒนา นานาวิทย์ | เลขานุการ |
| 4. คณะกรรมการพิจารณาผลงาน | |
| (1) ผู้อำนวยการศูนย์ส่งเสริมและพัฒนา นานาวิทย์ | ประธาน |
| (2) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ ถิทธิจิวิวัฒน์ | รองประธาน |
| (3) ศาสตราจารย์ ดร.สุณีย์ นาคีภิระมาลย์ | กรรมการ |
| (4) รองศาสตราจารย์ ดร. ไทบุณย์ มีบุญตะโก | กรรมการ |
| (5) รองศาสตราจารย์เอกธิดา เสริมทอง | กรรมการ |
| (6) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วราภรณ์ ไทยมหา | กรรมการ |
| (7) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุจิตภรณ์ สีนจัญญ์ภักดิ์ | กรรมการ |
| (8) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิรินธร สีนจันทรวงค์ | กรรมการ |
| (9) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราณี มณีวิรัตน์ | กรรมการ |
| (10) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภัสสรา ธาราทงศ์ | กรรมการ |
| (11) ดร.ชานนท์ วาสิณเณ | กรรมการ |
| (12) นางนิภากรรณ ทูตสงครามดี | เลขานุการ |
| (13) นางสาวอภิญญา ทองนาค | ผู้ช่วยเลขานุการ |
| (14) นายวิกรมทอง สนิทษา | ผู้ช่วยเลขานุการ |
| 5. คณะกรรมการประชาสัมพันธ์ จัดโปรแกรม จัดพิมพ์เอกสาร และจัดทำรายงานสืบเนื่อง | |
| การประชุมวิชาการ (CD-Proceedings) | |
| (1) ผู้อำนวยการสำนักงานประชาสัมพันธ์ | ประธาน |
| (2) เจ้าหน้าที่สำนักงานประชาสัมพันธ์ทุกคน | กรรมการ |
| (3) เจ้าหน้าที่โรงพิมพ์ทุกคน | กรรมการ |
| (4) นางสาวอรอุมาทอง หงษ์สินธุ์ | เลขานุการ |
| (5) นายณัฐพล สิมบรรจง | ผู้ช่วยเลขานุการ |
| (6) นางวิศพรณ นันทพรขจรกิจ | ผู้ช่วยเลขานุการ |
| 6. คณะกรรมการจัดทำและดูแล Website การประชุมวิชาการ | |
| (1) ผู้อำนวยการศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร | ประธาน |
| (2) เจ้าหน้าที่ศูนย์ ICT ทุกคน | กรรมการ |
| (3) นายวิวุฒ์ สักสุระ | เลขานุการ |
| 7. คณะกรรมการฝ่ายอาคารและสถานที่ | |
| (1) ผู้อำนวยการสำนักงานอาคารและสถานที่ | ประธาน |
| (2) นายภาคภูมิ อวอกรศิริโพธิ์ | รองประธาน |
| (3) นายศกสรรค์ เอื้อ ๕พระ | กรรมการ |
| (4) นายสมบูรณ์ อสงอินทร์ | กรรมการ |

(5) นายวิพล ชาติธรรม	กรรมการ
(6) นายเสน่ห์ เข็มพรหมมา	กรรมการ
(7) นายสมหมาย เขื่อนกลาง	กรรมการ
(8) นายอ วิสิทธิ์ กัญชิวา	กรรมการ
(9) นายอนันต์ บุญสอน	กรรมการ
(10) นางสาวทัศนีย์ ประทานพร	กรรมการ
(11) นายประสงค์ อุดมปรมปรี	กรรมการ
(12) นางสาวสุพิศวรา บิน ไสว	เลขานุการ
(13) นายธงชัย เขื่อนทอง	ผู้ช่วยเลขานุการ
(14) นางวิมล ขมจำปี	ผู้ช่วยเลขานุการ
๘. คณะกรรมการฝ่ายจัดเลี้ยง	
(1) คณะบดีวิเทศาธิการท่องเที่ยวและนันทนาการ	ประธาน
(2) ดร.ศุภวรรณ นังคภาภิวัฒน์	กรรมการ
(3) นางวณิ อมรินทร์รัตน์	กรรมการ
(4) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดิฐุชกรณ์ กาญจนกิจอนันต์	กรรมการ
(5) นางสาวดวงเดือน อางสมบุญ	กรรมการ
(6) นายโกสินทร์ ปานเนียม	กรรมการ
(7) นายนครินทร์ หังทอง	กรรมการ
(8) นางสาวภาวสิน อินทร์บุญน้อย	กรรมการ
(9) นางสาวช รัชฎาภา สาระนง	กรรมการ
(10) นางสาวนิชาภัทรณี ศิวังค์	กรรมการ
(11) นางเดือนใจ ศรีระภู	กรรมการและเลขานุการ
(12) นางฉัตรวิมล พุทธวงษ์	ผู้ช่วยเลขานุการ
(13) นางสาวทัศนีย์ ประทานพร	ผู้ช่วยเลขานุการ
๙. คณะกรรมการฝ่ายบริหารเทคโนโลยี แสง เสียง ทัศนศิลป์กราฟ	
(1) ผู้อำนวยการศูนย์บริการเทคโนโลยี	ประธาน
(2) ผู้อำนวยการศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร	รองประธาน
(3) ผู้อำนวยการศูนย์สื่อ	รองประธาน
(4) นายทวาร จรูญ โภภิจสุ	กรรมการ
(5) นายณวัฒน์ จวดี	กรรมการ
(6) นายกฤษ กิ่งแสง	กรรมการ
(7) นายวิรัช ทรัพย์ชัย	กรรมการ
(8) เจ้าหน้าที่ศูนย์ผลิตสื่อทุกคน	กรรมการ
(9) นายสมชาย บุรพวงภักดิ์	เลขานุการ

