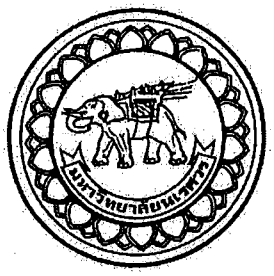
อภินันทนาการ

สำนักหอสมุด



การศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จาก พอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อยไม้สัก

A STUDY OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIAL PREPARED FROM POLYPROPYLENE AND SAWDUST (*TECTONA GRANDIS L. F.*)

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนเรศวร
วันลงทะเบียน 18 ก.ค. 2556
เลขทะเบียน 1 631 8990
เลขเรียกหนังสือ 2 TA
418.9
ว6
พ๗๖ก
2555

นายไพฑูรย์ ขันลื้อ รหัส 49364707

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2555

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อยไม้สัก
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายไพฑูรย์ ขันลื้อ รหัส 49364707
ที่ปรึกษาโครงงาน	อาจารย์ทศพล ตรีรุจิราภาพงศ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุ
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา	2555

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ

.....ที่ปรึกษาโครงงาน
(อาจารย์ทศพล ตรีรุจิราภาพงศ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์กฤษณา พูลสวัสดิ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์ศิริกาญจน์ ขันสัมฤทธิ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์ธณิกานต์ ธงชัย)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิพรอพิลีนและขี้เลื่อยไม้สัก
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายไพฑูรย์ ขันลื้อ รหัส 49364707
ที่ปรึกษาโครงงาน	อาจารย์ทศพล ตรีรุจิราภาพงศ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุ
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา	2555

.....

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิพรอพิลีน (Polypropylene : PP) และผงขี้เลื่อยไม้สัก (*Tectona grandis L.f.*) ที่ปริมาณ 0, 5, 10, 15 และ 20% โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน สมบัติเชิงกลที่ศึกษาประกอบไปด้วย ความแข็งแรงดึง ความต้านทานแรงกระแทก และความแข็งแรงโค้งงอ ของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิพรอพิลีนและผงขี้เลื่อยไม้สักที่ผลิตขึ้นมา จากการศึกษา พบว่าที่ปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สักที่ปริมาณ 0% เป็นพอลิเมอร์ และปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สักที่ปริมาณ ตั้งแต่ 5, 10, 15 และ 20% โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีนเป็นวัสดุเชิงประกอบ พบว่าค่าความแข็งแรงดึง พอลิเมอร์มีค่าความแข็งแรงดึงมากกว่าวัสดุเชิงประกอบ และค่าความแข็งแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบมีแนวโน้มลดลง เมื่อปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สักเพิ่มสูงขึ้น ส่วนค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด พบว่าพอลิเมอร์ มีค่าสูงกว่าวัสดุเชิงประกอบอย่างเห็นได้ชัดเจน และเมื่อปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สักเพิ่มสูงขึ้น ค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดมีค่าลดลง ค่ามอดุลัสของวัสดุเชิงประกอบ พบว่าพอลิเมอร์ มีค่าต่ำกว่าวัสดุเชิงประกอบ และเมื่อปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สักเพิ่มสูงขึ้น ค่ามอดุลัสเพิ่มสูงขึ้น ค่าความต้านทานแรงกระแทก พบว่าพอลิเมอร์มีค่าต่ำกว่าวัสดุเชิงประกอบ เมื่อปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สักเพิ่มสูงขึ้น ค่าความต้านทานแรงกระแทกเพิ่มสูงขึ้น ค่าความต้านทานแรงกระแทกจะลดลงที่ปริมาณ 15% ถึง 20% ค่าความแข็งแรงโค้งงอ พบว่าพอลิเมอร์ มีค่าความแข็งแรงโค้งงอ ต่ำกว่าวัสดุเชิงประกอบ และเมื่อปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สักเพิ่มสูงขึ้น ค่าความแข็งแรงโค้งงอของวัสดุเชิงประกอบลดลง และค่ามอดุลัสโค้งงอ พบว่าพอลิเมอร์มีค่ามอดุลัสโค้งงอต่ำว่าวัสดุเชิงประกอบ และเมื่อเพิ่มผงขี้เลื่อยไม้สักมากขึ้น ค่ามอดุลัส-โค้งงอจะมีค่าเพิ่มขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือของหลาย ๆ ฝ่าย โดยเฉพาะ อาจารย์ทศพล ตรีรุจิราภาพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ที่ได้ให้คำแนะนำ คำปรึกษา แนะนำวิธีแก้ปัญหา รวมถึงข้อคิดเห็นต่าง ๆ ตลอดจนความดูแลเอาใจใส่ ติดตามการดำเนินโครงงานมาโดยตลอด ขอขอบพระคุณคณะอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยนเรศวรทุกท่าน ที่ได้ให้วิชาความรู้ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

นอกจากนี้ ขอขอบพระคุณ อาจารย์ศิริกาญจน์ ขันสัมฤทธิ์ อาจารย์กฤษณา พูลสวัสดิ์ อาจารย์ธณิกานต์ ธงชัย และอาจารย์มานะ วีรวิกรม ที่กรุณาสละเวลา เป็นอาจารย์สอบโครงงาน พร้อมทั้งให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ และข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขโครงงานนี้จนสำเร็จลุล่วง

ขอขอบคุณครูช่างประเทือง โมราราย ครูช่างธวัชชัย ชุลบุตร ครูช่างรณกฤต แสงผ่อง และนักวิทยาศาสตร์อิสรีย์ วัตถุภาพ ที่คอยอำนวยความสะดวก เอื้อเฟื้อสถานที่ และอุปกรณ์ในการทำโครงงาน ทั้งยังคอยแนะนำการใช้อุปกรณ์ และเครื่องมือต่าง ๆ อย่างถูกต้องอีกด้วย

สุดท้ายนี้ผู้ดำเนินโครงงานใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ได้ให้การดูแล อบรมสั่งสอน และให้กำลังใจด้วยดีเสมอมา ตลอดการดำเนินโครงงานจนสำเร็จการศึกษา

ผู้ดำเนินโครงงาน
ไพฑูรย์ ขันสื้อ
มีนาคม 2555

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์.....ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....ข
กิตติกรรมประกาศ.....ค
สารบัญ.....ง
สารบัญตาราง.....ฉ
สารบัญรูป.....ช
สารบัญสัญลักษณ์ และอักษรย่อ.....ฌ

บทที่ 1 บทนำ.....1
1.1 หลักการและเหตุผล.....1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน.....2
1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output).....2
1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome).....2
1.5 ขอบเขตในการดำเนินวิจัย.....2
1.6 สถานที่ในการดำเนินวิจัย.....4
1.7 ระยะเวลาในการดำเนินวิจัย.....4
1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินการ (Gantt Chart).....4

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น.....5
2.1 วัสดุเชิงประกอบ (Composite Materials).....5
2.2 องค์ประกอบหลักของวัสดุเชิงประกอบ.....7
2.3 เส้นใยธรรมชาติ (Natural Fibers).....12
2.4 กระบวนการผลิต.....20
2.5 การทดสอบสมบัติเชิงกล (Mechanical Properties Testing).....24
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....30

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงงาน....32
3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในโครงงาน....32
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในโครงงาน....33
3.3 วิธีการทดลอง....34
3.4 วิธีการทดสอบสมบัติเชิงกล....35
3.5 ทำการวิเคราะห์ข้อมูล และปัจจัยที่มีอิทธิพล....39
3.6 สรุปผลการดำเนินงาน....39

บทที่ 4 ผลการทดลอง และการวิเคราะห์....40
4.1 ทดสอบสมบัติแรงดึง (Tensile Testing)....40
4.2 ความต้านทานแรงกระแทก (Impact Strength)....46
4.3 สมบัติความโค้งงอ (Flexural Testing)....48

บทที่ 5 บทสรุป....51
5.1 สรุปผลการดำเนินโครงงาน....51
5.2 ข้อเสนอแนะ....52
5.3 ปัญหาที่พบ และแนวทางการแก้ปัญหา....52

เอกสารอ้างอิง....53

ภาคผนวก ก สมบัติเชิงกลของชิ้นงาน....56
ภาคผนวก ข วัตถุดิบ และชิ้นงาน....63

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน....70

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 สภาวะในการผสม....3

1.2 สภาวะในการขึ้นรูป....3

1.3 ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงงาน....4

2.1 สมบัติบางประการของพอลิพรอพิลีน (Polypropylene, PP)....10

2.2 แสดงส่วนประกอบอื่น ๆ ทางเคมีของขี้เลื่อยไม้....15

2.3 ลักษณะของไม้สัก....17

3.1 สมบัติของพอลิพรอพิลีน (EL-Pro, P700J)....32

3.2 พอลิพรอพิลีนกับขี้เลื่อยไม้สัก....35

ก.1 ความแข็งแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิพรอพิลีน และปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สัก....57

ก.2 ร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด (Percent elongation at break; %Strain) ของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิพรอพิลีน และปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สัก....58

ก.3 มอดุลัสของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิพรอพิลีน และปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สัก....59

ก.4 ความต้านทานแรงกระแทก (Impact Strength) ของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิพรอพิลีน และปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สัก....60

ก.5 ความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural Strength) ของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิพรอพิลีนและปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สัก....61

ก.6 มอดุลัสโค้งงอ (Flexural Modulus) ของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิพรอพิลีน และปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สัก....62

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 การจำแนกประเภทของวัสดุเชิงประกอบตามชนิดของเนื้อพื้นและลักษณะของตัวเสริมแรง....6

2.2 โครงสร้างทางเคมีของพอลิพรอพิลีน....8

2.3 ลักษณะการจัดเรียงตัวโครงสร้างโมเลกุลแบบไอโซแทกติกของพอลิพรอพิลีน....9

2.4 ลักษณะการจัดเรียงตัวโครงสร้างโมเลกุลแบบซินดิโอแทกติกพอลิพรอพิลีน....9

2.5 ลักษณะการจัดเรียงตัวโครงสร้างโมเลกุลแบบอะแทกติกแทกติกพอลิพรอพิลีน....10

2.6 ตัวอย่างคอมโพสิตที่มีส่วนเสริมแรงต่างกัน....11

2.7 โครงสร้างทางเคมีของโมเลกุลเซลลูโลส....13

2.8 โครงสร้างทางเคมีของโมเลกุลเฮมิเซลลูโลส....14

2.9 โครงสร้างทางเคมีของลิกนิน....14

2.10 ลักษณะของต้นสัก....17

2.11 ไก่ปั้นจากขี้เลื่อยไม้สัก....19

2.12 ผลิตภัณฑ์ชั้นวางหนังสือ....19

2.13 ผลิตภัณฑ์แผ่นไม้ปาร์เก้....19

2.14 เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว และส่วนประกอบ....21

2.15 ลักษณะและส่วนต่างๆ ของสกรูเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว....21

2.16 ส่วนประกอบของเครื่องฉีดขึ้นรูป....22

2.17 การทดสอบแรงดึง....26

2.18 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงกระแทกแบบไอซอด....27

2.19 ชิ้นงานทดสอบความต้านแรงกระแทก ASTM D256....28

2.20 การทดสอบความแข็งแรงโค้งงอ แบบ 3 จุด (Three Point Bending) 29

3.1 แผนการดำเนินงานในโครงงาน....34

3.2 เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine) ตามมาตรฐาน ASTMD638....36

3.3 ชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM D638 (Types I)....36

3.4 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงกระแทก (Impact Testing Machine) ตามมาตรฐาน ASTM D256....37

3.5 ชิ้นงานทดสอบความต้านทานแรงกระแทกตามมาตรฐาน ASTM D256....37

3.6 เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine) ตามมาตรฐาน ASTM D790....38

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.7 การทดสอบความแข็งแรงโค้งงอ และมอดุลัสโค้งงอตามมาตรฐาน ASTM D790.....38

4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านความแข็งแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบ และปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สัก.....41

4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (Percent elongation at break; %Strain) ของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิพรอพิลีน และปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สัก.....43

4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (Percent elongation at break; %Strain) ของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิพรอพิลีน และปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สัก ที่ 5% ถึง 20 %.....44

4.4 ค่ามอดุลัส (Modulus of Elasticity; E) ของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิพรอพิลีน และปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สัก.....45

4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านความต้านทานแรงกระแทก (Impact Strength) ของวัสดุเชิงประกอบ และปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สัก.....47

4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural Strength) ของวัสดุเชิงประกอบ และปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สัก.....49

4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านมอดุลัสโค้งงอ (Flexural Modulus) ของวัสดุเชิงประกอบ และปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สัก.....50

ข.1 ภาพผงขี้เลื่อยไม้สัก และเม็ดพลาสติกชนิดพอลิพรอพิลีน.....64

ข.2 ตู้อบ.....64

ข.3 เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดียว.....65

ข.4 เม็ดพลาสติกที่ผ่านการผสม.....65

ข.5 เครื่องฉีดขึ้นรูป.....65

ข.6 ชิ้นงานที่ได้จากการผลิต.....66

ข.7 เครื่องทดสอบการทดสอบแรงดึง.....66

ข.8 การทดสอบแรงดึง.....67

ข.9 ชิ้นงานการทดสอบความต้านทานแรงกระแทก.....67

ข.10เครื่องทดสอบความต้านทานแรงกระแทกแบบไอซอด.....68

ข.11เครื่องทดสอบการทดสอบแรงกด.....68

ข.12การทดสอบแรงกด.....69

สารบัญสัญลักษณ์ และอักษรย่อ

PP	=	พอลิพรอพิลีน (Polypropylene)
MPa	=	เมกกะปาลคาล
%/wt	=	เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนัก
ASTM	=	American Society for the Testing of Materials

บทที่ 1
บทนำ

1.1 หลักการ และเหตุผล

ปัจจุบันป่าไม้ได้ถูกใช้หมดไปเรื่อย ๆ ขณะเดียวกัน การปลูกป่าทดแทนกลับไม่มีคุณภาพที่จะไปทดแทนไม้ธรรมชาติได้ โดยไม้ธรรมชาติ ที่นำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ และใช้งานได้นาน อย่างไม้จำพวกสัก ยังมีมูลค่าที่สูงมาก และมีปัญหาเรื่อง การห้ามตัดไม้ ดังนั้นจึงได้มีการคิดค้นในการเพิ่มมูลค่าจากวัสดุเหลือทิ้ง จำพวกผงขี้เลื่อยไม้สัก เพื่อเพิ่มมูลค่าของวัสดุเหลือทิ้ง แทนที่จะนำไปทำเป็นเชื้อเพลิงเพียงอย่างเดียว และคุณสมบัติที่ดีอีกอย่างของไม้สัก คือ ในเนื้อไม้สักมีสารเคมีพิเศษอยู่ชนิดหนึ่ง ชื่อ O-cresyl methyl ether สารเคมีชนิดนี้ค้นพบโดยนักวิทยาศาสตร์ของกรมป่าไม้มีสมบัติเมื่อทา หรืออาบไม้แล้วไม้จะมีความคงทนต่อ ปลวก แมลง เห็ดราได้อย่างดียิ่ง (พรชัย และคณะ, 2554) โดยเทคโนโลยีสมัยใหม่ได้เข้ามามีบทบาทในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ไม้ โดยเฉพาะเทคโนโลยีในการนำประโยชน์ของวัสดุเหลือทิ้งอย่างผงขี้เลื่อยไม้สัก มาพัฒนาเป็น ไม้ทดแทน หรือวัสดุเชิงประกอบ เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับเศษวัสดุเหล่านี้ด้วย (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, 2554)

วัสดุเชิงประกอบ หมายถึงวัสดุที่ได้จากการนำวัสดุตั้งแต่ 2 ชนิดประกอบกัน ซึ่งสมบัติของวัสดุใหม่ที่ได้ จะเป็นสมบัติรวม จากวัสดุแต่ละชนิดที่นำมาประกอบกัน วัสดุเชิงประกอบจะประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นเนื้อหลัก ซึ่งเรียกว่าเนื้อพื้น (Matrix) และตัวเสริมแรง (Reinforcement) ซึ่งนิยมใช้เส้นใย ได้แก่เส้นใยแก้ว เส้นใยคาร์บอน เส้นใยโบรอน เป็นต้น โดยการใส่เส้นใยเสริมแรงจะช่วยทำให้วัสดุเชิงประกอบมีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น ปัจจุบันได้มีการประยุกต์ใช้เส้นใยธรรมชาติ ทั้งเส้นใยเซลลูโลสจากพืช และเส้นใยโปรตีนจากสัตว์มาใช้เป็นเส้นใยเสริมแรงในวัสดุเชิงประกอบ เป็นการทดแทนเส้นใยสังเคราะห์ที่มีราคาแพง ทำให้วัสดุเชิงประกอบที่ใช้เส้นใยธรรมชาติเป็นตัวเสริมแรง มีราคาถูกลง วัสดุเชิงประกอบที่มีพอลิเมอร์เป็นเนื้อพื้นจะมีความหนาแน่นต่ำ และมีสมบัติเฉพาะ (Specific Propertie) บางอย่างดีขึ้น เช่น ความแข็งแรงต่อน้ำหนัก ความต้านทานการกัดกร่อน ความต้านทานการสึกหรอ เป็นต้น วัสดุเชิงประกอบถูกนำไปใช้ครั้งแรกในงานทางด้านการทหาร แต่ในปัจจุบันวัสดุเชิงประกอบได้ถูกนำไปใช้ในงานต่าง ๆ อย่างกว้างขวาง ไม่ว่าจะเป็นงานทางด้านพาหนะ ทางด้านอวกาศ และทางการค้า (พัชราภรณ์ และอภินันท์, 2552)

ในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบจากพอลิเมอร์ และผงขี้เลื่อยไม้สัก (*Tectona grandis L. f.*) โดยจะใช้พอลิพรอพิลีน (Polypropylene , PP) เป็นเนื้อพื้น (Matrix) ให้กับวัสดุเชิงประกอบ เนื่องจากเป็นพอลิเมอร์ที่มีการนำไปใช้อย่างแพร่หลาย และใช้ผงขี้เลื่อยจากไม้สัก (*Tectona grandis L.f.*) เป็นตัวเสริมแรง (Reinforcement) ซึ่งเป็นวัสดุที่เหลือทิ้งจากโรงงานแปรรูปไม้ โดยจะทำการศึกษา สมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

เพื่อศึกษาสมบัติเชิงกล ได้แก่ ความแข็งแรงดึง ความต้านทานแรงกระแทก และความแข็งแรงโค้งงอ ของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิพรอพิลีน และผงขี้เลื่อยไม้สักที่ปริมาณต่าง ๆ

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

วัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิพรอพิลีน และผงขี้เลื่อยไม้สักที่ปริมาณ 0, 5, 10, 15 และ 20 % โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน

1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)

สมบัติเชิงกล ได้แก่ ความแข็งแรงดึง ความต้านทานแรงกระแทก และความแข็งแรงโค้งงอ ของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิพรอพิลีน และผงขี้เลื่อยไม้สักที่ปริมาณ 0, 5, 10, 15 และ 20 % โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน

1.5 ขอบเขตในการดำเนินงานวิจัย

1.5.1 ตัวแปรควบคุม

1.5.1.1 วัตถุดิบ

ก. พอลิเมอร์ชนิดพอลิพรอพิลีน เกรด (EL-Pro, P700J)

ข. ผงขี้เลื่อยไม้สักจากโรงงานแปรรูปไม้ (จังหวัดพิษณุโลก) ขนาด 40-80 Mesh

1.5.1.2 กระบวนการขึ้นรูป

ทำการผสมวัตถุดิบโดยใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single Screw Extruder Machine) และขึ้นรูปโดยใช้เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection Molding Machine)

1.5.1.3 สภาวะในการขึ้นรูป

ก. ทำการผสมวัตถุดิบโดยใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single Screw Extruder Machine) ใช้ความเร็วรอบในการผสมที่ 120 รอบต่อนาที โดยใช้สภาวะในการผสมดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 สภาวะในการผสม

ช่วงต่าง ๆ ของการฉีดขึ้นรูป	อุณหภูมิ (°C)
Feed-Zone	170
Compression-zone	180
Metering-zone	190
Die-zone	180

ที่มา : กิติวุฒิ และภาณุมาศ (2552)

ข. นำไปขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection Molding Machine) ใช้ความเร็วรอบในการฉีดขึ้นรูปที่ 30 รอบต่อนาที โดยใช้สภาวะในการขึ้นรูปดัง**ตารางที่ 1.2**

ตารางที่ 1.2 สภาวะในการขึ้นรูป

ช่วงต่าง ๆ ของการฉีดขึ้นรูป	อุณหภูมิ (°C)
Feed-Zone	170
Compression-zone	180
Metering-zone	190
Nozzle-zone	180

ที่มา : กิติวุฒิ และภาณุมาศ (2552)

1.5.2 ตัวแปรที่ศึกษา

ปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สัก ใช้ในการเตรียมวัสดุเชิงประกอบ ที่ปริมาณ 0, 5, 10, 15 และ 20 % โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน

1.5.3 การทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้

1.5.3.1 ทดสอบความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D638

1.5.3.2 ทดสอบความต้านทานแรงกระแทก (Impact Strength) ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D256

1.5.3.3 ทดสอบความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural Strength) และมอดุลัสการโค้งงอ (Flexural modulus) ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D790

1.6 สถานที่ในการดำเนินการวิจัย

อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.7 ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย

เดือนกรกฎาคม 2555 – เดือนกุมภาพันธ์ 2556

1.8 ขั้นตอน และแผนการดำเนินการ (Gantt Chart)

ตารางที่ 1.3 ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงงาน

ลำดับ	การดำเนินการ	2555						2556	
		ก.ค	ส.ค	ก.ย	ต.ค	พ.ย	ธ.ค	ม.ค	ก.พ
1.8.1	จัดทำข้อเสนอโครงงาน	←	→						
1.8.2	ศึกษาหาข้อมูล	←	—	→					
1.8.3	ทำการขึ้นรูปชิ้นงาน			←	—	→			
1.8.4	นำชิ้นงานทดสอบสมบัติต่าง ๆ					←	→		
1.8.5	ทำการวิเคราะห์ข้อมูล และปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อสมบัติต่าง ๆ						←	—	→
1.8.6	สรุปผลการดำเนินงาน						←	—	→

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

2.1 วัสดุเชิงประกอบ (Composite Materials)

วัสดุเชิงประกอบ คือ วัสดุที่ประกอบด้วยวัสดุ 2 ประเภทขึ้นไปโดยที่องค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกัน และจะต้องไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งอาจเกิดจากการผสม หรือการสร้างพันธะจากการผสมกัน ระหว่างวัสดุองค์ประกอบอยู่ในระดับที่สามารถมองเห็นได้ ตัวอย่าง เช่น คอนกรีตที่ประกอบด้วยซีเมนต์ ทราย หิน และน้ำ เกิดจากการสร้างพันธะกัน วัสดุเชิงประกอบจะประกอบด้วยตัวเสริมแรง (Reinforcing Phase) ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปของเส้นใย อนุภาค แผ่น หรือชิ้นเล็ก ๆ หรือเป็นสารตัวเติม ซึ่งเป็นเฟสที่กระจายตัว (Dispersed Phase) ฝังอยู่ในเนื้อพื้น (Matrix) ที่อาจเป็นโลหะ เซรามิก หรือพอลิเมอร์ ตัวเสริมแรงจะช่วยทำให้สมบัติเชิงกลโดยรวมของเนื้อพื้น ดีขึ้น เนื่องจากวัสดุแต่ละชนิดจะมีทั้งข้อดีข้อเสีย เช่น โลหะจะมีความแข็งแรง และความเหนียวสูง แต่เป็นสนิมง่าย และหนัก พอลิเมอร์จะมีน้ำหนักเบา แต่มีความแข็งแรงต่ำ ทนความร้อน และนำไฟฟ้าไม่ได้ เซรามิกมีความแข็งสูง ทนต่อการสึกหรอ การผุกร่อน และทนความร้อนได้ดี แต่เปราะ มีความเหนียวต่ำเป็นต้น ด้วยเหตุนี้จึงมีการนำเอาวัสดุต่างชนิดมาผสมกัน เพื่อจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ มีสมบัติพิเศษซึ่งได้จากข้อดีของวัสดุแต่ละชนิด เช่น คอนกรีตเสริมเหล็กเป็นวัสดุผสมที่จะให้ทั้งความแข็ง (จากสมบัติที่ดีของคอนกรีตซึ่งเป็นเซรามิก) และความเหนียว (จากสมบัติที่ดีของเหล็กซึ่งเป็นโลหะ) หรือไฟเบอร์กลาสเป็นวัสดุผสมที่มีน้ำหนักเบา (จากสมบัติที่ดีของพอลิเมอร์) และมีความแข็งแรง (จากสมบัติที่ดีของใยแก้ว) เป็นต้น (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะ และวัสดุแห่งชาติ, 2553)

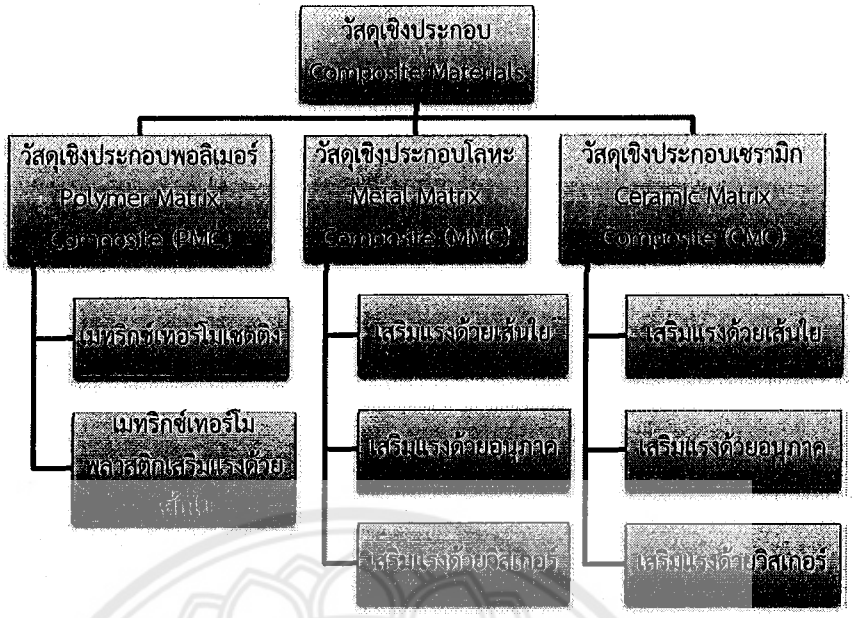
การจำแนกประเภทของวัสดุเชิงประกอบสามารถแบ่งได้หลายประเภทขึ้นอยู่กับการใช้หลักเกณฑ์ที่แตกต่างกัน ตัวอย่างการจำแนกประเภทของวัสดุเชิงประกอบที่นิยมใช้มี 2 แบบดังนี้

2.1.1 ประเภทของวัสดุเชิงประกอบแบ่งได้ตามเนื้อพื้นได้เป็น 3 กลุ่มคือ

2.1.1.1 กลุ่มที่มีพอลิเมอร์เป็นส่วนผสมหลัก (Polymer Matrix Composite, PMC) เป็นวัสดุเชิงประกอบที่ใช้พอลิเมอร์เป็นเนื้อพื้น และใช้งานกันแพร่หลายในชีวิตประจำวัน

2.1.1.2 กลุ่มที่มีเซรามิกเป็นส่วนผสมหลัก (Ceramic Matrix Composite, CMC) เป็นวัสดุเชิงประกอบที่ใช้เซรามิกเป็นเนื้อพื้น สามารถทนความร้อนได้สูงมาก

2.1.1.3 กลุ่มที่มีโลหะเป็นส่วนผสมหลัก (Metal Matrix Composite, MMC) เป็นวัสดุเชิงประกอบที่ใช้โลหะเป็นเนื้อพื้น เช่น อะลูมิเนียม นำมาใช้งานมากขึ้นในวงการรถยนต์แข่ง และชิ้นส่วนเครื่องบิน การจำแนกประเภทของวัสดุเชิงประกอบตามชนิดของเนื้อพื้น และลักษณะของตัวเสริมแรงแสดงดังในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การจำแนกประเภทของวัสดุเชิงประกอบตามชนิดของเนื้อพื้น และลักษณะของตัวเสริมแรง

ที่มา : หฤทภัค และคณะ (2552)

2.1.2 ประเภทของวัสดุเชิงประกอบแบ่งตามตัวเสริมแรง แบ่งได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่

2.1.2.1 ตัวเสริมแรงมีลักษณะเป็นเส้นใย (Fibrous Composite) คือ วัสดุที่ประกอบด้วยเส้นใยเสริมแรงเชื่อมอยู่กับเนื้อพื้น (Matrix) เส้นใยโดยทั่วไปจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กมากเมื่อเทียบกับความยาว ซึ่งมีทั้งเส้นใยสั้น (Short Fiber) และเส้นใยยาวแบบต่อเนื่อง (Continuous Fiber) เส้นใยเสริมแรงจะมีความแข็งแรง และมีความแข็งแกร่ง (Stiffness) สูงเมื่ออยู่ภายใต้แรงดึงในแนวตามความยาว และโดยทั่วไปแล้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยที่มีขนาดเล็กลงจากเดิม ก็จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ภายในเนื้อพื้น (Matrix) ไปจากตำแหน่งของเส้นใยในวัสดุเชิงประกอบน้อยลง ทำให้วัสดุมีเสถียรภาพ และความแข็งแรงมากขึ้นด้วย โดยที่เส้นใยเสริมแรงจะกระจายตัวทั่วไปในเนื้อพื้นแบบเรียงสุ่ม

ก. เส้นใยสั้นแบบสุ่ม (Random/Short Fiber) เป็นเส้นใยที่มีความยาวอยู่ในช่วง 2 ถึง 46 เซนติเมตร เส้นใยสั้นส่วนใหญ่เป็นเส้นใยธรรมชาติทั้งหมด ยกตัวอย่าง เช่น เส้นใยฝ้าย นุ่น ขนสัตว์ เส้นใยสั้นที่มาจากเส้นใยประดิษฐ์มักทำเป็นเส้นยาวก่อนแล้วตัด (Chop) เป็นเส้นใยสั้นตามความยาวที่กำหนด

ข. เส้นใยยาว หรือเส้นใยต่อเนื่อง (Continuous/Long Fiber) เป็นเส้นใยที่มีความยาวต่อเนื่องไม่สิ้นสุด มีหน่วยวัดเป็นเมตร หรือหลา เส้นใยยาวส่วนใหญ่เป็นเส้นใยประดิษฐ์ ยกเว้นไหมซึ่งเป็นเส้นใยยาวที่มาจากธรรมชาติ เส้นใยยาวอาจเป็นชนิดเส้นใยยาวเดี่ยว (Monofilament) ที่มีเส้นใยเพียงเส้นเดียว หรือเส้นใยยาวกลุ่ม (Multifilament) ซึ่งจะมีเส้นใย

มากกว่า 1 เส้นรวมอยู่ด้วยกันตลอดความยาว เส้นใยยาวที่ออกมาจากหัวฉีด (Spinneret) จะมีลักษณะเรียบ ซึ่งมีลักษณะเรียบคล้ายเส้นใยไหม หากต้องการลักษณะเส้นใยที่หยักก็จะต้องนำไปผ่านกระบวนการทำหยัก (Crimp) ซึ่งเส้นใยที่ได้จะมีลักษณะคล้ายเส้นใยฝ้าย หรือขนสัตว์ ซึ่งส่วนมากเส้นใยที่ทำหยักมักจะนำไปตัดเพื่อทำเป็นเส้นใยสั้น (ชุตาภรณ์, 2548)

2.1.2.2 ตัวเสริมแรงมีลักษณะเป็นอนุภาค (Particulate Composite) ประกอบด้วยอนุภาคเล็ก ๆ กระจายอยู่ทั่วไปในเนื้อพื้น (Matrix) ซึ่งรูปแบบของอนุภาคเล็ก ๆ นี้อาจจะมีลักษณะเป็นเม็ด (Beads) เป็นแผ่น (Flake) หรือเป็นผง (Powder)

2.1.2.3 ตัวเสริมแรงลักษณะเป็นชั้น หรือชนิดซ้อนแผ่น (Laminar or Layered Composite) คือ ประกอบด้วยเนื้อพื้น และตัวเสริมแรง ซ้อนทับกันเป็นชั้น ๆ สลับกันไป วัสดุเชิงประกอบในกลุ่มนี้รวมถึงวัสดุเชิงประกอบแบบแซนวิส และแบบรังผึ้ง

2.1.3 ชนิดของวัสดุเชิงประกอบแบ่งได้ตามลักษณะการเกิดของวัสดุเชิงประกอบ คือ

2.1.3.1 วัสดุเชิงประกอบจากธรรมชาติ (Natural Composite) คือ วัสดุเชิงประกอบที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น ไม้ ฟัน และกระดูก ตัวอย่าง เช่น ไม้วัสดุเชิงประกอบที่มีเส้นใยเซลลูโลสเป็นตัวเสริมแรง โดยมีสารจำพวกลิกนินเป็นเนื้อพื้นยึดเซลลูโลสไว้ด้วยกัน ส่วนกระดูก และฟันเป็นวัสดุเชิงประกอบของผลึกแข็งอนินทรีย์ คือ ไฮดรอกซีแอปาไทต์ (Hydroxyapatite) ที่อยู่ในเนื้อพื้นของคอลลาเจนที่เป็นสารอนินทรีย์เหนียว เป็นต้น