10. คณะกรรมการฝ่ายต้อนรับ ออทเธอร์เขียน และประเมินผล

(1)	ผู้อำนวยการสำนักวิชาศึกษาศาสตร์	ประธาน
(2)	ผู้อำนวยการคณาจารย์อำนวยการ วิชาจีน	รองประธาน
(3)	ผู้อำนวยการคณาจารย์ ดร.สมเกียรติ ทั่วอชรัตน์	กรรมการ
(4)	ผู้อำนวยการคณาจารย์ ธนภณ สมหวัง	กรรมการ
(5)	ผู้อำนวยการคณาจารย์ ปวีณา ศุภวัฒน์	กรรมการ
(6)	ผู้อำนวยการคณาจารย์ธีรยุทธ คำนวณ	กรรมการ
(7)	ผู้อำนวยการคณาจารย์มงคล พริ้งสุโข	กรรมการ
(8)	ผู้อำนวยการคณาจารย์ปรณมณี ปัญญาเหล็ก	กรรมการ
(9)	ผู้อำนวยการคณาจารย์มนนภา เทพสุต	กรรมการ
(10)	ว่าที่ ร.ล.สมเกียรติ เศรษฐคุณเฉลิมสุข	กรรมการ
(11)	นางสาวอัมย์ชญาน์ อนันท์พานิช	กรรมการ
(12)	นายบรรณกิจ แก้วสาร	กรรมการ
(13)	นางสาวศิมภัทร ทองหล่อ	กรรมการ
(14)	นางสาวพรณี บุญสุชา	กรรมการ
(15)	นายพิชิต แก้วธนา	กรรมการ
(16)	นางวันเพ็ญ ออธันต์	กรรมการ
(17)	นางสาวกัญญา สงสมมติ	กรรมการ
(18)	นางสาวณิธีรัตน์ เกตุไธสง	กรรมการ
(19)	นางสาวศุภประภา สุวรรณะ	กรรมการ
(20)	ผู้อำนวยการคณาจารย์ ดร.ชไมพร ชัยวัฒนาวรรณ	กรรมการ
(21)	นางสาวกวีพรรณ ศรีบุญ	เลขานุการ

11. คณะกรรมการฝ่ายพิธีการ

(1)	ดร. โทนี ภูชาพิศน บศรี	ประธาน
(2)	ดร.อรุณ พิภพทองคำ	กรรมการ
(3)	นางสาวศุภชญา เพชรวิระ	กรรมการ
(4)	นางสาววิศิตยา กิ่งศรี	กรรมการและเลขานุการ

รายงานผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ
การประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ มหาวิทยาลัยศรีปทุม ครั้งที่ 12 ประจำปี 2560

ศาสตราจารย์ตีกันจู้ ดร.จันน็อง ชวงหระถูด	Far East University, South Korea
ศาสตราจารย์ ดร.จันทน์ อติวิมลสิทธิ์	มหาวิทยาลัยเกษมศาสตร์
ศาสตราจารย์ ดร.สันศักดิ์ ศรีอนันต์โทปูลย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.กาญจนา แก้วเทพ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รองศาสตราจารย์ ดร.กิริติ พงษ์กุกศิริ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
รองศาสตราจารย์ ดร.ครรชิต ทะกอง	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
รองศาสตราจารย์ ดร.จรัสดา อินทรทัศน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.ศ.อ.หญิง ดร. กิยธันนพร เกษมโตมร	วิทยาลัยพยาบาลตำรวจ
รองศาสตราจารย์ ดร.ธัญญา วสุศรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.สรนภักดิ์ รุจิระธรรวธ	มหาวิทยาลัยรังสิต
รองศาสตราจารย์ ดร.บุญศรี พรหมมาพันธุ์	มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
รองศาสตราจารย์ ดร.ประพนธ์ เขียวถูด	มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
รองศาสตราจารย์ ดร.เปียงกร พรมมาหา	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
รองศาสตราจารย์ ดร.ปวีชา กอเจริญ	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
รองศาสตราจารย์ ดร.ปวีรบุษย์ อภิบุณ โภภาส	มหาวิทยาลัยเกษมศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.ไฮจิน แก้วกิติ	มหาวิทยาลัยมหิดล
รองศาสตราจารย์ ดร.วิษณุกุล วิทยุไธยาบุญรัตน์	มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
รองศาสตราจารย์ ดร.วิจิตร กิมเวศ	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รองศาสตราจารย์ ดร.กรวิชัย วรธนังนวิธา	มหาวิทยาลัยเกษมศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.ศุภนิษฐ์ เหมะประสิทธิ์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
รองศาสตราจารย์ ดร.สรนพ จินะ วัฒน	มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
รองศาสตราจารย์ จรินทร์ เทศวณิช	มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
รองศาสตราจารย์ โฉไท สักสิรพงศ์	มหาวิทยาลัยเกษมศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ชันจิตต์ ณังเจนกิจ	มหาวิทยาลัยเกษมศาสตร์
รองศาสตราจารย์ นิศยา เป็นประเสริฐศรี	มหาวิทยาลัยเกษมศาสตร์
รองศาสตราจารย์ นิภา ศรีโพธิ์จันทร์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
รองศาสตราจารย์ รุ่งฤดี ผลองกร	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
รองศาสตราจารย์ ธงพร ชวนาคม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ เอกธิลา เสริมทอง	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กาญจนา มีศิลป์ภักดิ์	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภุชวรา สุวรรณพิณ	มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนิษฐา ชัยรัตนารวม	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนิษฐา วงศ์รัตนแก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชอชิก คาราวณีย์	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพร ธวัชนิธิคุณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐวุฒิ ยี่หวาโกวิทวงศ์	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เทพฤทธิ์ มีนพิศพัฒนวงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนวรรณ แซ่สุวรรณ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนินี มณีศรี	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิพนธ์ ฉงสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประพนธ์ บุญไชยอภิสิทธิ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ ภิรมย์จิรพัฒน์	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พระพิพัฒน์ ภักดีบุตร	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิภพวิไล ไชยพันธุ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุเทพศักดิ์ สุขธำรง	มหาวิทยาลัยบูรพา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รุ่งโรจน์ บุญคำ	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรวิทย์ นีลประกร	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วราภรณ์ วงศ์โคตมวังศิริเจริญ	มหาวิทยาลัยบูรพา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วราภรณ์ ไทธนา	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีไล อิ่มถาวรเนนซ์	มหาวิทยาลัยบูรพา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิรัช ชื่นถน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิมลรัตน์ สมนบุญชัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริวิทย์ ห่วงแสงสุข	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ กระจ่างสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมบุญ ธาระพิศ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริมนตร์ สิ้นสิ้นคำวงศ์	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุทัศน์ ฤทธิสุภา	มหาวิทยาลัยศิลปากร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุวิมลดา เกษรเทศ	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โสภณ เจริญ	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิภา ปรียานุพนธ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนรดา สิริศรีวิวัฒน์	มหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุพงษ์ อภิภูธร	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัครเดช วาณิชชินชัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ธนกันต์ สมพรวิ	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นฤมล มีนโค	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ปวงนัฐ บุญญาพิทักษ์	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
ดร.ชาติ วรกุลพิพัฒน์	ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ
ดร.ทวี ชื่นชัยชนะ	มหาวิทยาลัยสยาม
ดร.นาวัน มีนระกร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ดร.บุญญาดา นาทนบุรุษ
 ดร.สุพิทพงษ์ หุ่นโสภาท
 ดร.ภาณุวราวรรณ ศูนย์ทวารวดี
 ดร.มงคล อัสวสิทธิ์กุล
 ดร.วิษณุ ฉันททรัพย์
 ดร.ธงฉวี จีระดิษฐ์
 ดร.ฉัตร ศรีศิริ โขติ
 ดร.บุญเนน วัฒนวิทย์
 ดร.วรากร แซ่มณีเอี่ยม
 ดร.วิรัชกร ทองหล่อ
 ดร.ศุภกร บุญญฤทธิ์
 ดร.สุวิทย์ฉาย ทอวัน
 ดร.อาทิตย์ โสภณโสม
 อาจารย์สุชาญญาณี กิ่งแก้ว
 Dr. Yuanfeng Cai

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น
 สำนักงานจัดการศึกษาไทยคดีศึกษา
 มหาวิทยาลัยมหิดล
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
 กระทรวงสาธารณสุข
 บริษัท การบินไทย จำกัด (มหาชน)
 มหาวิทยาลัยบูรพา
 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
 บริษัท เพรสซิเดนทียอโตโมบิล จำกัด
 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
 มหาวิทยาลัยรังสิต
 มหาวิทยาลัยศรีปทุม
 การไฟฟ้าผลิตแห่งประเทศไทย
 มหาวิทยาลัยศรีปทุม
 Sripatum University





กำหนดการประชุมวิชาการ
การประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ มหาวิทยาลัยศรีปทุม ครั้งที่ 12 ประจำปี 2560
เรื่อง “ผลงานวิจัยและนวัตกรรมสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน”
วันพฤหัสบดีที่ 14 ธันวาคม 2560
ณ ห้อง Auditorium 1-2 ชั้น 14 อาคาร 40 ปี มหาวิทยาลัยศรีปทุม บางเขน

08.30-09.00 น.	ลงทะเบียนรับเอกสาร ชม VDO presentation แนะนำมหาวิทยาลัยศรีปทุม
09.00-09.15 น.	พิธีเปิด กล่าวรายงาน โดย รองศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์ อุดมอม รองอธิการบดี และประธานคณะกรรมการจัดงาน กล่าวเปิดการประชุม โดย ดร.วิเชนทร์ ทศตยาวัฒน์ ทุกะเกษ อธิการบดี มหาวิทยาลัยศรีปทุม
09.15-10.30 น.	ปาฐกถาพิเศษ หัวข้อเรื่อง “วิสัยทัศน์นวัตกรรมสำหรับประเทศไทย 4.0” โดย ศาสตราจารย์ ดร.มดงศักดิ์ วัฒนไชย ศาสตราจารย์ ระดับ 11 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ นักวิจัยดีเด่นแห่งชาติ
10.30-10.45 น.	บรรยายพิเศษ หัวข้อเรื่อง: “Role of Water-Energy-Waste Inter-Relatedness to Drive Sustainability amid Climate Concerns” By Dr. Salil K. Sen Visiting Faculty and Applied Researcher, NIDA Asst. Prof. Dr. Janya Pookayaporn Vice President of Sripatum University, Thailand
10.45-11.00 น.	พักรับประทานอาหารว่าง
11.00-12.00 น.	การนำเสนอผลงานวิจัย (ห้องย่อย) กลุ่มที่ 1 International Papers กลุ่มที่ 2 ผลงานวิชาการสาขามนุษยศาสตร์ และสังคมศาสตร์ กลุ่มที่ 3 ผลงานวิชาการสาขาวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี
12.00-13.00 น.	พักรับประทานอาหารกลางวัน (อาคาร 40 ปี ชั้น 4 ห้อง Convention 1-2)
13.00-16.30 น.	การนำเสนอผลงานวิจัย (ห้องย่อย) กลุ่มที่ 1 International Papers กลุ่มที่ 2 ผลงานวิชาการสาขามนุษยศาสตร์ และสังคมศาสตร์ กลุ่มที่ 3 ผลงานวิชาการสาขาวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี

สารบัญบทความ (ต่อ)

หน้า

การแก้ปัญหาการเลือกวัสดุก่อสร้างและคำนวณหลังคาด้วยการประยุกต์ใช้วิธีไวโครบและกระบวนการ
ลำดับชั้นเชิงวิศวกรรม

ทศศิลา มีเกียรติ์ ทรงกวีภา หล้ากมล วิมลรศนา ๗ เศษภา วิญญูภรณ์ วิมลวีรวงศ์
และ ชวกริต ศรีสุวรรณรัตน์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร..... 2247

การประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบในการประเมินปัญหาในการประยุกต์ใช้
สัญญา FIDIC ในงานก่อสร้าง

ทศศิลา มีเกียรติ์ คุณิศา รามภูริณีน อภิวิษณุ พุทธธนา วิมลรศนา ๗ เศษภา และ วิญญูภรณ์ วิมลวีรวงศ์
คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร..... 2257

ตัวคูณลดกำลังรับแรงดัดของพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้ความเค้นดึงด้วย CFRP ที่รับดัดแบบจุดก่อน
๗ ด้านความหนาผิวสูง

ชัชวาลย์ พูนอภพรณิษ ญัฐ โฉมน์ จุฑาวิวัฒน์ วิมลวิไลภา สันตบุตร อรรถบุษ หร โสม ภนภรรวณ สันศิริชัย
และ กิตติศักดิ์ มณีแก้วรัตน์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม..... 2268

การวางแผนงานร่วมกับการวิเคราะห์ข้อผิดพลาดในงานสถาปัตยกรรมโดยใช้การวิเคราะห์ฟัซซี่และ PERT

ทศศิลา มีเกียรติ์ และ สุวิชัย สมนวงค์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร..... 2278

การประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์คุณลักษณะความถี่ของผลและผลกระทบเพื่อลดข้อผิดพลาด
ในงานติดตั้งระบบไฟฟ้าอาคาร

ไพจิตร ศรีวัน และ นิเมศ บุญธรรมย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม..... 2289

การเลือกกระบวนการสร้าง 1.๐ เมตร และระบบรางกว้าง 1.435 เมตร ด้วย TOPSIS และ AHP

ทศศิลา มีเกียรติ์ และ นฤคุณ ทนเมืองศรี คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร..... 2301

การพัฒนาวัสดุชีวประอบขมเป็นเส้นใยเรทอนี โพรตีนสำหรับเป็น วัสดุเคลือบ

วนิดา ฮึงง สุวรรณมาลย์ เมียนพอลม และอดิษฐ์ มีนงค์ ภาควิชาวิศวกรรม วัสดุและ โลหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี..... 2312

ถอดเทปภาคต่อเชิงปริมาณเปรียบเทียบกันข้อต่อปลายคานคดหน้าคานและปลาน้ำคดคดหน้าคานในประเทศไทย