2.1.3.2 วัสดุเชิงประกอบจากการสังเคราะห์ (Synthetic Composite) คือ วัสดุเชิงประกอบที่ได้จากการสังเคราะห์ เช่น พลาสติกเสริมแรง วัสดุไฟเบอร์กลาส เป็นต้น (เดือนพร, 2549)

2.2 องค์ประกอบหลักของวัสดุเชิงประกอบ

องค์ประกอบหลักของวัสดุเชิงประกอบแบ่งได้เป็น เนื้อพื้น (Matrix) และตัวเสริมแรง (Reinforcement)

2.2.1 เนื้อพื้น (Matrix)

เนื้อพื้น (Matrix) คือ ส่วนประกอบส่วนใหญ่ของวัสดุเชิงประกอบ โดยทั่วไปจะมีความแข็งแรงน้อยกว่าตัวเสริมแรง เนื้อพื้นจะเป็นส่วนที่มีความต่อเนื่อง และปกคลุมส่วนที่เป็นตัวเสริมแรงจากสิ่งแวดล้อมภายนอก เมื่อวัสดุเชิงประกอบได้รับภาระภายนอกกระทำ ภาระที่กระทำจะถูกส่งถ่ายจากเนื้อพื้นไปสู่ตัวเสริมแรง ซึ่งมีความแข็งแรงสูงกว่าเป็นผลให้เกิดการรับภาระได้สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้วัสดุที่เป็นเนื้อพื้นที่ไม่มีการเสริมแรง เนื้อพื้นมีหน้าที่ต่าง ๆ ดังนี้

2.2.1.1 ทำหน้าที่ถ่ายเทความเค้น (Stress Transfer) ที่ได้รับไปยังตัวเสริมแรง

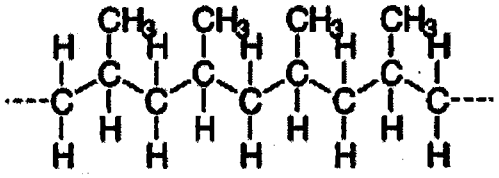
2.2.1.2 ทำหน้าที่เป็นเกราะป้องกัน (Barrier) กับสภาวะแวดล้อมใด ๆ

2.2.1.3 ป้องกันตัวเสริมแรงจากการขัดถูเสียดสี

เนื้อพื้นมีหลายชนิด คือ โลหะ (Metal Matrix) เซรามิก (Ceramic Matrix) และพอลิเมอร์ (Polymer Matrix) (เดือนพร, 2549) เนื้อพื้นจากพอลิเมอร์ ชนิดเทอร์โมพลาสติกประเภทพอลิพรอพิลีน (Polypropylene, PP) เป็นเนื้อพื้นที่หาได้ง่าย มีสมบัติเชิงกล ที่ดี มีความแข็ง และทนแรงดึงได้ดี มีความต้านทานแรงกระแทกดี นอกจากนี้ความเป็นผลึกของพอลิพรอพิลีนยังทำให้ทนต่อการซึมของไขมัน และน้ำมันได้ดี ไอน้ำ และออกซิเจนซึมผ่านได้ต่ำ

พอลิพรอพิลีน (Polypropylene) สามารถผลิตจากกระบวนการพอลิเมอไรเซชันแบบโคออร์ดิเนชัน (Co-ordination Polymerization) มีโครงสร้างเชิงเส้น มีความเป็นผลึกสูงถึง 70 เปอร์เซ็นต์ ทำให้มีสมบัติเชิงกลที่ดี มีความแข็ง และ ทนแรงดึงได้ดี มีความต้านทานแรงกระแทกดี มีจุดหลอมเหลวประมาณ 165-175 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าจุดหลอมเหลวของพอลิเอทิลีน เหมาะกับการใช้งานที่อุณหภูมิสูง มีค่าความถ่วงจำเพาะ 0.90-0.91 นอกจากนี้ความเป็นผลึกของพอลิพรอพิลีนยังทำให้ทนต่อการซึมของไขมัน และน้ำมันได้ดี ไอน้ำ และออกซิเจนซึมผ่านได้ต่ำ แต่พอลิพรอพิลีนมีจุดด้อย คือ เปราะแตกหักได้ง่ายที่อุณหภูมิต่ำ (ประมาณ 0 องศาเซลเซียส) และเสถียรภาพของพอลิพรอพิลีนต่อแสงอัลตราไวโอเลต และออกซิเจนต่ำกว่าพอลิเอทิลีนจึงไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้งานกลางแจ้ง เนื่องจาก แสงอัลตราไวโอเลตจะทำให้เปราะ แตกร้าว สีซีดจางได้ง่าย จึงต้องทำการผสมสารป้องกันออกซิเดชัน (Antioxidant) และสารเพิ่มเสถียรภาพต่อแสงอัตราไวโอเลต (UV Stabilizer) เพื่อช่วยเพิ่มเสถียรภาพของชิ้นงานที่ผลิตจากพอลิพรอพิลีน (สุภโชค, 2548)

โมเลกุลของพอลิพรอพิลีนประกอบด้วยโซ่โมเลกุลยาวของธาตุอะตอมคาร์บอน มีหมู่เมทิลที่ยื่นออกมาเป็นกิ่งก้านอยู่ด้านข้างของโมเลกุลทำให้มีความหลากหลายในรูปแบบต่าง ๆ ของการจัดเรียงตัวกลุ่มโมเลกุลดังกล่าว สายโซ่โมเลกุลของอะตอมคาร์บอนจะจับตัวกันอยู่ในลักษณะซิกแซก (Zig-Zag) ซึ่งอาจพิจารณาให้การเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลดังกล่าวอยู่ในระนาบเดียวกับแผ่นกระดาษ แล้วมีกลุ่ม (R) ที่เกาะยึดด้านข้างของโซ่โมเลกุลพอลิเมอร์หลัก ซึ่งทุก ๆ กลุ่มอาจเกาะยึดอยู่ด้านบนหรือด้านล่างของระนาบกระดาษ โดยแสดงไว้ในรูปที่ 2.2

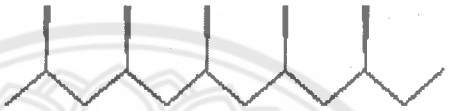


รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของพอลิพรอพิลีน

ที่มา : สุภโชค (2548)

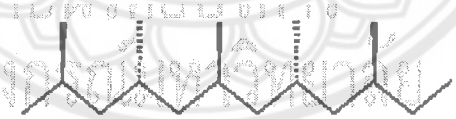
โครงสร้างของพอลิพรอพิลีน ถูกจำแนกด้วยการสลับตำแหน่งของกลุ่มโมเลกุลที่ยึดเกาะอยู่ด้านข้างของโซ่โมเลกุลหลักเหล่านี้ และได้มีการกำหนดชื่อเรียกของแต่ละแบบ ซึ่งปัจจุบันเป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย คือ

ก. ไอโซแทกติกพอลิพรอพิลีน (Isotactic Polypropylene) เป็นโครงสร้างที่มีหมู่เมทิลยึดเกาะกับสายโซ่โมเลกุลหลักอย่างสม่ำเสมอในลักษณะเหมือนกัน และต่อซ้ำ ๆ กันไป โดยเกาะอยู่ด้านในด้านหนึ่งเพียงด้านเดียวของสายโซ่โมเลกุลหลัก ทำให้สายโซ่โมเลกุลของพอลิพรอพิลีนจัดเรียงตัวกันอย่างหนาแน่น ด้วยเหตุนี้ทำให้มีปริมาณผลึกที่สูง โครงสร้างแบบนี้จึงมีความแข็งแรงมากที่สุด โดยดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.3



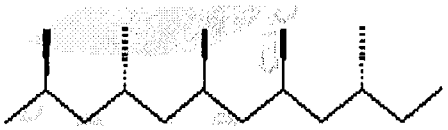
รูปที่ 2.3 ลักษณะการจัดเรียงตัวโครงสร้างโมเลกุลแบบไอโซแทกติกของพอลิพรอพิลีน
ที่มา : ชนิดา (2547)

ข. ซินดิโอแทกติกพอลิพรอพิลีน (Syndiotactic Polypropylene) เป็นโครงสร้างที่มีหมู่เมทิลยึดเกาะกับสายโซ่โมเลกุลหลักในลักษณะสลับตำแหน่งข้ามกันไปมาอย่างเป็นระเบียบมีความสม่ำเสมอ และต่อซ้ำ ๆ กันตลอดทั้งสายโซ่โมเลกุล โดยจะยึดเกาะสลับกันทั้งด้านบน และด้านล่างของโครงสร้างสายโซ่หลัก ทำให้สายโซ่โมเลกุลของพอลิพรอพิลีนจัดเรียงตัวกันอย่างหนาแน่น รองลงมาจากไอโซแทกติกพอลิพรอพิลีน ทำให้มีปริมาณผลึกปานกลาง โครงสร้างแบบนี้จึงมีความแข็งแรงเป็นลำดับสอง โดยดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ลักษณะการจัดเรียงตัวโครงสร้างโมเลกุลแบบซินดิโอแทกติกของพอลิพรอพิลีน
ที่มา : ชนิดา (2547)

ค. อะแทกติกแทกติกพอลิพรอพิลีน (Atactic Polypropylene) เป็นโครงสร้างที่หมู่เมทิลยึดเกาะกับสายโซ่โมเลกุลหลักอยู่ทั้ง 2 ด้าน ในลักษณะที่ไม่เป็นระเบียบ ทำให้สายโซ่โมเลกุลของพอลิพรอพิลีนจัดเรียงตัวกันได้ไม่แน่น ทำให้มีปริมาณผลึกน้อย ส่วนใหญ่จะเป็นอสัณฐาน โครงสร้างแบบนี้จึงมีความแข็งแรงต่ำที่สุด โดยดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ลักษณะการจัดเรียงตัวโครงสร้างโมเลกุลแบบอะแทกติกแทกติกของพอลิพรอพิลีน

ที่มา : ชนิดา (2547)

การประยุกต์ใช้งาน เช่น ใช้ทำถุงร้อน ขวดน้ำ ถ้วยบะหมี่หรือโจ๊กกึ่งสำเร็จรูป กล่องบรรจุอาหาร กระบอกสำหรับใส่น้ำแช่เย็น ปกแฟ้มเอกสาร กล่อง ตลับเครื่องสำอาง ถุงบรรจุปุ๋ย ลัง ถาด และขวดใส่สารเคมี เป็นต้น

สมบัติของพอลิพรอพิลีนขึ้นอยู่กับความหนาแน่น พอลิพรอพิลีนมีความเป็นนิวโตเนียน (Newtonian) น้อยกว่าพอลิเอทิลีน ซึ่งแสดงถึงความหนืดจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเพิ่มอัตราเฉือน (Shear Rate) หรืออุณหภูมิ น้ำหนักโมเลกุลของพอลิพรอพิลีนมีผลต่อสมบัติ แตกต่างจากพอลิเมอร์อื่น ๆ คือ เมื่อน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้น มีผลให้ความหนืดของพอลิเมอร์หลอมเหลวสูงขึ้น และมีสมบัติความต้านทานแรงกระแทกสูงขึ้น แต่มีผลให้ความแข็งแกร่ง ความต้านทานแรงดึง ความแข็ง และอุณหภูมิอ่อนตัวลง เนื่องจากน้ำหนักโมเลกุลที่สูงมีผลให้การจัดเรียงตัวเป็นผลึกเกิดได้ยาก และการกระจายน้ำหนักโมเลกุล ซึ่งสมบัติต่าง ๆ ของพอลิพรอพิลีนแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สมบัติบางประการของพอลิพรอพิลีน (Polypropylene, PP)

สมบัติทั่วไป	พอลิพรอพิลีน (Polypropylene, PP)
ค่าความถ่วงจำเพาะ	0.90-0.91
ความเป็นผลึก	82 %
อุณหภูมิหลอมเหลวผลึก	175 ^{0}C
อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะเป็นแก้ว	-20 ^{0}C
มอดุลัส	1.0-1.4 GPa
ความใส	ทึบ
ทนแสงแดด	พอใช้
ดูดซึมน้ำ (24 ชม.)	ไม่ดูดซึมน้ำ
ทนกรดอ่อน	ได้
ทนกรดแก่	ถูกทำลายอย่างช้าจาก Oxidizing acids
ทนด่าง	ได้
ทนสารละลาย	ถูกทำละลายโดย hydrocarbon

ที่มา : จรูญ และธานินทร์ (2546)

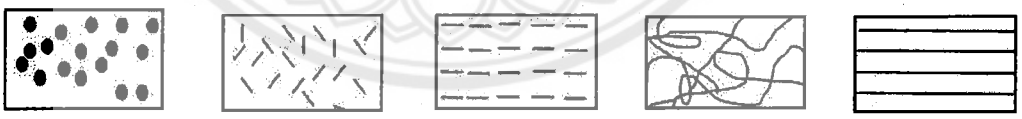
ตารางที่ 2.1 (ต่อ) สมบัติบางประการของพอลิพรอพิลีน (Polypropylene, PP)

สมบัติทั่วไป	พอลิพรอพิลีน (Polypropylene. PP)
สภาพและกลิ่นเมื่อไหม้ไฟ	เปลวจ้ามีแกนเปลวสีน้ำมัน
กลิ่น	คล้ายพาราฟินหรือเทียนไข
สัมประสิทธิ์การนำความร้อน	1.38 kJ/mh°C
ค่าความร้อนจำเพาะ	1.88 kJ/kg°C
ค่าความหนาแน่นที่ 20 °C	0.94-0.96 g/cm^3
อัตราการหดตัว	2.0-4.0%
อุณหภูมิในการขึ้นรูป	220-280 °C

ที่มา : จรูญ และธานินทร์ (2546)

2.2.2 ตัวเสริมแรง (Reinforcement)

ตัวเสริมแรง (Reinforcement) คือ ส่วนประกอบที่ช่วยให้สมบัติความแข็งแรงของวัสดุเชิงประกอบดีขึ้น โดยทั่วไปจะมีความแข็งแรงมากกว่าเนื้อพื้น เป็นตัวรับแรงที่ส่งผ่านมาจากเนื้อพื้น ขนาด และรูปร่างของตัวเสริมแรงเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญมากตัวแปรหนึ่งที่ส่งผลถึงประสิทธิภาพในการเสริมแรง ซึ่งจะทำให้วัสดุเชิงประกอบมีความแข็งแรงมากขึ้น ลักษณะรูปร่างของตัวเสริมแรงแบ่งออกได้หลายแบบอาจเป็นแผ่น เส้นใย หรืออนุภาคเล็ก ๆ ตัวเสริมแรงที่นิยมใช้มีลักษณะเป็นเส้นใย (Fiber) อาจเป็นเส้นใยยาวต่อเนื่อง (Continuous Fiber) หรือเส้นใยสั้น (Discontinuous Fiber) นอกจากนี้อาจเป็นเส้นใยที่พันกัน หรืออยู่ในรูปของเส้นใยที่ผ่านการถัก (Knitting) หรือการทอ (Weaving) มาแล้วทำให้วัสดุเชิงประกอบมีโครงสร้าง และมีการจัดเรียงตัวของตัวเสริมแรงหลายรูปแบบดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างคอมโพสิตที่มีตัวเสริมแรงต่างกัน
ก) ตัวเสริมแรงเป็นอนุภาคจัดเรียงตัวแบบสุ่ม
ข) ตัวเสริมแรงเป็นเส้นใยสั้นจัดเรียงตัวแบบสุ่ม
ค) ตัวเสริมแรงเป็นเส้นใยสั้นจัดเรียงตัวทิศทางเดียวกัน
ง) ตัวเสริมแรงเป็นเส้นใยยาวต่อเนื่องจัดเรียงตัวแบบสุ่ม
จ) ตัวเสริมแรงเป็นเส้นใยยาวต่อเนื่องจัดเรียงตัวแบบในทิศทางเดียวกัน
ที่มา : เดือนพร (2549)

หน้าที่ของตัวเสริมแรง (Reinforcement) คือ ทำหน้าที่เสริมแรงให้กับเนื้อพื้นทำให้ส่วนของเนื้อพื้นมีสมบัติที่ดีขึ้น โดยจะอยู่ในลักษณะกระจายตัวหรือฝังตัวอยู่ในเนื้อพื้นรวมทั้งการประกบแบบอัดซ้อนกับเนื้อพื้น

2.2.2.1 สมบัติที่ดีของตัวเสริมแรง

ก. มีความสามารถในการเข้ากันได้กับเนื้อพื้น เช่น ความสามารถในการเข้ากันได้ทางเคมี ความสามารถในการทำให้เกิดพันธะที่แข็งแรง

ข. เป็นตัวช่วยเสริมแรงในด้านสมบัติเชิงกลของเนื้อพื้น โดยส่วนใหญ่แล้วตัวเสริมแรงจะมีค่าความแข็ง (Hardness) ความแข็งแรง (Strength) และความแกร่ง (Stiffness) มากกว่า เนื้อพื้น