ปณิญา สมใจชัย และ สุวิไลชัย ธีประทอง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ..... 2322

การศึกษาคูณสมมติของแนวโรคทางจิตเวชทางสุขภาพจิต (The Mental Health Latency Scale) ฉบับภาษาไทย

รังสิภรณ์ ศรีเกษม กอบขันธ์ อธิวิญญูภรณ์ และ สุชีรา กัทร สุศรรต คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล
มหาวิทยาลัยมหิดล..... 2332


การปรับปรุงสมบัติทางกลของวัสดุผสมอีพอกซีเรซินแรงดึงสูงแบบขาดปลีอกไฟ

สินทรัพย์ ศรีสุข อติษฐ์ มีนงค์ และ ศิริชัย ค้อตกุล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี..... 2343



มหาวิทยาลัยศรีปทุม
เกียรติบัตรฉบับนี้ให้ไว้เพื่อแสดงว่า


วนิดา ลีจง, สุมนมาลย์ เนียมกลาง, อนินท์ มีมนต์

ได้เข้าร่วมนำเสนอผลงานวิชาการ
ในการประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ มหาวิทยาลัยศรีปทุม ครั้งที่ ๑๒ ประจำปี ๒๕๖๐ 

เรื่อง ผลงานวิจัยและนวัตกรรมสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน

วันพฤหัสบดีที่ ๑๔ ธันวาคม ๒๕๖๐

ขอให้มีความสุข และความสำเร็จตลอดไป
ให้ไว้ ณ วันพฤหัสบดีที่ ๑๔ ธันวาคม ๒๕๖๐


(ดร.วินิทร พุฒยารักษ์ ทุกะมาน)
อธิการบดี





NATIONAL AND
INTERNATIONAL
SRIPATUM
UNIVERSITY
CONFERENCE
2017

การประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
ครั้งที่ 12 ประจำปี 2560

The 12th National and International Sripatum University
Conference (SPUCON2017)

เรื่อง

“ผลงานวิจัยและนวัตกรรมสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน”

Research and Innovations to Sustainable Development

วันพฤหัสบดีที่ 14 ธันวาคม 2560 เวลา 8.30-16.30 น.

ณ ห้อง Auditorium ชั้น 14 อาคาร 40 ปี

มหาวิทยาลัยศรีปทุม

ห้องที่ 2 : 11-1108 (วิศวกรรมศาสตร์)
 ประธาน : ผศ.ดร. ไพจิตร ผาวัน
 เลขานุการ : อ. ชินณัฐ อัมพรอำนวย

เวลา	ชื่อบทความ	ผู้นำเสนอ
13.15-13.30 น.	การเลือกระบบรางกว้าง 1.0 เมตร และระบบรางกว้าง 1.435 เมตร ด้วย TOPSIS และ AHP	เทอดศิลา ทิพย์รัตน์ และธนพคุณ พงษ์เมืองศรี คณะวิศวกรรมศาสตร์และ สถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
13.30-13.45 น.	การพัฒนาวัสดุเชิงประกอบขึ้นเบ็ดเสริมแรงท่ออีพ็อกซีไฟเบอร์สำหรับเป็นวัสดุตกแต่ง	วิภากร สิงขร สมงามาลัย เนิมกลาง และชรินทร์ มีมณฑ ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ธัญบุรี



การพัฒนาวัสดุเชิงประกอบขมเป็ดเสริมแรงพอลิโพรพิลีนสำหรับเป็นวัสดุตกแต่ง
THE DEVELOPMENT OF DUCK FEATHERS REINFORCED
POLYPROPYLENE COMPOSITE FOR DECORATION APPLICATION

วนิดา สิง

ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

E-mail: wanida_s@mail.rmutt.ac.th

สุมนมาลย์ เกี่ยมกลาง

ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

E-mail: sumonman.n@en.rmutt.ac.th

อนิษฐ์ มีมนต์

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

E-mail: anin.m@en.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

ขมเป็ดเป็นวัสดุคืบเหลือใช้จากอุตสาหกรรมปศุสัตว์ที่อยากต้องการบริหารจัดการ และต้องเสียค่าใช้จ่ายในการบริหารจัดการสูง ดังนั้นการนำขมเป็ดเหล่านี้มาใช้ให้เกิดประโยชน์เพิ่มมูลค่าจึงมีความจำเป็น ในงานวิจัยนี้จึงต้องการพัฒนาวัสดุตกแต่งที่ขึ้นรูปจากขมเป็ดเสริมแรงด้วยพอลิโพรพิลีน เพื่อศึกษาผลของปริมาณขมเป็ดต่อสมบัติเชิงกลและกายภาพ ขมเป็ดที่อัตราส่วน 0,2,4,6,8 และ 10 ไร่จะละ โดยน้ำหนัก ออกผสมลงไปเพื่อเสริมแรงในพอลิโพรพิลีน นอกจากนี้ยังได้ศึกษาผลของวิธีปรับปรุงผิวสัมผัสของขมเป็ดและพอลิโพรพิลีนเสริมด้วยวิธีการปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธี Alkalization และการใช้สารคู่ควบ MA-g-PP ถูกศึกษาต่อสมบัติเชิงกลและกายภาพของวัสดุเชิงประกอบ ขมเป็ดที่ออกปรับปรุงและไม่ออกปรับปรุงถูกผสมด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง และอัดขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องอัดร้อน 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที วัสดุเชิงประกอบขมเป็ดเสริมแรงพอลิโพรพิลีนมีความต้านทานแรงดึงลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณขมเป็ด ค่าความต้านทานแรงกระแทก และความต้านทานแรงดัดโค้งลดลง เนื่องจากการเข้ากันไม่ได้ระหว่างขมเป็ดและพอลิโพรพิลีนเกิดช่องว่างระหว่างขมเป็ดและพอลิโพรพิลีน อันอัน ได้จากกล้องจุลทรรศน์ของวัสดุเชิงประกอบที่ขึ้นด้วยได้จากเครื่อง SEM เมื่อมีการปรับปรุงผิวขมเป็ดด้วยวิธี Alkalization และการเติมสารคู่ควบ MA-g-PP พบว่าช่องว่างระหว่างขมเป็ดและพอลิโพรพิลีนลดลงส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึง ค่าความต้านทานแรงกระแทก และความต้านทานแรงดัดโค้งลดลงดีขึ้นกว่าในระบบที่ไม่มี การปรับปรุงผิวของขมเป็ด ดังนั้นวัสดุเชิงประกอบจากขมเป็ดที่เป็นของเหลือจากอุตสาหกรรมปศุสัตว์นั้นสามารถนำไปใช้เป็นวัสดุทางเลือกสำหรับตกแต่งได้

คำสำคัญ: ขมเป็ด, พอลิโพรพิลีน, อัลคาไลเซชัน, สารคู่ควบ

ABSTRACT

Duck feathers is the worthless by product from livestock industry, which has high waste management cost. The value added to duck feather is required. In this research work, duck feathers reinforced polypropylene (PP) was developed as decoration material. To study the effect of amount of duck feathers on mechanical properties, amount of duck feathers of 2,4,6,8,10%w/w was mixed with PP as reinforcement fiber. To study the surface modified method on mechanical and physical properties, duck feathers was treated by alkalinization method and adding coupling agent (MA-g-PP) were used. The compounds were mixed by two roll mill and fabricated by compression molding at 170 °C for 5 min. The impact strength, flexural strength and tensile strength decrease with increasing amount of duck feather due to the poor interface between duck feather and PP, confirming by SEM micrograph. To improve the interface limitations treated duck feather and coupling agent was used. The interface between duck feather and PP was improved. The mechanical properties of surface treatment and adding coupling agent composite system are higher than neat duck feather system. Thus worthless duck feather reinforced PP can be alternative choice for decorative material.

KEYWORDS: Duck feathers, Polypropylene, Alkalinization, Coupling agent

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

เป็ดเป็นสัตว์ปีกที่ถูกใช้สำหรับการบริโภคเป็นจำนวนมาก ในการผลิตอาหารจากเป็ดนั้นจะมีเศษเหลือ เช่น ขนเป็ดเป็นจำนวนมาก ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นเครื่องนุ่งห่ม หรืออุปกรณ์เครื่องนอน แต่ก็ใช้ในพื้นที่น้อย และคัดเฉพาะบางส่วนเท่านั้น ดังนั้นขนเป็ดจึงเป็นวัสดุเหลือทิ้ง ซึ่งเสียค่าใช้จ่ายในการบริหารจัดการสูงมาก ดังนั้นการนำขนเป็ดมาใช้ประโยชน์สูงสุดจึงเป็นเรื่องที่จำเป็น

เส้นใยขนสัตว์เป็นส่วนหนึ่งของหนังสัตว์มีสารโปรตีนที่เรียกว่า เคราติน (keratin) เป็นสารประกอบทางเคมีสมบูร์น เคราตินนั้นประกอบไปด้วยกรดอะมิโนประมาณ 18 ชนิด คอลเลเจนเป็นสายโซ่ยาวเรียกว่า Polypeptide Chain มีลักษณะโมเลกุลเป็นสายโซ่ยาว และบิดเกลียวหลายโดยขนนก และยึดเกาะกันด้วยไฮโดรเจนบอนด์ (hydrogen bond) การเรียงตัวของโมเลกุลไม่เป็นระเบียบจากการเชื่อมของซิสเคอจินที่มีธาตุกำมะถันในโมเลกุล และการเรียงตัวของโมเลกุลที่ไม่เป็นระเบียบนี้ทำให้เส้นใยขนสัตว์มีสมบัติยืดหยุ่นดี ไม่ฉีกง่าย และคืนตัวได้ดี [1] จึงได้มีการนำเส้นใยขนสัตว์มาเสริมแรงในพลาสติกสำหรับใช้ในงาน พัฒนาของคอมโพสิตเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับการแปรรูปของเส้นใยการเกษตรเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีประโยชน์ เช่น การนำขนไก่มาเสริมแรงในพลาสติกที่เพิ่มความหนาแน่นค่า [2] หรือ พอลิแลคติกแอซิด [3] เนื่องจากการเติมขนไก่มีสมบัติเชิงกลที่น้อยกว่าในระบบที่ไม่มีเติมขนไก่ เนื่องจากช่องว่างที่เกิดขึ้นระหว่างขนไก่และพลาสติกเมทริกซ์ ดังนั้นจึงมีการปรับปรุงพื้นผิวด้วยการเติมสารคู่ควบใยขน[4] พบว่าปริมาณการเติมขนไก่ที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับพลาสติกที่ไม่มีเติมขนไก่ จากการดูข้อมูลงานวิจัยจะพบการกระจายตัวของขนไก่และช่องว่างที่เกิดขึ้นระหว่างขนไก่กับเมทริกซ์

ด้วยเหตุนี้จึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาวัสดุคอมโพสิตที่ได้จากพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยเส้นใยคาร์บอนเป็นต้น สำหรับนำไปใช้เป็นวัสดุตกแต่ง โดยในงานวิจัยนี้จะศึกษาผลของปริมาณคาร์บอน การปรับปรุงผิวและการเติมสารดูดซับมลพิษเชิงกล และสมบัติทางกายภาพ เพื่อที่จะได้วัสดุทางเลือกใหม่สำหรับเป็นวัสดุตกแต่งและใช้จนเปิดซึ่งไม่มีคุณค่าให้เกิดประโยชน์สูงสุด

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- (1) เพื่อศึกษาระบบการขึ้นรูป และศึกษาอัตราส่วนผลการขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบจากคาร์บอนเสริมแรงในพอลิโพรพิลีน
- (2) เพื่อศึกษาผลของปริมาณคาร์บอนต่อสมบัติทางกลบางประการของวัสดุเชิงประกอบที่ขึ้นรูปได้
- (3) เพื่อศึกษาผลของการปรับปรุงผิวคาร์บอนด้วยวิธี Aminoxylation และการเติมสารดูดซับมลพิษเชิงกลและสมบัติทางกายภาพของวัสดุเชิงประกอบที่ขึ้นรูปได้

3. กรอบแนวคิดในการวิจัย



แผนภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 การขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยเส้นใย

4.1.1 การเตรียมเส้นใย

เส้นใยถูกนำมา ทำความสะอาดด้วยการล้างด้วยน้ำสะอาด ตากแดดให้แห้งสนิท แล้วนำเข้าสู่อบเพื่อทำการไล่ความชื้นออกจากเส้นใยที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำเส้นใยที่ผ่านการล้างแล้วไปแยกเส้นใยออกจากเอวเฉพาะส่วนสั้นๆนำไปใช้ในการขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบ ดังภาพที่ 2