ค. มีน้ำหนักเบา (Light weight) เมื่อนำมาใช้ในวัสดุเชิงประกอบจะได้สมบัติเชิงกลอยู่ในรูปแบบสมบัติเฉพาะ (Specific Properties) โดยเป็นสมบัติเชิงกลต่อความหนาแน่น

ง. มีความต้านทานต่อการกัดกร่อน (Corrosion)

จ. มีความสามารถในการยืดหยุ่น (Flexibility) สูง

ช. มีความเหนียว (Toughness) สูง

ซ. มีความแข็งแรง (Strength) สูง

นอกจากนี้แล้วรูปร่าง และขนาด (Shape and Size) ของตัวเสริมแรงจะมีผลต่อสมบัติเชิงกลด้วย

2.2.2.2 โดยทั่วไปเส้นใยที่ใช้เสริมแรงในวัสดุเชิงประกอบ สามารถแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

ก. เส้นใยสังเคราะห์ (Synthetic Fiber) เป็นเส้นใยที่นำมาปรับปรุงโครงสร้าง เลียนแบบจากธรรมชาติ ปรับปรุงให้สมบัติโดยรวมดีขึ้น (เดือนพร, 2549)

ข. เส้นใยธรรมชาติ (Natural Fiber) เป็นเส้นใยที่หาได้ง่าย นำกลับมาใช้ใหม่ได้ ราคาถูก ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ไม่เกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม ตัวเส้นใยเกิดการเสียดสีน้อยกว่าเส้นใยสังเคราะห์

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้เส้นใยธรรมชาติ (Natural Fiber) โดยใช้ขี้เลื่อยไม้สักมาเป็นตัวเสริมแรงในวัสดุเชิงประกอบ

2.3 เส้นใยธรรมชาติ (Natural Fibers)

เส้นใยธรรมชาติ เป็นอินทรียวัตถุที่สำคัญหาได้ง่ายจากธรรมชาติ มีปริมาณมาก สามารถเกิดขึ้นใหม่ได้ และมีราคาถูกกว่าเส้นใยสังเคราะห์ ด้วยเหตุนี้เส้นใยธรรมชาติจึงนิยมใช้เป็น ตัวเติมแต่งในพลาสติกมาก ทั้งเทอร์โมพลาสติก และเทอร์โมเซต เนื่องจากมีความแข็งแรง และความเปราะสูง

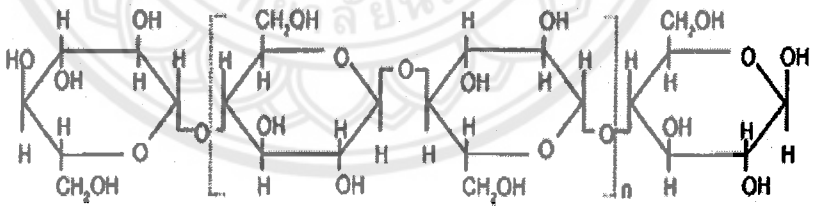
ความหนาแน่นต่ำ การประยุกต์ใช้งานวัสดุเชิงประกอบในปัจจุบัน มีการใช้เส้นใยธรรมชาติ แทนการใช้เส้นใยแก้วมากขึ้น จุดประสงค์เพื่อลดต้นทุนการผลิตเป็นหลัก

2.3.1 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย

องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของเส้นใยไม้ประกอบด้วย คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) และออกซิเจน (O) นอกจากนี้ยังมี ไนโตนเจน (N) แคลเซียม (Ca) และแมกนีเซียม (Mg) ซึ่งโครงสร้างหลัก ๆ ประกอบได้ด้วย

2.3.1.1 เซลลูโลส (Cellulose)

เส้นใยธรรมชาติจากพืชทุกชนิดจัดเป็นเส้นใยประเภทเซลลูโลสที่มีองค์ประกอบทางเคมี ประกอบด้วยธาตุหลัก คือ คาร์บอน 44.4 เปอร์เซ็นต์ ไฮโดรเจน 6.2 เปอร์เซ็นต์ และออกซิเจน 49.4 เปอร์เซ็นต์ มีโครงสร้างประกอบด้วยขั้นพื้นฐานซึ่งเรียกว่าแอนไฮโดรดีกลูโคส (Anhydro-D-glucose) มีสูตรทางเคมี คือ $C_6H_{10}O_5$ ต่อกันเป็นสายโซ่โมเลกุลยาว แต่ละหน่วยของกลูโคสประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลทั้งหมด 3 หมู่ด้วยกัน ซึ่งเหมือนกับโครงสร้างของน้ำตาลทั่วไป แต่เนื่องจากโมเลกุลต่อกันยาวเป็นลูกโซ่ทำให้ไม่ละลายน้ำเหมือนกับที่เกิดกับน้ำตาล โครงสร้างทางเคมีนับว่ามีบทบาทอย่างยิ่งต่อการกำหนดสมบัติของเส้นใย กล่าว คือ หมู่ไฮดรอกซิล (-OH) จะเป็นตัวดึงดูดน้ำ ทำให้มีความสามารถในการดูดซึมความชื้นได้ดี อีกทั้งเป็นจุดก่อให้เกิดปฏิกิริยา ลักษณะการเรียงโครงสร้างโมเลกุลของเส้นใยเซลลูโลสจะเรียงตัวเป็นสายโซ่โมเลกุลยาวที่มีความแข็งแรงสูง ดังแสดงในรูปที่ 2.7

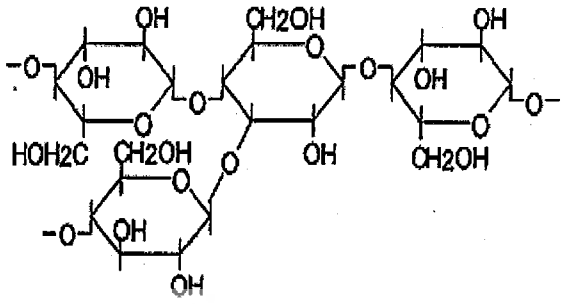


รูปที่ 2.7 โครงสร้างทางเคมีของโมเลกุลเซลลูโลส
ที่มา : ศิริรัตน์ (2550)

2.3.1.2 เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)

เฮมิเซลลูโลสเป็นพอลิแซกคาไรด์ชนิดหนึ่ง ซึ่งคล้ายเซลลูโลสแต่ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหลายชนิด เช่น กลูโคส กาแลกโตส แมนโนส ไซโลส อะราบิโนส รวมทั้งกรดกลูคูโรนิก และกาแลกทูโรนิก เฮมิเซลลูโลสพบในเนื้อเยื่อของพืชโดยรวมอยู่กับสารอื่น ๆ

เช่น ลิกนิน เซลลูโลส เป็นโครงสร้างของผนังเซลล์ พบมากใน แกลบ ซังข้าวโพด เป็นต้น มีสูตรโมเลกุล คือ $(C_6H_{12}O_5)_{2n}$ และมีโครงสร้างทางเคมีดังแสดงในรูปที่ 2.8

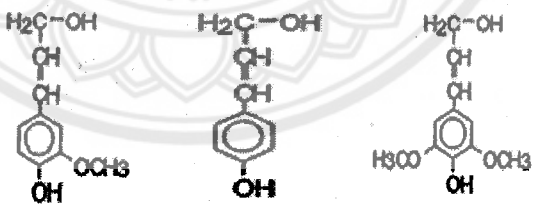


รูปที่ 2.8 โครงสร้างทางเคมีของโมเลกุลเฮมิเซลลูโลส

ที่มา : ศิริรัตน์ (2550)

2.3.1.3 ลิกนิน (Lignin)

ลิกนินเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเชิงซ้อน มีน้ำหนักโมเลกุลสูง และเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ โครงสร้างของลิกนินจะประกอบด้วยสารอะลิฟาติก และสารอะโรมาติกอยู่รวมกัน สารอะโรมาติกในโครงสร้างของลิกนินทำให้ลิกนินมีเสถียรภาพสูง และไม่ละลายน้ำ นอกจากนี้ลิกนิน ยังเป็นส่วนสำคัญที่ทำหน้าที่ยึดเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสเข้าไว้ด้วยกัน ทำให้พืชที่มีปริมาณลิกนินอยู่มากจะมีความแข็ง ทนทานต่อดินฟ้าอากาศสูง ซึ่งไม้ต่างชนิดกันจะมีลิกนินอยู่ในโครงสร้างในรูปที่แตกต่างกันด้วย (ศิริรัตน์, 2550) และมีโครงสร้างทางเคมีดังแสดงในรูปที่ 2.9



ก) ข) ค)

รูปที่ 2.9 โครงสร้างทางเคมีของลิกนิน

ก) พบในเนื้อไม้แข็งและหญ้า

ข) พบในเนื้อไม้อ่อน

ค) พบในแอลกอฮอล์ (เป็นสารตั้งต้นของลิกนิน)

ที่มา : ริกาญจน์ (2554)

2.3.2 ขี้เลื่อยไม้ (Wood Sawdust)

ขี้เลื่อยไม้ เป็นสารตัวเติม (Filler) หรือตัวเสริมแรงประเภทสารอินทรีย์ หาได้ง่ายจากธรรมชาติ มีปริมาณมาก และมีราคาถูกกว่าเส้นใยสังเคราะห์ ด้วยเหตุนี้จึงมีการนำขี้เลื่อยไม้ไปใช้เป็นตัวเสริมแรง หรือใช้เป็นสารตัวเติมเพื่อลดต้นทุน เป็นการปรับปรุงความสามารถการขึ้นรูป และสมบัติของผลิตภัณฑ์เพื่อการผลิต ผลิตภัณฑ์พลาสติก โดยทำหน้าที่เสริมแรงให้แก่ผลิตภัณฑ์ ซึ่งสมบัติของผลิตภัณฑ์ขึ้นอยู่กับชนิด และขนาดของเส้นใยที่นำมาใช้ รวมถึงองค์ประกอบอื่น ๆ เช่น ความชื้น องค์ประกอบหลักของเส้นใยธรรมชาติเป็นเซลลูโลส ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มของพอลิแซคคาไรด์ (Polysaccarides) มีอยู่ประมาณ 40-50 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของไม้แห้ง โมเลกุลของเซลลูโลสมีลักษณะเป็นพอลิเมอร์แบบเส้นตรง โครงสร้างประกอบด้วยแอนไฮโดรกรูโคปี้เรนนอล (Anhydroglucopyranose) เป็นหน่วยของโครงสร้าง เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก (Glycosidic Bond) จัดเรียงต่อกันเป็นเส้นดังรูปที่ 2.7 สูตรโครงสร้างเคมีของโมเลกุลเซลลูโลส ส่วนองค์ประกอบอื่น ๆ แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงส่วนประกอบอื่น ๆ ทางเคมีของขี้เลื่อยไม้

องค์ประกอบทางเคมีของขี้เลื่อยไม้ (Wood Sawdust)	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
เฮมิเซลลูโลส	20-30
ลิกนิน	20-30
เซลลูโลส	40-50

ที่มา : ชนิดา (2547)

โดยเส้นใยธรรมชาติแต่ละชนิดนั้นมีอัตราส่วนผสมระหว่างเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ที่แตกต่างกัน และสามารถเปลี่ยนแปลงไปได้ตามอายุ สถานที่เพาะปลูก สภาพอากาศ และสภาพดิน

ขี้เลื่อยไม้สัก (Wood Flour) มีลักษณะเป็นผงคล้ายแป้ง ขนาดอนุภาคอยู่ในช่วงประมาณ 40-80 Mesh สามารถนำมาใช้เป็นตัวเสริมแรงในเทอร์โมพลาสติกได้ โดยมีข้อดี คือ ช่วยลดการหดตัว เพิ่มมอดุลัส และความแข็งให้ผลิตภัณฑ์ แต่ก็มีข้อเสีย คือ ทำให้กระบวนการขึ้นรูปทำได้ยากขึ้น เสถียรภาพทางความร้อนความทนทานต่อสภาพอากาศ และความสามารถในการรับแรงกระแทกลดลง (ชนิดา, 2547)

กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมไม้สัก มีส่วนที่เป็นเศษวัสดุเกิดขึ้นจากการผลิต สามารถแบ่งตามขนาดจากขนาดใหญ่ไปเล็กได้ดังนี้ คือ

ก. ปีกไม้ เกิดจากการเลื่อยผ่าท่อนซุง เพื่อแปรรูปไม้ให้ได้ขนาด สำหรับโรงงานที่ใช้เนื้อไม้แปรรูป

ข. เปลือกไม้ ส่วนใหญ่เกิดจากการลอกเปลือกออก ในโรงงานผลิตไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง และไม้วีเนียร์ (veneer)

ค. เศษไม้เกิดจากการตัดส่วนที่มีตำหนิ หรือส่วนเกินของชิ้นงานทิ้ง

ง. ขี้กบ เกิดจากการขึ้นรูปชิ้นงาน โดยวิธีการกลึง กัด และไส

จ. ขี้เลื่อย เกิดจากการเลื่อยผ่าท่อนซุง และเลื่อยชอย

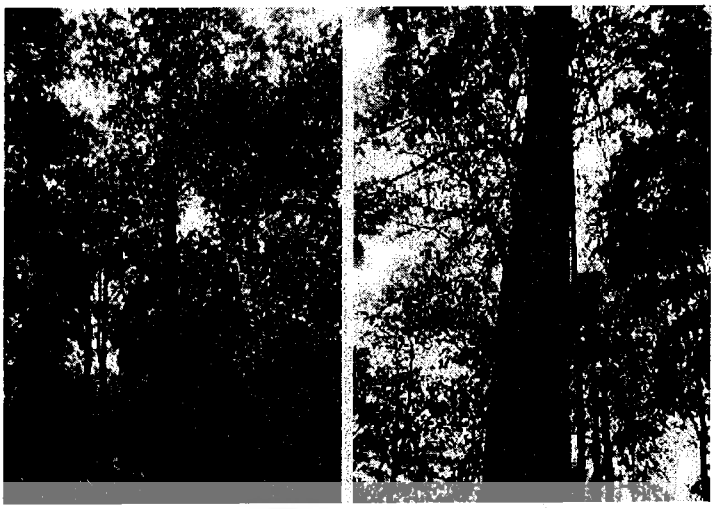
ฉ. ฝุ่นไม้ เกิดจากการขัดผิวหน้าให้เรียบด้วยกระดาษทราย

เศษวัสดุที่เกิดขึ้นบางส่วน สามารถนำมาหมุนเวียนเพื่อใช้ในกระบวนการผลิต และบางส่วนสามารถนำไปเผาเป็นเชื้อเพลิงเพื่อใช้พลังงานความร้อนได้ ส่วนฝุ่นไม้ซึ่งเกิดขึ้นในกระบวนการขัดเรียบ เป็นขยะที่โรงงานต้องการกำจัดทิ้ง

2.3.3 ไม้สัก (Tectona grandis)

ไม้สัก เป็นต้นไม้ขนาดใหญ่ ขึ้นเป็นหมู่ ในป่าเบญจพรรณทางภาคเหนือ และบางส่วนของภาคกลาง และตะวันตก คือ ท้องที่จังหวัดแม่ฮ่องสอน เชียงใหม่ ลำพูน เชียงราย ลำปาง แพร่ น่าน ตาก กำแพงเพชร อุตรดิตถ์ พิษณุโลก สุโขทัย เพชรบูรณ์ และพิจิตร มีบ้างเล็กน้อยในจังหวัดนครสวรรค์ อุทัยธานี และกาญจนบุรี ไม้สักชอบขึ้นตามพื้นที่ที่เป็นภูเขา แต่ในพื้นที่ราบ พื้นที่ดินปนทรายที่น้ำไม่ขัง ไม้สักก็ขึ้นได้ดีเช่นกัน ไม้สักมักขึ้นเป็นหมู่ไม้สักล้วน ๆ และมีขนาดใหญ่ และชอบขึ้นที่ที่มีชั้นดินลึก การระบายน้ำดี ไม่ชอบดินแข็ง และน้ำท่วมขัง ไม้สักเป็นไม้ผลัดใบ ขนาดใหญ่ที่มีลำต้นเปล่า มักมีพูพอนตอนโคนต้น เรือนยอดกลมสูงเกินกว่า 20 เมตร เปลือกหนา สีเทา หรือน้ำตาลอ่อนแกมเทาแตกเป็นร่องตื้น ๆ ไปตามทางยาว และหลุดออกเป็นแผ่นบาง ๆ เล็ก ๆ ใบใหญ่ ความกว้าง 25 - 30 เซนติเมตร ยาว 30 - 40 เซนติเมตร รูปใบรีมน หรือรูปไข่กลับ แตกจากกิ่งเป็น คู่ ๆ ท้องใบสาก หลังใบสีเขียวแกมเทาเป็นขน ดอกเป็น สีขาวนวล ออกเป็นช่อใหญ่ ๆ ตามปลายกิ่งเริ่มออกดอกเดือนมิถุนายนเป็นต้นไป ผลค่อนข้างกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 - 2 เซนติเมตร ผลหนึ่งมีเมล็ดใน 1 - 4 เม็ด เปลือกเมล็ดแข็ง มีขนสั้น นุ่ม สีน้ำตาลหุ้มอยู่ ผลจะแก่ในราวเดือนพฤศจิกายน – มกราคม