แผนภาพที่ 2 การคัดแยกเส้นใย

เพื่อศึกษาผลของปริมาณเส้นใยต่อสมบัติเชิงกลและสมบัติทางกายภาพ เส้นใยที่เตรียมได้ถูกผสมกับพอลิโพรพิลีนที่ปริมาณ 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 wt% (PP/DF0, PP/DF2, PP/DF4, PP/DF6, PP/DF8 และ PP/DF10) ด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกตลับ (Two Roll Mill) ใช้อุณหภูมิในการผสมอยู่ที่ 170 องศาเซลเซียส หลังจากผสมจนเข้ากันแล้ว นำไปขึ้นเป็นแผ่น โดยเครื่องอัดเป่าแบบไฮดรอลิก (Compression Molding) ที่ความดัน 250 MPa อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที แล้วทำการตัดอุณหภูมิของชิ้นด้วยการหล่อเย็น หลังจากนั้นนำชิ้นงานที่ได้ไปทำการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลเพื่อเลือกปริมาณการเติมเส้นใยแต่ละชนิดที่เหมาะสมเพื่อทำการศึกษาผลของการปรับปรุงพื้นผิวต่อสมบัติเชิงกลและสมบัติทางกายภาพต่อไป

เพื่อศึกษาผลของการปรับปรุงผิวด้วยวิธี Alkalinization เส้นใยถูกนำมาแช่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์โดยวัดค่า pH 11 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และล้างจนมีค่า pH เท่ากับ 7 ด้วยเครื่องวัดค่า pH meter (รุ่น FE20 FiveEasyTM pH) แล้วนำไปอบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังศึกษาผลของการเติมสารคู่ควบลงไป Maleic anhydride grafted polypropylenes (MA-g-PP) ในปริมาณ 1 wt%

4.2 การทดสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบที่ขึ้นรูปได้

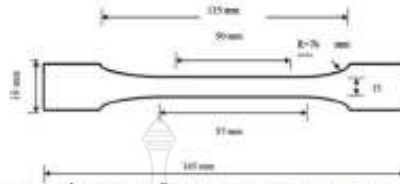
4.2.1 การทดสอบสิ่งฐานวิทยา

ทดสอบสิ่งฐานวิทยา ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เพื่อการยึดเกาะระหว่างเมทริกซ์และเส้นใยเสริมแรง โดยดูลักษณะการแตกหักของวัสดุซึ่งจะแสดงออกจะเป็นตัวบ่งชี้ว่าชิ้นงานของเรามีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้นหรือไม่ และยังสมารถบอกได้ว่าชิ้นงานของเรามีลักษณะเหนียวหรือเปราะ

4.2.2 การทดสอบสมบัติวัสดุ

4.2.2.1 ทดสอบการทนดึงแรงดึง (Tensile Strength Test)

การทนทานต่อแรงดึงดึงเตรียมชิ้นงานทดสอบเป็นรูปดัมเบลที่มีขนาดตามมาตรฐาน ASTM D638 โดยมีขนาดความยาว 165 mm. ความกว้าง 13 mm. ความหนา 3 mm. ทั้งหมด 9 ชิ้น เพื่อเปรียบเทียบ ดังแสดงขนาดของชิ้นงานทดสอบในแผนภาพที่ 3



แผนภาพที่ 5 ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบความทนทานต่อแรงดึง

ทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความทนทานต่อแรงดึง LLOYD LR 10 K Load ใช้ความเร็วในการดึง 5 มิลลิเมตรต่อนาที แล้วเริ่มทำการทดสอบและทำการรายงานผลของค่าความทนทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) ค่าอิมมอดูลัส (Young's modulus) และเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด (% elongation at break)

4.2.2.2 ทดสอบการทนต่อการโค้งงอ (Flexure strength test)

การทดสอบหาค่าความแข็งแรงโค้งงอเป็นการหาค่าความสามารถในการทนต่อแรงที่จะมากระทำ ก่อนที่จะเกิดการโค้งงอ ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D790 โดยในการทดสอบจะทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล (Universal Testing Machine) ขนาดความกว้าง 12.7 mm, 89.1, 125 mm. และหนา 3 mm ทั้งหมด 10 ชิ้น เพื่อเปรียบเทียบ ดังแสดงขนาดของชิ้นงานทดสอบในแผนภาพที่ 4

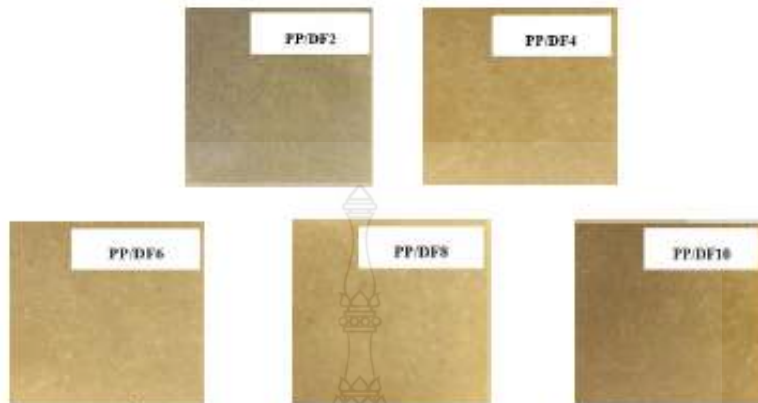


แผนภาพที่ 4 แสดงขนาดของชิ้นงานทดสอบความทนทานการโค้งงอ

5. ผลการทดลองและการอภิปรายผล

5.1 สมบัติทางกายภาพของวัสดุเชิงประกอบที่ขึ้นรูปได้

วัสดุเชิงประกอบที่เสริมแรงด้วยเส้นใยสามารถขึ้นรูปได้ชิ้นงานสีเหลืองอมน้ำตาล เหมาะสมสำหรับนำไปใช้เป็นวัสดุตกแต่งได้ ดังแสดงในแผนภาพที่ 5

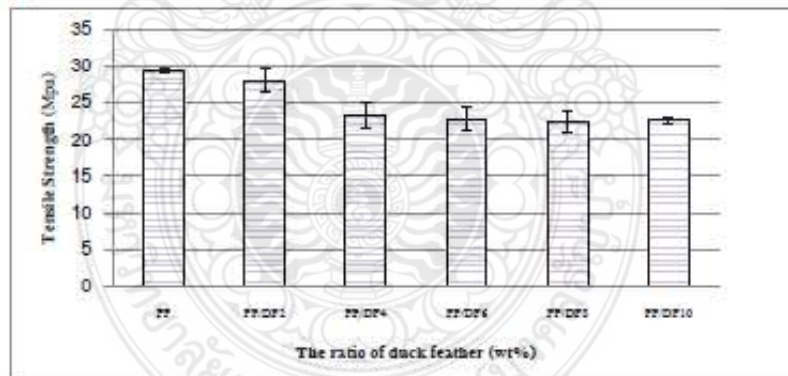


แผนภาพที่ 5 ตัวอย่างแผ่นวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยขนเป็ดที่สัดส่วนขนเป็ดต่างๆ

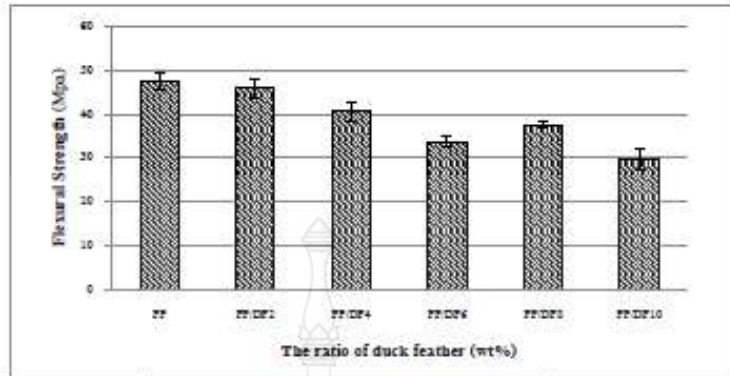
5.2 ผลของปริมาณขนเป็ดต่อสมบัติทางกลของวัสดุเชิงประกอบที่ขึ้นรูปได้

เพื่อศึกษาผลของปริมาณของขนเป็ดต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบที่ขึ้นรูปได้ ขึ้นงานที่ ปริมาณขนเป็ด 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 หน้ (PP/DF0, PP/DF2, PP/DF4, PP/DF6, PP/DF8 และ PP/DF10) ถูกนำไป ทดสอบการทนต้งแรงดึง (Tensile testing) การทนต้งการโค้งงอ (Flexural Strength)

พบว่าเมื่อมีการเติมขนเป็ดลงไปสมบัติการทนต้งแรงดึงลดลงจาก พอลิโพรพิลีนที่ไม่มีการเติม ขนเป็ดลงไป เนื่องจากการเติมขนเป็ดปริมาณที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เกิดช่องว่างเพิ่มขึ้นระหว่างขนเป็ดและเมทริกซ์ เพิ่มขึ้น สมบัติการทนต้งแรงดึงจึงลดลงเช่นเดียวกับสมบัติการทนต้งการโค้งงอ ดังแสดงในภาพที่ 6 และภาพ ที่ 7



แผนภาพที่ 6 ความทนต้งแรงดึงของพอลิโพรพิลีนเสริมแรงขนเป็ดอัตราส่วนต่างๆ



แผนภาพที่ 7 ความทนต่อการโค้งงอ ของพอลิโพรพิลีนเสริมแรงชนเป็ดอัตราส่วนต่างๆ

5.3 ผลของการปรับปรุงชนเป็ดต่อสมบัติทางกลของวัสดุเชิงประกอบที่ขึ้นรูปได้

5.3.1 สมบัติของชนเป็ดหลังการปรับปรุงผิวด้วยวิธี Alkalization

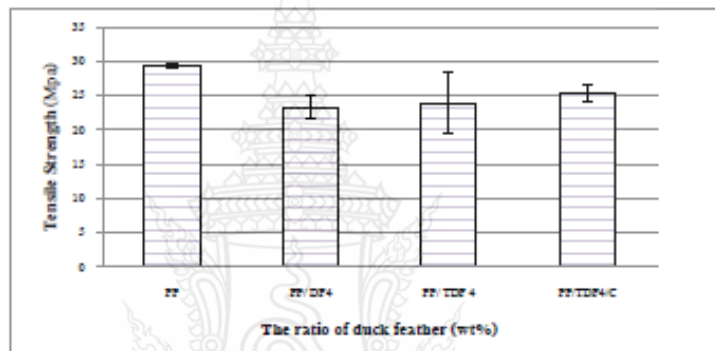
ตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันเดิมด้วยเครื่องมือ FTIR ตรวจสอบชนเป็ดที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิวและชนเป็ดที่มีผ่านการปรับปรุงผิวด้วยวิธี Alkalization ในช่วงความยาวคลื่น (Wave Number) โดยทำการวิเคราะห์ในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 4,000-400 cm^{-1} พบว่าชนเป็ดก่อนและหลังการปรับปรุงผิวด้วยวิธี Alkalization พบว่าก่อนการปรับสภาพผิวชนเป็ดมีพีคที่ 3263.42(กลุ่ม เอ ไมล์), 1631.12(เดราติน)และ 636.08(เดราติน) และเมื่อปรับสภาพผิวชนเป็ดแล้วมีพีคที่ 3265.85(กลุ่ม เอ ไมล์), 1626.46(เดราติน)และ 637.07(เดราติน) มีการเลื่อนของพีคเกิดขึ้นเนื่องจากมีการปรับสภาพผิว ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยพบว่าการทำ Alkalization ทำให้บางพีคเพิ่มขึ้น หลังจากการปรับสภาพผิวชนเป็ดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย [6] ดังภาพที่ 8 จากงานวิจัยศึกษา FTIR ชนเป็ด พีค 1300-1500 และ 1100-450 เป็นพีคของเดราติน [6]



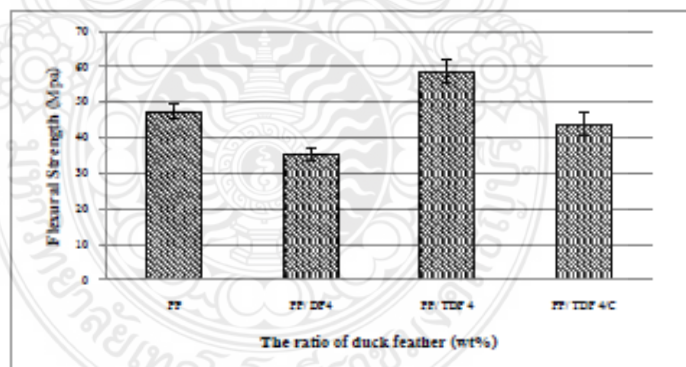
แผนภาพที่ 8 กราฟ FTIR

5.3.2 ผลของการปรับปรุงชนเบ็ดต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบที่ขึ้นรูปได้

เพื่อศึกษาผลของการปรับสภาพผิวชนเบ็ด และการเติมสารดูดวบ อุณหภูมิทดสอบการทนดึง (Tensile testing) การทนต่อการโค้งงอ (Flexural Strength) วัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยชนเบ็ด 4% wt (PP/DF4) ถูกนำมาปรับปรุงผิวการนำชนเบ็ดที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิว (TDF) และการเติมสารดูดวบลงไปขึ้นรูปเป็น PP/TDF4 และ PP/TDF4/C ตามลำดับ พบว่าเมื่อปรับสภาพผิวชนเบ็ด PP/TDF4 ส่งผลให้มีค่าทนทานต่อการดึงได้ดีกว่า การเสริมแรงกับชนเบ็ดที่ไม่ได้ปรับสภาพผิว PP/DF4 และเมื่อมีการเติมสารดูดวบลงไป PP/TDF4/C ส่งผลให้สมบัติการทนต่อการดึงดีขึ้นดังแสดงในภาพที่ 9 ดูได้จากผล SEM ดังแสดงในภาพที่ 10 แต่สมบัติการทนต่อการโค้งงอลดลง เมื่อมีการเติมสารดูดวบ PP/TDF4/C เนื่องจากชนเบ็ดมีการยึดเกาะที่ต่ำลงเมื่อได้รับแรงในแนวอน การเติมสารดูดวบไม่ได้ช่วยในการยึดเกาะระหว่างชนเบ็ดและเมทริกซ์ในแนวแรงดึงมากพอ ดังแสดงในภาพที่ 9