ไม้สักเป็นไม้ที่มีมูลค่าที่สูงมาก และมีปัญหาเรื่อง การห้ามตัดไม้ ดังนั้นจึงได้มีการคิดค้นในการเพิ่มมูลค่าจากวัสดุเหลือทิ้งจำพวกขี้เลื่อยไม้สัก เพื่อเพิ่มมูลค่าของวัสดุเหลือทิ้งที่มีราคาแพง ซึ่งขี้เลื่อยไม้สักเป็นวัสดุที่เหลือทิ้งจากโรงงานแปรรูปไม้ หาได้ง่ายตามโรงงานแปรรูปไม้ทั่วไป และสามารถนำมาพัฒนาเป็นไม้ทดแทน หรือวัสดุเชิงประกอบ เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับเศษวัสดุเหล่านี้ด้วย (108.Wood.com, 2553)



รูปที่ 2.10 ลักษณะของต้นสัก
ที่มา : 108.Wood.com (2553)

ตารางที่ 2.3 ลักษณะของไม้สัก

รายการ	ลักษณะ
ชื่อไทย	ไม้สัก
ชื่อสามัญ	Teak
ชื่อสามัญอื่น	เซบ่ายี้, ปีฮือ, ปายี้, เป้อย
ชื่อวิทยาศาสตร์	*Tectona grandis L.f.*
ชื่อวงศ์	Verbenaceae
ถิ่นกำเนิด	ทางตอนใต้ของประเทศอินเดีย พม่า ไทย อินโดนีเซีย และหมู่เกาะอินเดียตะวันออก
ลักษณะทั่วไป	เนื้อไม้มีสีเหลืองทองถึงน้ำตาลแก่ มีลายเป็นเส้นสีน้ำตาลแก่แทรกเสี้ยนตรงเนื้อหยาบแข็งปานกลาง เลื่อยใสกบ ตบแต่งง่าย คุณสมบัติที่ดีบางประการ คือ ไม้สักปลวกมอดไม่ทำอันตราย เพราะในเนื้อไม้สักมีสารเคมีพิเศษ มีคุณสมบัติคงทนต่อ ปลวก แมลง เห็ดราได้อย่างดี มีความทนทานตามธรรมชาติ จากการทดลอง นำแก่นของไม้สักไปปักดิน มีความทนทานระหว่าง 11 – 18 ปี

2.3.3.1 สมบัติเด่น

ก. ปลวก มอด ไม่ทำอันตราย เพราะในเนื้อไม้สักมีสารเคมีพิเศษชื่อโอ-คริซิลเมทิลอีเทอร์ (O-cresyl methyl ether) สารเคมีชนิดนี้ค้นพบโดยนักวิทยาศาสตร์ของกรมป่าไม้ มีคุณสมบัติต้านทานต่อ ปลวก แมลง เห็ดราได้อย่างดี

ข. ไม้สักทองยังพบว่ามีทองคำปนอยู่ 0.5 มิลลิกรัมต่อน้ำ 1 ลิตร (ไม้สักทอง 26 ตัน มี ทองคำหนัก 1 บาท หรือ 15.2 กรัม)

2.3.3.2 ลักษณะของไม้สักมี 5 ชนิด คือ

ก. สักทอง ขึ้นในป่าโปร่งชื้น ไกลห้วยหรือที่แล้ง อยู่ในที่ที่แห้งชื้น เรือนยอดสมบูรณ์ ใบมีขนาดปานกลาง เนื้อไม้จะเป็นเส้นตรงผ่าง่าย สีเข้ม เป็นสีน้ำตาลเหลือง หรือ สีทอง

ข. สักหยวก ขึ้นในป่าโปร่งชื้น ริมห้วย ต้นตรง เปลือกแตกเป็นร่องยาวตรงร่องของเปลือกไม้สักหยวกจะกว้างกว่า ไม้สักทอง เรือนยอดสมบูรณ์ ใบขนาดกลาง เนื้อไม้จะมีสีน้ำตาลอ่อน หรือสีจาง

ค. สักไข ขึ้นในป่าโปร่งแล้ง ความเจริญเติบโตดูช้า ร่องของเปลือกลึก และตัวเปลือกเป็นสันกว้างระหว่างร่อง ลำต้นตรงเปล่า แต่มีลักษณะแกร็น ๆ พุ่มของเรือนยอดบอบบาง มีใบเต็ม เนื้อไม้จะมีไข่ปน ยากแก่การขัด และการทาแชลแลค หรือแลกเกอร์ สีของไม้สักไขจะเป็นสีน้ำตาลเข้มปนเหลือง

ง. สักหิน ขึ้นในป่าโปร่งแล้ง ในที่สูง การแตกของเปลือกเป็นร่องลึก และเรือนยอดดูไม่ค่อยแข็งแรง ใบเล็กกว่าปกติจะทราบได้แน่นอนเมื่อมีการโค่นล้ม หรือตบแต่ง เนื้อไม้จะแข็งกว่าไม้สักทั่วไป และเปราะ สีของเนื้อไม้สักเป็นสีน้ำตาลเข้ม

จ. สักขี้ควาย ขึ้นในที่ค่อนข้างแล้ง ในป่าผลัดใบต่าง ๆ และมักจะอยู่ในบริเวณรอยต่อของป่าโปร่งผลัดใบ และป่าแพะ ลักษณะของเรือนยอดจะไม่สมบูรณ์ ลำต้นจะตายบ้าง กิ่งบนเรือนยอดแห้งตายไปบ้าง ลักษณะของเปลือกแตกเป็นร่องไม่สม่ำเสมอ ขาดเป็นตอน ๆ และร่องลึก เนื้อไม้มีสีเขียวปนน้ำตาล น้ำตาลแก่ น้ำตาลอ่อน ปนกันดูเป็นสีเลอะ ๆ

2.3.4 การใช้ประโยชน์ของไม้สัก

2.3.4.1 เนื้อไม้

ก. การสร้างบ้านเรือน

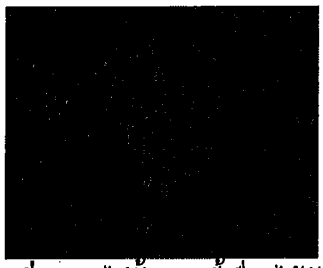
ข. ทำเสาเรือน เพราะมีความทนทานสามารถอยู่ในดินได้เป็นเวลานาน ๆ

ค. ไม้ขนาดเล็ก เศษไม้ ปลายไม้ มาใช้ทำเฟอร์นิเจอร์ แกะสลัก ปาร์เก้ โม-เสค วงกบ กรอบ และบานประตูหน้าต่าง

2.3.4.2 ผงขี้เลื่อย

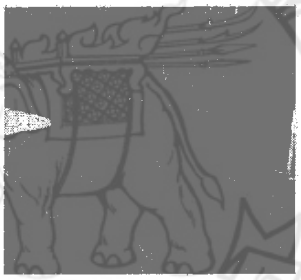
ก. เพาะเห็ด

ข. ใช้ทำไก่ปั้นจากขี้เลื่อยไม้สัก (เป็นผลิตภัณฑ์ของฝากที่ทำจากขี้เลื่อยไม้สัก) ดังรูปที่ 2.11



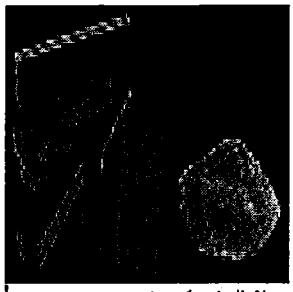
รูปที่ 2.11 ไก่ปั้นจากขี้เลื่อยไม้สัก
ที่มา : ภิญโญเฟอร์นิเจอร์ (2554)

ค. ใช้ในโครงการผลิตเฟอร์นิเจอร์จากเศษกระดาษธนบัตรเก่า และขี้เลื่อย โดยใช้พลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนเป็นเนื้อพื้น ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ผลิตภัณฑ์ชั้นวางหนังสือ
ที่มา : สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (2554)

ง. ใช้ในการผลิตแผ่นไม้ปาร์เก้ จากขี่เลื่อยไม้สัก แต่เดิมนิยมผลิตจากไม้สักต่อมาผลิตจากไม้ยางพารา และมีการใช้ไม้โตเร็วแล้วคือ ไม้ยูคาลิปตัส การผลิตไม้ปาร์เกนี้จะขยายตัวตามภาวะเศรษฐกิจที่ดีขึ้น ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ผลิตภัณฑ์แผ่นไม้ปาร์เก้
ที่มา : 108.wood.com (2553)

2.4 กระบวนการผลิต

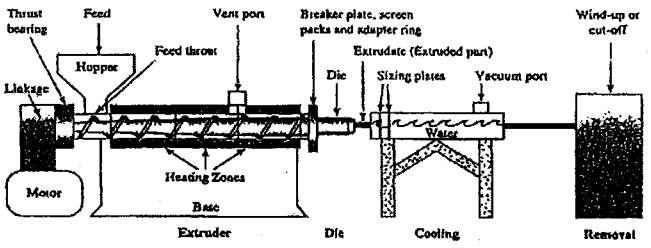
กระบวนการผลิตมีทั้งกระบวนการผสมวัตถุดิบ และกระบวนการขึ้นรูปวัตถุดิบ งานวิจัยนี้ได้ทำการผสมวัตถุดิบโดยใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single Screw Extruder Machine) จากนั้นทำการขึ้นรูปโดยการฉีดขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีด (Injection Molding Machine)

2.4.1 กระบวนการผสมวัตถุดิบ

2.4.1.1 กระบวนการผสมวัตถุดิบด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single Screw Extruder Machine)

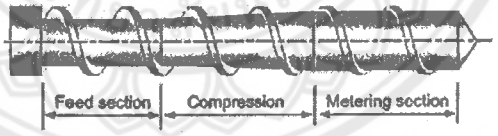
กระบวนการผสมวัตถุดิบด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว เป็นการขึ้นรูปพอลิเมอร์ที่มีความต่อเนื่อง ใช้ผลิตพอลิเมอร์ที่มีลักษณะเป็นผง หรือเม็ดให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ต่อเนื่อง สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้หลากหลาย ชิ้นงานที่มีรูปร่างไม่ซับซ้อนมาก สามารถใช้ขึ้นรูปทั้งพอลิเมอร์ชนิดแข็ง และอ่อน กระบวนการผสมวัตถุดิบด้วยอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว ยังเป็นกระบวนการที่นิยมใช้ในการผสมพอลิเมอร์ผสมสารตัวเติม (Filler) สี และสารเติมแต่งลงในพอลิเมอร์ที่มีประสิทธิภาพในการหลอมให้เข้ากันได้สูง ข้อดีของการที่เป็นกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง คือ ทำให้ได้กำลังการผลิตสูง มีต้นทุนต่ำ แต่ก็มีข้อจำกัด คือ ไม่สามารถออกแบบหัวขึ้นรูปให้ได้ชิ้นงานมีความซับซ้อนแบบชิ้นงานจากกระบวนการฉีดขึ้นรูป และไม่สามารถเปลี่ยนแปลงขนาดหน้าตัดของชิ้นงานได้

เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง คือ หัวขึ้นรูป ชุดหล่อเย็น และเครื่องตัดชิ้นงาน แสดงดังรูปที่ 2.14 คือ เม็ดพลาสติก และส่วนผสมต่าง ๆ ที่ผสมกันดีแล้ว จะถูกป้อนผ่านกรวยป้อนวัตถุดิบ (Hopper) ที่ติดอยู่กับเครื่อง วัสดุจะร่วงหล่นผ่านรูที่อยู่ด้านบนของห้องหลอมเหลว (Barrel) ลงสู่สกรูซึ่งหมุนอยู่ในห้องหลอมเหลว การหมุนของสกรูเป็นการพาพลาสติกให้เคลื่อนที่ไปด้านหน้าไปยังบริเวณที่ให้ความร้อน ซึ่งเป็นความร้อนที่ได้จากภายนอกห้องหลอมเหลว และความร้อนจากการเสียดสีกันเอง ทำให้เม็ดพลาสติกเกิดการหลอม และถูกลำเลียงไปตามการหมุนของสกรูจนถึงบริเวณปลายเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว ซึ่งมีหัวขึ้นรูป (Die) ติดอยู่ หัวขึ้นรูปมีหน้าที่กำหนดรูปร่างของพอลิเมอร์หลอมเหลวที่ไหลออกมานี้ พอลิเมอร์ที่ไหลออกจากหัวขึ้นรูปจะถูกหล่อเย็นในทันทีด้วยน้ำเพื่อรักษารูปร่าง ข้อจำกัด คือ พอลิเมอร์จะต้องมีความหนืดสูง เพื่อให้พอลิเมอร์ผ่านหัวขึ้นรูปออกมาจะต้องสามารถคงรูปอยู่ได้ในระยะเวลาหนึ่งก่อนการหล่อเย็น



รูปที่ 2.14 เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว และส่วนประกอบ
ที่มา : ชนิดา (2547)

สกรูมีหน้าที่สำคัญ คือ ลำเลียงวัสดุให้เคลื่อนที่ไปด้านหน้า และให้แรงกลเพื่อทำให้พอลิเมอร์เกิดการหลอมเหลว และผสมกันได้ดี สกรูที่ใช้ในกระบวนการอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว มีช่วงบริเวณที่ทำให้เกิดการอัด และเกิดการผสม แบ่งเป็น 3 ช่วง แสดงดังรูปที่ 2.15 ได้แก่ช่วงนำพอลิเมอร์เข้า (Feed zone) มีหน้าที่เคลื่อนย้ายเม็ดพลาสติกไปด้านหน้า ช่วงการอัดพอลิเมอร์ (Compression zone) มีหน้าที่อัด และให้แรงเฉือนแก่พอลิเมอร์ร่วมกับความร้อนที่ได้รับจากภายนอก เพื่อให้พอลิเมอร์เกิดการหลอมเหลว และท้ายสุดช่วงการหลอมพอลิเมอร์ (Metering zone) มีหน้าที่ทำให้พอลิเมอร์เกิดการหลอมเหลวทั่วกัน แรงเฉือนที่สูงมากในช่วงนี้จะทำให้เกิดความดัน ให้พอลิเมอร์หลอมเหลวไหลออกมาทางหัวขึ้นรูป สกรูที่ใช้อาจมีลักษณะแตกต่างกันไปตามประเภทของงาน และชนิดของพอลิเมอร์



รูปที่ 2.15 ลักษณะและส่วนต่าง ๆ ของสกรูเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว
ที่มา : ชนิดา (2547)

เครื่องอัดรีด แบ่งได้เป็น 2 ชนิดตามสกรูที่ใช้ คือ เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single Screw Extruder) ที่เหมาะกับงานอัดรีดทั่ว ๆ ไป และเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ (Twin Screw Extruder) เหมาะกับงานอัดรีดที่ต้องการการผสมที่ดี ต้องการปริมาณการผลิตสูง หรือใช้กับพอลิเมอร์ที่ไวต่อความร้อน เช่น พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinylchloride : PVC) (ชนิดา, 2547)

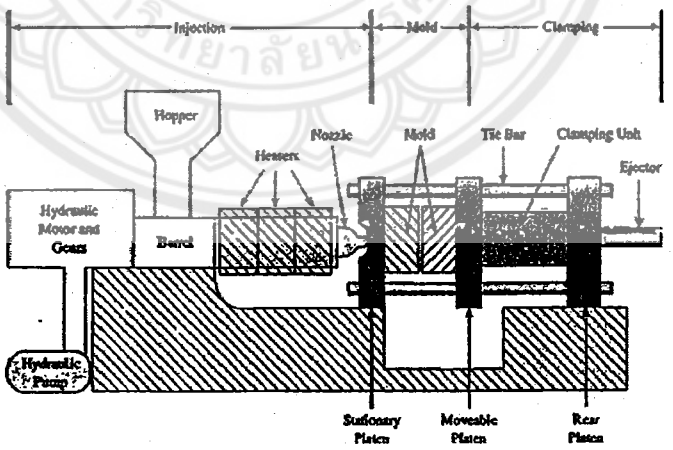
2.4.2 กระบวนการขึ้นรูปวัตถุดิบ

2.4.2.1 กระบวนการขึ้นรูปวัตถุดิบด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection Molding Machine)

กระบวนการฉีดขึ้นรูป เป็นกระบวนการขึ้นรูปที่มีลักษณะเป็นรอบ ผลิตชิ้นงานที่มีลักษณะไม่ต่อเนื่อง สามารถขึ้นรูปชิ้นงานที่มีความซับซ้อน ผลิตชิ้นงานในปริมาณมากในเวลาอันสั้น ด้วยเหตุนี้กระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติกจึงเป็นกระบวนการขึ้นรูปพลาสติกที่นิยมมากกว่าการขึ้นรูปชนิดอื่น ๆ ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปโดยกระบวนการฉีด เช่น ของเล่นเด็ก อุปกรณ์ต่อพ่วง เครื่องใช้ในครัวเรือน เป็นต้น นอกจากนี้กระบวนการฉีดขึ้นรูปยังเป็นกระบวนการที่เหมาะสมในการขึ้นรูปวัสดุประเภทเทอร์โมพลาสติก เช่นพอลิพรอพิลีน/เส้นใยแก้ว พอลิคาร์บอเนต/เส้นใยแก้ว แต่มีข้อจำกัด เช่น ความยาวของเส้นใยเสริมแรง ปริมาณเส้นใยเสริมแรงสูงสุดที่สามารถผสมได้ การเรียงตัวของเส้นใย ซึ่งข้อจำกัดเหล่านี้มีผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์

กระบวนการฉีดขึ้นรูปเป็นการให้ความร้อนกับเม็ดพลาสติก จากของแข็งที่อยู่ในรูปของเม็ด หรือผง ในห้องหลอมเหลวโดยการหมุนของสกรู และแถบความร้อน พลาสติกที่หลอมเหลวจะถูกลำเลียงไปด้านหน้าของสกรู จากนั้นสกรูจะเป็นส่วนที่ทำการฉีดพลาสติกหลอมเหลวผ่านหัวฉีดเข้าไปในแม่พิมพ์ซึ่งในแม่พิมพ์จะมีระบบหล่อเย็นเพื่อให้เกิดการคงรูปเป็นรูปร่างชิ้นงานตามแบบของแม่พิมพ์ จากนั้นแม่พิมพ์ถูกเปิดออก แล้วชิ้นงานจะถูกปลดออกมาจากแม่พิมพ์ เพื่อที่จะเริ่มรอบการผลิตใหม่

เครื่องฉีดพลาสติกแสดงแผนภาพดังรูปที่ 2.16 ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ๆ คือ ชุดฉีด (Injection unit) แม่พิมพ์ (Mold) และชุดเปิด-ปิดแม่พิมพ์ (Clamping unit)



รูปที่ 2.16 ส่วนประกอบของเครื่องฉีดขึ้นรูป
ที่มา : ชนิดา (2547)

ก. ชุดฉีด (Injection unit) มีหลายรูปแบบในปัจจุบันที่นิยมมากที่สุดเป็นแบบสกรูเคลื่อนที่ (Reciprocating screw) ประกอบด้วยห้องหลอมสกรู (Screw) ซึ่งมีลักษณะเดียวกับสกรูเครื่องอัดรีดแต่สั้นกว่า หัวฉีดชุดป้อนพลาสติก ฮีตเตอร์ (Heater) ชุดฉีดมีหน้าที่ 2 ขั้นตอน คือ ทำหน้าที่คล้ายเครื่องอัดรีดหลอมพอลิเมอร์ให้เป็นเนื้อเดียวในปริมาณที่พอสำหรับการฉีด 1 ครั้ง โดยเม็ดพลาสติกที่ป้อนมาทางกรวยป้อนเม็ด (Hopper) จะถูกส่งผ่านโดยการหมุนของสกรู วัสดุของแข็งจะถูกอัด อากาศที่อยู่ระหว่างเม็ดจะถูกไล่ออกไปทางกรวยป้อนเม็ดพลาสติกที่อัดแน่นจะหลอมเหลว ในขณะเคลื่อนที่ผ่านสกรู พลังงานที่ใช้ในการหลอมเหลวได้จากความร้อนจากแถบให้ความร้อน และการเสียดสีที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมุนสกรู ในขณะหมุนสกรูด้านหน้าของห้องหลอมเหลวจะปิด ความดันที่เกิดขึ้นจาก พอลิเมอร์หลอมเหลวจะผลักให้สกรู เรียกว่าความดันต้านการถอยกลับ (Back pressure) เป็นตัวกำหนดแรงกระทำที่เกิดขึ้นกับพอลิเมอร์ ความดันต้านการถอยกลับที่เหมาะสมมีผลให้เกิดการผสมที่ดี พอลิเมอร์หลอมเหลว มีอุณหภูมิสม่ำเสมอ ความดันต้านการถอยกลับที่มากเกินไปมีผลให้ พอลิเมอร์เกิดการเสื่อมสภาพ และเส้นใยเสริมแรงสูญเสียความยาว เมื่อพอลิเมอร์หลอมเหลวมาสะสมอยู่ที่ด้านหน้าสกรูในปริมาณที่มากพอแล้ว สกรูจะทำหน้าที่เป็นลูกสูบ โดยการเคลื่อนที่ไปด้านหน้า พอลิเมอร์หลอมเหลวจะถูกฉีดเข้าสู่แม่พิมพ์ เพื่อป้องกันการไหลกลับของเนื้อพอลิเมอร์ ที่ปลายสกรูจึงมีวาล์วป้องกันการไหลกลับของพอลิเมอร์ และในขณะที่เริ่มกระบวนการหล่อเย็น ชุดฉีดจะส่งเนื้อ พอลิเมอร์หลอมเหลวเข้าสู่แม่พิมพ์ด้วยความดันเพื่อทดแทนเนื้อพลาสติกที่หดตัวเนื่องจากการหล่อเย็น

ข. ชุดแม่พิมพ์ (Mould unit) ติดตั้งอยู่ในชุดควบคุมการเปิด-ปิดแม่พิมพ์ มีหน้าที่ให้พอลิเมอร์ที่หลอมเข้าไปอยู่เกิดเป็นรูปร่างชิ้นงาน และแข็งตัวสามารถปลดออกจากแม่พิมพ์ได้ แม่พิมพ์ประกอบด้วย 2 ด้าน ด้านหนึ่งติดอยู่กับส่วนที่ไม่เคลื่อนที่ของชุดควบคุมเปิด-ปิดแม่พิมพ์ แม่พิมพ์ด้านนี้มีทางเข้าพอลิเมอร์ หลอมเหลว (Sprue bush) ซึ่งเป็นช่องที่อยู่ระหว่างแม่พิมพ์ทั้งสองด้าน เชื่อมต่อระหว่างทางเข้าพอลิเมอร์หลอมเหลว และรอยพิมพ์ ซึ่งอยู่บนแม่พิมพ์อีกด้านหนึ่ง ที่บริเวณทางเข้ารอยพิมพ์จะแคบมากเรียกว่า Gate แม่พิมพ์ด้านนี้จะติดตั้งอยู่บนชุดควบคุมการเปิด-ปิดแม่พิมพ์ด้านที่เคลื่อนที่ได้ แม่พิมพ์ด้านนี้มีระบบปลดชิ้นงานอยู่

ค. ชุดเปิด-ปิดแม่พิมพ์ (Clamping unit) เป็นบริเวณที่ติดตั้งแม่พิมพ์ ทำหน้าที่ในการควบคุมการปิดแม่พิมพ์ในขณะที่พอลิเมอร์หลอมเหลวถูกฉีดเข้าสู่แม่พิมพ์ และเปิดแม่พิมพ์เพื่อปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ กำหนดความสามารถจากแรงในการเปิด-ปิดแม่พิมพ์ (Clamping) คือ แรงสูงสุดที่ใช้ในการต้านการเปิดของแม่พิมพ์ เนื่องจากการฉีดพอลิเมอร์หลอมเหลวเข้าสู่แม่พิมพ์ ความสามารถของเครื่องจะอยู่ที่ประมาณ 100-10000 ตัน ขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องซึ่ง มีค่าสูงมากจึงทำให้โครงสร้างของเครื่องฉีดขึ้นรูป และแม่พิมพ์ต้องมีความแข็งแรงสูง ระบบในการเปิด-ปิดแม่พิมพ์มีอยู่ 2 แบบ คือ แบบใช้ระบบไฮดรอลิก และระบบข้อพับ ระบบไฮดรอลิกใช้ลูกสูบซึ่ง ติดอยู่กับด้านที่เคลื่อนที่ในการควบคุมการปิดแม่พิมพ์ และควบคุมความดัน ส่วนระบบข้อต่อมีลักษณะเป็นแขน ซึ่ง หมุนรอบจุดเปิด-ปิดแม่พิมพ์ และสร้างแรงดันระบบไฮดรอลิกมีข้อดี คือ

สามารถสร้างแรงดันได้มาก และหลายระดับ ส่วนระบบข้อพับ มีราคาถูกเปิด และปิดแม่พิมพ์ได้รวดเร็ว แต่การควบคุมแรงดันระยะการเปิด-ปิดได้ยาก และรักษายากกว่าระบบไฮดรอลิก (ชนิดา, 2547)

2.5 การทดสอบสมบัติเชิงกล (Mechanical Properties Testing)

สมบัติเชิงกล คือ พฤติกรรมอย่างหนึ่งของวัสดุที่แสดงออกมา เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำ โดยแรงภายในของวัสดุที่เกิดขึ้นต้านทานแรงภายนอกที่มากระทำ เรียกว่าความเค้น (Stress) วัดเป็นแรงต่อหน่วย และอัตราส่วนระหว่างความยาวของวัสดุ ที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากวัสดุนั้นรับแรงไว้ไม่ไหวต่อความยาวเดิม เรียกว่าความเครียด (Strain) ซึ่งความเครียดไม่มีหน่วยระบุกำกับไว้ แต่นิยมบอกเป็นเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของวัสดุ (Elongation) สมบัติเชิงกล เช่น ความแข็ง (Hardness) ความแข็งแรง (Strength) ความเหนียว (Ductility) ฯลฯ เป็นตัวชี้วัดที่จะบอกว่าวัสดุนั้น ๆ สามารถที่จะรับหรือทนทานแรง หรือพลังงานเชิงกลภายนอกที่มากระทำได้ดีมากน้อยเพียงใด ในงานวิศวกรรมสมบัติเชิงกล มีความสำคัญมากที่สุด เพราะเมื่อเราจะเลือกใช้วัสดุใด ๆ ก็ตาม สิ่งแรกที่จะนำมาพิจารณา คือ สมบัติเชิงกลของมัน การที่เครื่องจักร หรืออุปกรณ์ใด ๆ จะสามารถทำงานได้อย่างปลอดภัยขึ้นอยู่กับสมบัติเชิงกลของวัสดุที่ใช้ทำเครื่องจักร อุปกรณ์นั้น ๆ เป็นสำคัญ

2.5.1 ความเค้น (Stress)

ความเค้น (Stress) หมายถึง แรงต้านทานภายในเนื้อวัสดุที่มีต่อแรงภายนอกที่มากระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ แต่เนื่องจากความไม่เหมาะสมทางปฏิบัติ และความยากในการวัดหาค่านี้เราจึงมักจะพูดถึงความเค้นในรูปของแรงภายนอกที่มากระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ด้วยเหตุผลที่ว่า แรงกระทำภายนอกมีความสมดุลกับแรงต้านทานภายใน โดยทั่วไปความเค้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ตามลักษณะของแรงที่มากระทำ

2.5.1.1 **ความเค้นแรงดึง (Tensile Stress)** เกิดขึ้นเมื่อมีแรงดึงมากระทำตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวาง โดยพยายามจะแยกเนื้อวัสดุให้แยกขาดออกจากกัน

2.5.1.2 **ความเค้นแรงอัด (Compressive Stress)** เกิดขึ้นเมื่อมีแรงกดมากระทำตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวาง เพื่อพยายามอัดให้วัสดุมีขนาดสั้นลง

2.5.1.3 **ความเค้นแรงเฉือน (Shear Stress)** ใช้สัญลักษณ์ τ เกิดขึ้นเมื่อมีแรงมากระทำให้ทิศทางขนานกับพื้นที่ภาคตัดขวาง เพื่อให้วัสดุเคลื่อนผ่านจากกันมีค่าเท่ากับแรงเฉือน (Shear Force) หารด้วยพื้นที่ภาคตัดขวาง A ซึ่งขนานกับทิศทางของแรงเฉือน ในทางปฏิบัติความเค้นที่เกิดจะมีทั้ง 3 แบบนี้พร้อม ๆ กัน

๑๑ ก.ค. ๒๕๕๕
1 631899.0
สำนักหอสมุด
ป
ก
418.9
C6
พ 9750
2555

2.5.2 ความเครียด (Strain)

ความเครียด (Strain) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุ (Deformation) เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำ (เกิดความเค้น) การเปลี่ยนรูปของวัสดุนี้เป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ภายในเนื้อวัสดุ ซึ่งลักษณะของมันสามารถแบ่งเป็น 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ

2.5.2.1 การเปลี่ยนรูปแบบอิลาสติก หรือความเครียดแบบคืนรูป (Elastic Deformation or Elastic Strain) เป็นการเปลี่ยนรูปในลักษณะที่ เมื่อปลดแรงกระทำ อะตอมซึ่งเคลื่อนไหวเนื่องจากผลของความเค้น จะเคลื่อนกลับเข้าตำแหน่งเดิม ทำให้วัสดุคงรูปร่างเดิมไว้ได้ ตัวอย่างได้แก่ พวกยางยืด สปริง ถ้าเราดึงมันแล้วปล่อยมันจะกลับไปมีขนาดเท่าเดิม

2.5.2.2 การเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก หรือความเครียดแบบคงรูป (Plastic Deformation or Plastic Strain) เป็นการเปลี่ยนรูปที่ถึงแม้ว่าจะปลดแรงกระทำนั้นออกแล้ววัสดุก็ยังคงรูปร่างตามที่ถูกเปลี่ยนไปนั้น โดยอะตอมที่เคลื่อนที่ไปแล้ว จะไม่กลับไปตำแหน่งเดิม

วัสดุทุกชนิดจะมีพฤติกรรมการเปลี่ยนรูปทั้งสองชนิดนี้ ขึ้นอยู่กับแรงที่มากระทำ หรือความเค้นว่ามีมากน้อยเพียงใด หากไม่เกินพิกัดการคืนรูป (Elastic Limit) แล้ว วัสดุนั้นก็จะมีพฤติกรรมคืนรูปแบบอิลาสติก (Elastic Behavior) แต่ถ้าความเค้นเกินกว่าพิกัดการคืนรูปแล้ว วัสดุก็จะเกิดการแปรรูปแบบถาวร หรือแบบพลาสติก (Plastic Deformation) นอกจากความเครียดทั้ง 2 ชนิดนี้แล้ว ยังมีความเครียดอีกประเภทหนึ่งซึ่งพบในวัสดุประเภทพอลิเมอร์ เช่น พลาสติก เรียกว่า ความเครียดกึ่งอิลาสติกจะมีลักษณะที่เมื่อปราศจากแรงกระทำวัสดุจะมีการคืนรูป แต่จะไม่กลับไปจนมีลักษณะเหมือนเดิม การวัด และคำนวณหาค่าความเครียดมีอยู่ 2 ลักษณะ คือ แบบเส้นตรง ความเครียดที่วัดได้จะเรียกว่า ความเครียดเชิงเส้น (Linear Strain) จะใช้ได้เมื่อแรงที่มากระทำมีลักษณะเป็นแรงดึง หรือแรงกด ค่าของความเครียดจะเท่ากับความยาวที่เปลี่ยนไปต่อความยาวเดิม แบบเฉือน เรียกว่า ความเครียดเฉือน (Shear Strain) ใช้กับกรณีที่แรงที่กระทำมีลักษณะเป็นแรงเฉือน ค่าของความเครียดจะเท่ากับระยะที่เคลื่อนที่ไปต่อระยะห่างระหว่างระนาบ

2.5.3 มอดุลัส (Modulus of Elasticity ; E)

มอดุลัส (Modulus of Elasticity ; E) หมายถึง ความสามารถในการต้านทานต่อการสูญเสียรูปร่างของชิ้นงานนั่นเอง ตามกฎของฮุค (Hook's law) สำหรับวัสดุที่มีสมบัติยืดหยุ่น ความเค้นเป็นสัดส่วนกับความเครียด อัตราส่วนระหว่างความเค้น และความเครียดนี้เป็นค่าคงที่เรียกว่ามอดุลัส (Modulus of Elasticity ; E) สำหรับการให้ความเค้นใด ๆ กับวัสดุที่มีมอดุลัสต่ำ วัสดุนั้นจะแสดงค่าความเครียดหรือระยะยืด หรือการสูญเสียรูปร่างของชิ้นงานได้สูงกว่าวัสดุที่มีมอดุลัสสูง

สำนักหอสมุด

2.5.4 การทดสอบความแข็งแรงดึง (Tensile Strength)

การทดสอบนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อตรวจสอบความแข็งแรงของวัสดุเมื่อได้รับแรงดึงโดยทำการดึงชิ้นงานที่มีสมบัติ แข็งเปราะอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งวัสดุเกิดการแตกหักผลจากการวัดแรงที่มากระทำต่อวัสดุ ณ ตำแหน่งที่เกิดการแตกหักเรียกว่าความเค้นสูงสุดเนื่องจากแรงดึง (Ultimate Tensile Stress) หรือความต้านทานแรงดึง (Tensile Testing) ทั้งความเค้น และความเครียดนี้เป็นสิ่งที่นำมาใช้พิจารณาถึงสมบัติเชิงกลของวัสดุ เช่น ความยืดหยุ่น (Flexibility) ความเหนียว (Ductility) ความเปราะ (Brittleness) ความแกรง (Toughness) ความแข็งแกร่ง (Stiffness) และความแข็งแรง (Strength) (นิลุบล, 2551) แสดงการทดสอบแรงดึงดังรูปที่ 2.17