แผนภาพที่ 9 ความทนต่อการดึงของ PP,PP/DF4,PP/TDF4และ PP/TDF4/C



แผนภาพที่ 10 ความทนต่อการโค้งงอของ PP,PP/DF4,PP/TDF4และ PP/TDF4/C

5.3.3 การทดสอบสัมมนาวิทยา

การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของวัสดุผสมเสริมแรงด้วยขมเบ็ดที่ทำการขึ้นรูปได้ด้วย SEM พบว่าพื้นผิวที่ทำการเติมขมเบ็ดที่กระจายตัวอยู่ในเนื้อเมทริกซ์ ทำการศึกษาทางสัณฐานวิทยาในครั้งนี้ใช้กำลังขยายเพียง 500 เท่า เพื่อการกระจายตัวของขมเบ็ดและช่องว่างที่เกิดขึ้นระหว่างเนื้อเมทริกซ์ซึ่งขมเบ็ดมีการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอมีช่องว่างระหว่างขมเบ็ดกับเมทริกซ์ แต่เมื่อมีการปรับสภาพผิวขมเบ็ดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ PP/ TDF4 และเติมสารดูดซับ PP/ TDF 4/C ลงไป ก็ทำให้ช่องว่างระหว่างขมเบ็ดกับเมทริกซ์น้อยลง การวิเคราะห์ของขมเบ็ดดีขึ้นดูได้จากแผนภาพที่ 11



(ก)



(ข)



(ค)

แผนภาพที่ 11 สัณฐานวิทยาจาก SEM ของ (ก) PP/ DF4 (ข) PP/ TDF4 (ค) PP/ TDF 4/C

6. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

จากการทดสอบสมบัติของวัสดุผสมเสริมแรงด้วยขมเบ็ด มีสมบัติที่ดีขึ้น เมื่อมีการเปรียบเทียบระหว่าง PP/PP/DF4, PP/TDF4 และ PP/TDF 4/C โดยที่ PP/TDF 4/C มีสมบัติที่ดีที่สุด จากการเปรียบเทียบสมบัติการทนต่อแรงดึงของวัสดุผสมเสริมแรงด้วยขมเบ็ด และลักษณะทางสัณฐานวิทยาเกิดช่องว่างระหว่างขมเบ็ดและเมทริกซ์ลดลง ซึ่งสอดคล้องต่อสมบัติการทนต่อแรงดึง แต่จากการเปรียบเทียบสมบัติการทนต่อการโค้งงอ PP/TDF 4 มีผลที่ดีที่สุด ซึ่งการเติม PP/ TDF 4/C การทนต่อแรงดึงได้ลดลง

6.2 ข้อเสนอแนะ

6.2.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

(1) สามารถนำข้อมูลการทดสอบจากงานวิจัยไปใช้ในการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์วัสดุเสริมแรงประเภท
ขนสัตว์ชนิดอื่นๆ ได้

(2) สามารถนำความรู้ที่ได้จากการทดสอบในเบื้องต้นไปประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมของผู้สนใจ

6.2.2 ข้อเสนอแนะ ในการวิจัยครั้งต่อไป

(1) ควรศึกษานาชนิดขนเป็ดและกำหนดขนาดขนเป็ดที่มีความใกล้เคียงกัน เพื่อผลการทดสอบที่
แม่นยำมากยิ่งขึ้น

(2) ควรศึกษาเรื่องผสมแบบปิดในการผสมวัสดุ เพื่อลดการปนเปื้อนและการคาดเคลื่อนของ
อัตราส่วนผสมของวัสดุ

(3) ควรศึกษาการปรับสภาพผิวด้วยวิธีการอื่นที่หลากหลายขึ้น

(4) ควรศึกษาสารดูดความชื้นอื่นๆที่อาจจะได้ผลการทดสอบที่ดียิ่งขึ้น

7. ทิศตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณความอนุเคราะห์ด้านวัสดุ เครื่องมือในการทำวิจัย และเครื่องมือวิเคราะห์จากภาควิชา
วิศวกรรมวัสดุและ โลหการ และภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
มจธรี และบริษัท CPF ที่ให้การอนุเคราะห์ขนเป็ด

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] สารชีวโมเลกุล (Biomolecule). โครงสร้างของโปรตีน (Protein structure). [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก :
<http://sites.google.com/site/tarchiwimolekul/home/portin-bea-lrd-xa-mi-no-protein/khorngurag-khag-portin-protein-structure>
- [2] Barone, Justin R. 2004. "Polyethylene reinforced with keratin fibers obtained from chicken feathers." Ph.D
Dissertations.
- [3] Sha Cheng. 2009. "Mechanical and thermal properties of chicken feather fiber/PLA green composites." Institute of Materials Science and Technology, Ocean University of China, Qingdao, China.
- [4] Lucia Conzatti. 2013. "Wool fibres: functionalized with a silane-based coupling agent for reinforced polypropylene composites." Ph.D Dissertations, Chimica Industriale, University of Genova.
- [5] Nuruldiyana Binu Kamarudin et al. 2017. "Statistical investigation of extraction parameters of keratin from chicken feather using Design-Expert." Published online 2017 Jun 1.
Published online 2017 Jun 1
- [6] Yoxkin Estevez-Martinez et al. 2013. "Grafting of Multiwalled Carbon Nanotubes with Chicken Feather Keratin." Journal of Nanomaterials, Mexico.

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล นางสาววนิดา สัจง
วัน เดือน ปีเกิด 24 เมษายน 2535
ที่อยู่ 70/1 หมู่ 3 ตำบลบ่อผุด อำเภอเกาะสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี 12120
การศึกษา
พ.ศ. 2548 สำเร็จการศึกษาระดับวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมพอลิเมอร์
จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ประสบการณ์ทำงาน
พ.ศ. 2558-2560 ภาควิชาอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ตำแหน่ง ผู้ช่วยนักวิจัย
เบอร์โทรศัพท์ 08-8223-2838
อีเมล wanida_s@mail.rmutt.ac.th