รูปที่ 2.17 การทดสอบแรงดึง
ที่มา : พิพัฒน์ และเจตสุดา (2551)

การคำนวณหาค่าความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) หาได้จากสม**การที่ 2.1**

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

เมื่อ σ = ความเค้นเนื่องจากการดึงชิ้นงานตัวอย่าง (N/mm^2 ; MPa)
F = แรงสูงสุดที่ใช้ในการดึง (N)
A = พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน (mm^2)

การคำนวณหาค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (Percent elongation at break ; %Strain) หาได้จากสมการที่ 2.2

$$\varepsilon = \left[\frac{L - L_0}{L_0}\right] \times 100 \qquad (2.2)$$

เมื่อ ε = การยืดตัวของชิ้นงาน ณ จุดขาด (%)

L = ความยาวของชิ้นงาน ณ จุดที่เกิดการแตกหัก (mm)

L_0 = ความยาวเริ่มต้นของชิ้นงาน (mm)

การคำนวณหาค่ามอดุลัส (Modulus of Elasticity ; E) หาได้จากสมการที่ 2.3

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} \qquad (2.3)$$

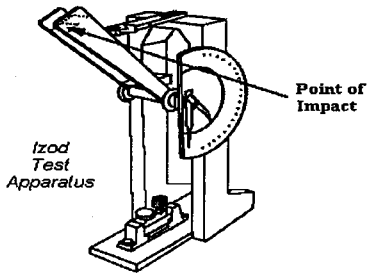
เมื่อ E = มอดุลัส (N/mm^2 ; MPa)

$\Delta\sigma$ = ความแตกต่างของความเค้นระหว่างสองตำแหน่งบนเส้นตรง (N/mm^2)

$\Delta\varepsilon$ = ความแตกต่างของความเครียดระหว่างสองตำแหน่งเส้นตรง

2.5.5 การทดสอบความต้านทานแรงกระแทก (Impact Strength)

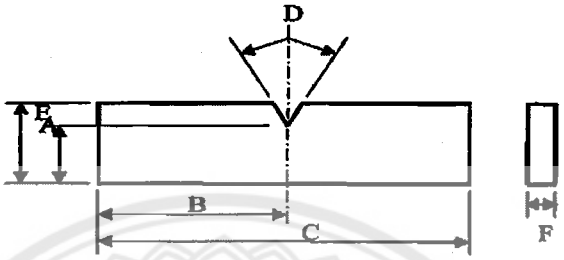
ในการทดสอบความต้านทานแรงกระแทก ของพลาสติกสามารถทำได้หลายวิธี ในที่นี้จะกล่าวถึงการทดสอบความต้านทานแรงกระแทกโดยใช้ค้อนแกว่ง (Pendulum impact testing) ข้อแตกต่างระหว่างการทดสอบแบบชาปี้ (Charpy) และการทดสอบแบบไอซอด (Izod) คือ การวางชิ้นงานทดสอบ โดยการทดสอบแบบชาปี้ (Charpy) จะวางชิ้นงานทดสอบไว้ในแนวระดับ และให้ลูกตุ้มตกกระแทกที่ด้านตรงข้ามกับรอยบาก ส่วนการทดสอบแบบไอซอด (Izod) จะวางชิ้นงานทดสอบไว้ในแนวตั้ง และให้ลูกตุ้มกระแทกกับด้านที่มีรอยบาก โดยใช้เครื่องทดสอบความต้านทานแรงกระแทกแบบไอซอด (Izod) ดังแสดงในรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงกระแทกแบบไอซอด

ที่มา : ชนิดา (2547)

วิธีทดสอบแบบไอซอด (Izod Test) วิธีนี้ให้ค่าความต้านทานแรงกระแทกทั้งของโลหะและพอลิเมอร์ คือ ใช้หัวกระแทกที่รู้มวลแน่นอน เหวี่ยงกระทบชิ้นงานที่วางยึดอยู่กับแท่นวางชิ้นงานในแนวตั้ง โดยให้รอยบากหันไปทิศทางที่หัวกระแทกตกกระทบ และอยู่เหนือที่ยึด โดยให้ค่าความต้านทานแรงกระแทกที่อ่านได้จากเครื่องจะมีหน่วยเป็นจูล โดยเตรียมชิ้นงานดังรูป 2.19



รูปที่ 2.19 ชิ้นงานทดสอบความต้านทานแรงกระแทก ASTM D256

ที่มา : นิลุบล (2551)

การคำนวณความต้านทานแรงกระแทก หาได้จากสมการที่ 2.4

ความต้านทานแรงกระแทก $(IS)=\frac{W}{A}$ **(2.4)**

เมื่อ IS = ค่าความแข็งแรงกระแทก (kJ/m^2)

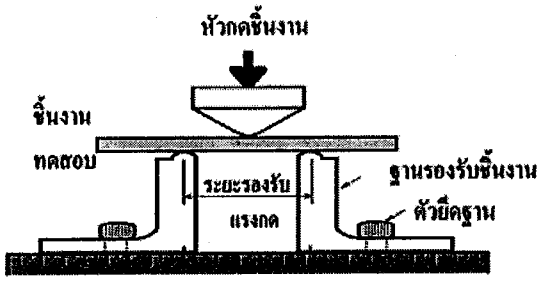
W = ค่าพลังงานกระแทก (kJ)

A = พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน (m^2)

2.5.6 การทดสอบความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural Testing)

การทดสอบความแข็งแรงโค้งงอ เป็นการวัดแรงที่ต้องการเพื่อให้ชิ้นงานเกิดการงอ ข้อมูลที่ได้มักจะนำไปพิจารณาเลือกวัสดุสำหรับใช้เป็นส่วนที่ต้องรับแรงกดโดยไม่เกิดการงอ เช่น ค่ามอดุลัสโค้งงอ (Flexural Modulus) ใช้ในการบ่งบอกถึงความแข็งตึงของวัสดุ เมื่อเกิดการดัด โดยทั่วไปการทดสอบนี้เหมาะสำหรับพลาสติกที่มีลักษณะแข็งเปราะ แต่ไม่เหมาะกับการทดสอบพลาสติกที่มีลักษณะอ่อน หรือสามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างภายใต้แรงดัดได้มาก เนื่องจากสมการที่ใช้ในการคำนวณของสภาพการดัดนี้ จะถูกต้องในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างในระดับต่ำ วัสดุแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น และความเครียดแบบเชิงเส้น และอยู่ภายใต้แรงดัดเท่านั้น ดังนั้นโดยทั่วไปมักไม่ใช้ทดสอบที่เกินระดับความเครียด 5 เปอร์เซ็นต์ การทดสอบการทนต่อแรงดัดแบบ 3 จุด (Three Point Bending) การทดสอบนี้เป็นการให้แรงกระทำที่จุดกึ่งกลางเท่ากัน แสดงดังรูปที่

2.20 เหมาะสำหรับการทดสอบพลาสติกที่เปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ต่ำ หัวกดที่ให้แรงกระทำ และชุดรองรับมีลักษณะเป็นใบมีดมน (Round Knife Edges) หรือเพลาโลหะแข็ง



รูปที่ 2.20 การทดสอบความแข็งแรงโค้งงอ แบบ 3 จุด (Three Point Bending)

ที่มา : นิลุบล (2551)

การคำนวณความแข็งแรงโค้งงอ หาได้จากสมการดังต่อไปนี้

สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.5 จะได้ค่าความแข็งแรงโค้งงอ และสมการที่ 2.6 จะได้ค่ามอดุลัสโค้งงอ

หาค่าความแข็งแรงโค้งงอ $$\sigma_f = \frac{1.5FL}{bh^2} \quad (2.5)$$

หาค่ามอดุลัสโค้งงอ $$E_f = \frac{L^3}{4bh^3} \times \frac{\Delta F}{\Delta d} \quad (2.6)$$

เมื่อ σ_f = ความเค้นเนื่องจากการกดชิ้นงานตัวอย่าง (MPa)

E_f = มอดุลัสโค้งงอ (MPa)

L = ระยะรองรับแรงกด (mm)

F = แรงกดสูงสุดที่ทำให้ชิ้นงานตัวอย่างโค้งงอ (N)

h = ความหนาของตัวอย่าง (mm)

b = ความกว้างของตัวอย่าง (mm)

ΔF = ความแตกต่างของความเค้นระหว่างสองตำแหน่งบนเส้นตรง (N)

Δd = ความแตกต่างของความเครียดระหว่างสองตำแหน่งบนเส้นตรง (mm)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กิติวุฒิและภาณุมาศ (2552) ได้ทำงานวิจัยเรื่องการปรับปรุงสมบัติของคอมโพสิตจากพอลิ-พรอพิลีน และเส้นใยผักตบชวาโดยใช้อะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนเป็นสารช่วยผสม ปริมาณเส้นใยผักตบชวา ที่ใช้ในการเตรียมพอลิเมอร์คอมโพสิต ที่ปริมาณ 10 20, 30 และ 40% โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน โดยทำการอบเส้นใยผักตบชวาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และใช้อุณหภูมิในการผสม และฉีดขึ้นรูประหว่างพอลิพรอพิลีน กับผักตบชวา ที่ช่วง Feed-zone 170 องศาเซลเซียส ที่ช่วง Compression-zone 180 องศาเซลเซียส ที่ช่วง Metering-zone 190 องศาเซลเซียส และ ที่ช่วง Die-zone และNozzle-zone 180 องศาเซลเซียส โดยศึกษาสมบัติต่างๆ เช่น หมู่ฟังก์ชัน สมบัติเชิงกล และสมบัติการดูดซับน้ำ พบว่าสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตมีค่าลดลง เมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มมากขึ้น จากนั้นได้ทำการศึกษาปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้สารช่วยผสม (Acrylic acid - grafted - Polypropylene, PP - g - AA) ที่ปริมาณ 1, 3 และ 5% โดยน้ำหนักของเส้นใยผักตบชวา พบว่าสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เส้นใยที่ไม่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิว จากการศึกษาสรุปว่าสารช่วยผสม PP-g-AA ที่ปริมาณ 1% ให้ค่าสมบัติเชิงกลดีที่สุด หมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนและเส้นใยผักตบชวาที่ปริมาณ 20% ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้สารช่วยผสม PP-g-AA ที่ปริมาณ 1, 3 และ 5% โดยน้ำหนักของเส้นใยผักตบชวา พบว่าอินฟราเรดสเปกทรัมเกิดการเชื่อมโยงระหว่างหมู่อะคริลิกของสารช่วยผสม PP-g-AA และเซลลูโลสของเส้นใยผักตบชวา สมบัติการดูดซับน้ำพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใย สมบัติการดูดซับน้ำมีค่าเพิ่มมากขึ้น

ศิริรัตน์ (2550) ได้ทำงานวิจัยเรื่องพอลิเมอร์คอมโพสิตด้วยเส้นใยจากมะพร้าว ได้เตรียมเส้นใยจากก้านมะพร้าวสด นำเส้นใยที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 105 ^{0}C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย ทำการปรับปรุงเส้นใยที่ได้ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 5% 10% 15% และ 20% จากนั้นนำเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุง และไม่ผ่านการปรับปรุงผิว มาผสมกับพอลิเอทธิลีน โดยใช้เครื่อง Brabender internal mixer ที่อัตราส่วนเส้นใยต่อพอลิเอทธิลีน ชนิดความหนาแน่นต่ำเท่ากับ 1:99 และ 5:95 ขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection molding) นำชิ้นงานที่ได้มาศึกษาสมบัติเชิงกล พบว่าเมื่อนำเส้นใยก้านมะพร้าวมาทำการปรับปรุงผิว ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 5-20% พบว่าที่ความเข้มข้น 20% มีผลต่อ Cellular Structure ของเส้นใยมากที่สุด ทำให้กลุ่ม Bundle ของเส้นใยมีขนาด Lumen ที่ลดลง และไม่เป็นทรงกลม เส้นใยสูญเสียสารประกอบที่เป็นลิกนิน เพกติน และเฮมิเซลลูโลส ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการให้ความแข็งแรงกับเส้นใย สำหรับภาคตัดขวางของเส้นใย พบว่าตลอดแนวความยาวของเส้นในจะประกอบไปด้วยท่อเล็ก ๆ จำนวนมากเป็นกลุ่ม Bundle ซึ่งการปรับปรุงผิวด้วย NaOH ในเส้นใยก้านมะพร้าวมีผลทำให้ภาคตัดขวางของเส้นใยเปลี่ยนแปลงไป องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยก้านมะพร้าว ตรวจพบมี ลิกนิน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส เป็นองค์ประกอบ ผลการศึกษาอิทธิพลของการเสริมแรงด้วยเส้นใยก้านมะพร้าวที่ไม่ผ่าน และผ่านการปรับปรุงผิวด้วย NaOH ต่อสมบัติ

เชิงกลของพอลิเอทธิลีนคอมโพสิตพบว่า ค่า Tensile strength และ % Elongation at break ของพอลิเอทธิลีนคอมโพสิตจะมีค่าต่ำกว่าพอลิเอทธิลีน โดยการเสริมแรงด้วยเส้นใยก้านมะพร้าวที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วย NaOH จะให้ค่าที่สูงกว่าการเสริมแรงด้วยเส้นใยก้านมะพร้าวที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว สำหรับค่า Tensile modulus และ Flexural Modulus การเสริมแรงด้วยเส้นใยจะให้ค่ากกว่าพอลิเอทธิลีนโดยที่ปริมาณเส้นใย 5% จะให้ค่า การทดสอบทั้ง 2 เพิ่มมากขึ้น ซึ่งผลของความเข้มข้นของ NaOH ที่ใช้ พบว่าค่าในการทดสอบสมบัติเชิงกลใกล้เคียงกัน

ชนิดา (2547) ได้ทำงานวิจัยเรื่องความสามารถในการขึ้นรูป และสมบัติของวัสดุคอมโพสิตพอลิพรอพิลีน/ขี้เลื่อย โดยใช้อัตราส่วนเส้นใยธรรมชาติ 10-30% โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน โดยศึกษาความสามารถในการขึ้นรูป และสมบัติของวัสดุคอมโพสิตพอลิพรอพิลีน/ขี้เลื่อย อิทธิพลของชนิด และปริมาณของเส้นใยธรรมชาติ สารปรับปรุงความทนทานต่อแรงกระแทก และสารคู่ควบชนิดมาเลอิกแอนไฮไดร์กราฟพอลิพรอพิลีน ที่มีต่อสมบัติวัสดุคอมโพสิตชนิดพอลิพรอพิลีน และเส้นใยธรรมชาติ ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า การเพิ่มปริมาณเส้นใยที่ 20% สามารถฉีดขึ้นรูปได้ดี และมีสมบัติการรับแรงกระแทกที่ดีที่สุด และการเพิ่มปริมาณเส้นใยที่ 30% มีความแข็งแกร่งและความสามารถในการต้านทานแรงกระแทกได้ดีที่สุด และเส้นใยที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิวทำให้การยึดเกาะกันระหว่างเฟสของพอลิพรอพิลีน และเส้นใยธรรมชาติไม่ดี การเพิ่มปริมาณสารปรับปรุงความทนทานต่อแรงกระแทก สามารถปรับปรุงความเหนียวของวัสดุ ด้วยสารปรับปรุงความทนทานต่อแรงกระแทกปริมาณ 11.1 เปอร์เซ็นต์ ต่อคอมโพสิตได้ดี การเติมสารคู่ควบชนิดมาเลอิกแอนไฮไดร์กราฟพอลิพรอพิลีน ที่ปริมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักขี้เลื่อย ลงในวัสดุคอมโพสิตที่ปรับปรุงสมบัติ เป็นปริมาณที่เหมาะสมในการปรับปรุงสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิต และสารคู่ควบชนิดมาเลอิกแอนไฮไดร์กราฟพอลิพรอพิลีน

บทที่ 3
วิธีดำเนินโครงงาน

การดำเนินงานโครงงานกำหนดไว้ 8 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 ค้นคว้า ข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ข้อมูลพื้นฐาน และมาตรฐานการทดสอบที่เกี่ยวข้องจากแหล่งต่างๆ อาทิ เช่น วารสารเชิงวิชาการ หนังสือ รวมทั้งการสืบค้นข้อมูลจากอินเตอร์เน็ต

ขั้นตอนที่ 2 วางแผนการดำเนินโครงงาน

ขั้นตอนที่ 3 กำหนดขั้นตอนการดำเนินโครงงาน และวิธีการทดลอง

ขั้นตอนที่ 4 จัดเตรียมวัตถุดิบและอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินโครงงาน

ขั้นตอนที่ 5 ดำเนินโครงงานโดยการเตรียมผงขี้เลื่อยไม้สัก เตรียมเม็ดพลาสติก

ขั้นตอนที่ 6 ขึ้นรูปชิ้นงาน

ขั้นตอนที่ 7 ทดสอบสมบัติเชิงกล

ขั้นตอนที่ 8 นำผลที่ได้จากโครงงานมาวิเคราะห์ สรุปผล และเขียนปริญญานิพนธ์

3.1 สารเคมี และวัสดุที่ใช้ในโครงงาน

3.1.1 พอลิพรอพิลีน (Polypropylene) เกรด (EL-Pro, P700J) จากบริษัท SCG Plastics โดยมีสมบัติต่าง ๆ แสดงไว้ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สมบัติของพอลิพรอพิลีน (EL-Pro, P700J)

สมบัติ	มาตรฐานการทดสอบ	ปริมาณ	หน่วย
อัตราการไหล	ASTM D 1238 @ 230 °C, 2.16 kg	12	g/10 min
ความหนาแน่น	ASTM D 1505	0.910	g/cm^3
ความแข็งแรงดึง ณ จุดขาด	ASTM D 638 @ Crosshead speed 50 mm/min	200	kg/cm^2
ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด	ASTM D 638 @ Crosshead speed 50 mm/min	650	%
มอดุลัสโค้งงอ	ASTM D 790	14500	kg/cm^2

ที่มา : บริษัท SCG Plastics

3.1.2 ผงขี้เลื่อยไม้สักจากโรงงานแปรรูปไม้ (จังหวัดพิษณุโลก) ขนาด 40-80 Mesh

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในโครงงาน

3.2.1 เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single Screw Extruder Machine)

3.2.2 เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection Molding Machine)

3.2.3 เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine)

3.2.4 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงกระแทกแบบไอซอด (Izod Impact Testing Machine)

3.2.5 ตู้อบ (Oven)

3.2.6 เครื่องบด (Grinder)

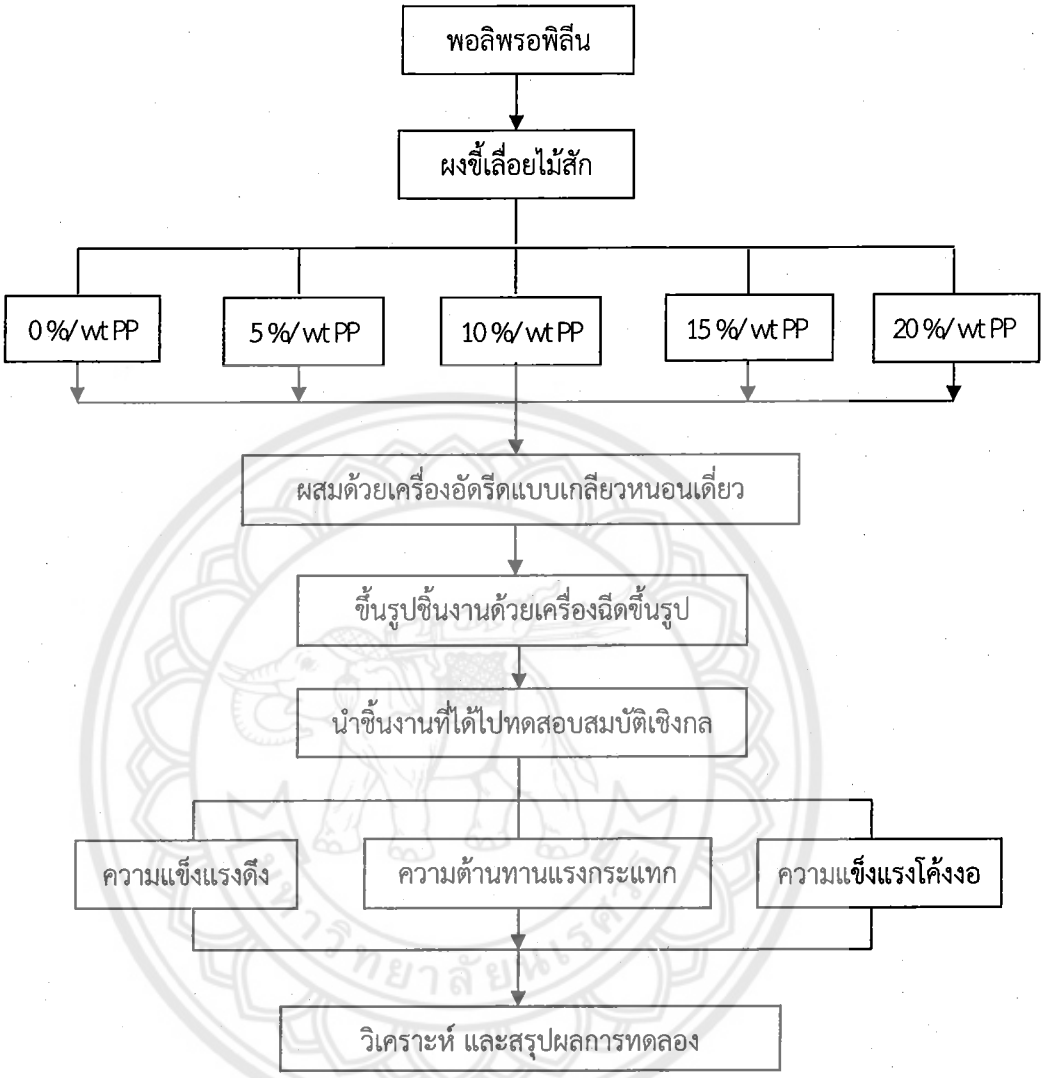
3.2.7 ตะแกรงมาตรฐานขนาด 40-80 Mesh

3.2.8 เครื่องชั่ง

3.2.9 เวอร์เนียร์คาร์ลิปเปอร์

มหาวิทยาลัยนเรศวร

โดยแผนการดำเนินงานแสดงได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนการดำเนินงานในโครงงาน

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมผงขี้เลื่อยไม้สัก

3.3.1.1 นำขี้เลื่อยไม้สักมาคัดแยกสิ่งเจือปนออกด้วยการร่อนด้วยผ้าตาข่ายจากนั้นนำไปตากแดดให้แห้ง

3.3.1.2 นำขี้เลื่อยไม้สักไปบดด้วยเครื่องบด แล้วนำไปผ่านเครื่องแยกขนาดโดยใช้ตะแกรงขนาด 40-80 Mesh

3.3.1.3 นำผงขี้เลื่อยไม้สัก ที่ผ่านการแยกขนาดไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบที่ 24 ชั่วโมง

3.3.2 การเตรียมวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิพรอพิลีนกับผงขี้เลื่อยไม้สัก

3.3.2.1 ผสมพอลิพรอพิลีนกับผงขี้เลื่อยไม้สัก ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 พอลิพรอพิลีนกับผงขี้เลื่อยไม้สัก

ปริมาณพอลิพรอพิลีน (%)	ปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สัก (% / wt PP)
100	0
100	5
100	10
100	15
100	20

3.3.2.2 ทำการผสม โดยใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single Screw Extruder Machine) ใช้สภาวะในการผสมดังตารางที่ 1.1 ทำการขึ้นรูปชิ้นงาน โดยใช้เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection Molding Machine) ใช้ความเร็วรอบในการฉีดขึ้นรูปที่ 30 รอบต่อนาที โดยใช้สภาวะในการขึ้นรูปดังตารางที่ 1.2

3.3.2.3 นำชิ้นงานที่ได้ไปทดสอบสมบัติเชิงกล ต่าง ๆ ดังนี้

ก. ความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D638

ข. ความต้านทานแรงกระแทก (Impact Strength) ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D256

ค. ความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural Strength) และมอดุลัสการโค้งงอ (Flexural modulus) ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D790

3.4 วิธีการทดสอบสมบัติเชิงกล

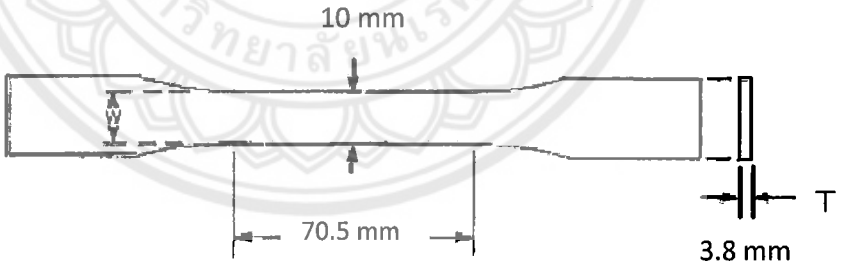
3.4.1 การทดสอบแรงดึง

การทดสอบแรงดึงด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง (Universal Testing Machine) ดังรูปที่ 3.2 ตามมาตรฐาน ASTM D638 โดยใช้ชิ้นงานรูปทรงดัมเบลล์ ดังรูปที่ 3.3 ทำการวัดขนาดชิ้นงานตัวอย่างด้วยเวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์ เพื่อนำไปใช้คำนวณเมื่อทดสอบแรงดึง โดยเตรียมชิ้นงานตัวอย่าง 8 ชิ้นในแต่ละสูตร ใช้ขนาดของชิ้นงานทดสอบดังนี้

- ความกว้างของเกจ = 10.00 มิลลิเมตร (mm)
- ความยาวของเกจ = 70.5 มิลลิเมตร (mm)
- ความหนาของชิ้นงาน = 3.8 มิลลิเมตร (mm)

ซึ่งจะได้ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) ค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (Percent elongation at break (%Strain) และค่ามอดุลัส (Modulus of Elasticity ; E) โดยคำนวณจากสมการที่ 2.1, 2.2 และ 2.3

รูปที่ 3.2 เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine) ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3.3 ชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM D638
ที่มา : มาตรฐาน ASTM D638

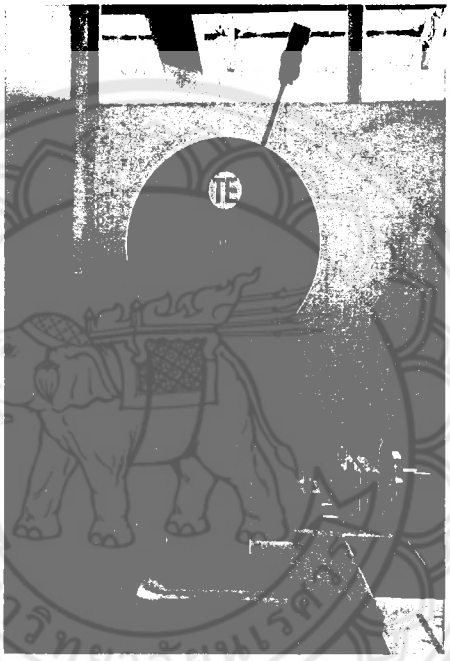
3.4.2 การทดสอบหาค่าความต้านทานแรงกระแทก

การทดสอบหาค่าความต้านทานแรงกระแทกด้วยเครื่องทดสอบแรงกระแทก (Impact Testing Machine) ด้วยวิธีแบบทดสอบแบบไอซอด (Izod Impact) มาตรฐาน ASTM D256 ดังรูปที่ 3.4 โดยนำชิ้นงานไปบากด้วยเครื่องบากชิ้นงาน (Cutting Machine) ให้มีความลึกของรอยบาก 2.5 มิลลิเมตร ใช้ชิ้นงานตัวอย่าง 8 ชิ้น ในแต่ละสูตร และทำการวัดความหนาของชิ้นงาน แต่ละชิ้น

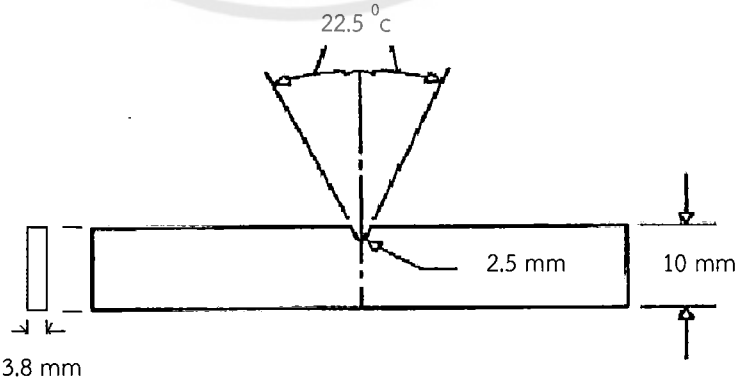
ด้วยเวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์ และทำการทดสอบค่าแรงกระแทก เพื่อนำมาคำนวณเป็นหน่วยจูลต่อตารางมิลลิเมตร ซึ่งค่าที่ได้จะออกมาเป็นค่าของพลังงานที่วัสดุดูดกลืนไว้ต่อพื้นที่หน้าตัดของตัวอย่าง และใช้ขนาดของชิ้นงานทดสอบดังนี้

- ความกว้างของชิ้นงาน = 10 มิลลิเมตร (mm)
- ความหนาของชิ้นงาน = 3.8 มิลลิเมตร (mm)

โดยเตรียมชิ้นงานดังรูปที่ 3.5 สำหรับการคำนวณค่าความต้านทานแรงกระแทก สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.4)



รูปที่ 3.4 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงกระแทก (Izod –Type Machine) ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3.5 ชิ้นงานทดสอบความต้านทานแรงกระแทกตามมาตรฐาน ASTM D256

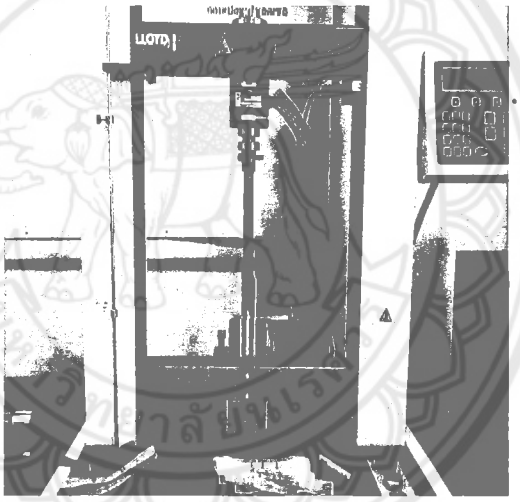
ที่มา : มาตรฐาน ASTM D256

3.4.3 การทดสอบความแข็งแรงโค้งงอ และมอดุลัสโค้งงอ

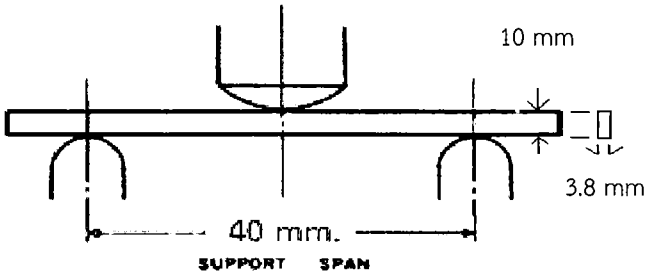
การทดสอบความแข็งแรงโค้งงอ และมอดุลัสโค้งงอเป็นการวัดแรงเพื่อต้องการให้ชิ้นงานเกิดความงอ โดยการทดสอบการทนแรงดัดแบบ 3 จุด (Three Point Bending) เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine) ตามมาตรฐาน ASTM D790 ดังรูปที่ 3.6 โดยการทดสอบนี้จะให้แรงกระทำที่จุดกึ่งกลางเท่ากัน โดยการทดสอบใช้ชิ้นงานตัวอย่าง 8 ชิ้น ในแต่ละสูตร ใช้ขนาดของชิ้นงานทดสอบเป็นดังนี้

ความกว้างของชิ้นงาน	=	10	มิลลิเมตร (mm)
ความหนาของชิ้นงาน	=	3.8	มิลลิเมตร (mm)
ระยะห่างของขารองรับชิ้นงาน (L)	=	40	มิลลิเมตร (mm)

ขนาดของชิ้นงานทดสอบแสดงในรูปที่ 3.7 โดยคำนวณหาค่าความแข็งแรงโค้งงอจากสมการที่ 2.5 และมอดุลัสโค้งงอจากสมการ ที่ 2.6



รูปที่ 3.6 เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine) ในการทดสอบความแข็งแรงโค้งงอ และมอดุลัสโค้งงอ



รูปที่ 3.7 การทดสอบความแข็งแรงโค้งงอ และมอดุลัสโค้งงอตามมาตรฐาน ASTM D790

ที่มา : มาตรฐาน ASTM D790

3.5 ทำการวิเคราะห์ข้อมูล และปัจจัยที่มีอิทธิพล

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ และเปรียบเทียบผลของการทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิพรอพิลีน และผงขี้เลื่อยไม้สัก ที่อัตราส่วนต่าง ๆ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน

3.6 สรุปผลการดำเนินงาน

สรุปผลจากการทดลองของการทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิพรอพิลีน และผงขี้เลื่อยไม้สัก จัดทำรูปเล่ม เพื่อรายงานผลการทดลอง

บทที่ 4
ผลการทดลองและการวิเคราะห์

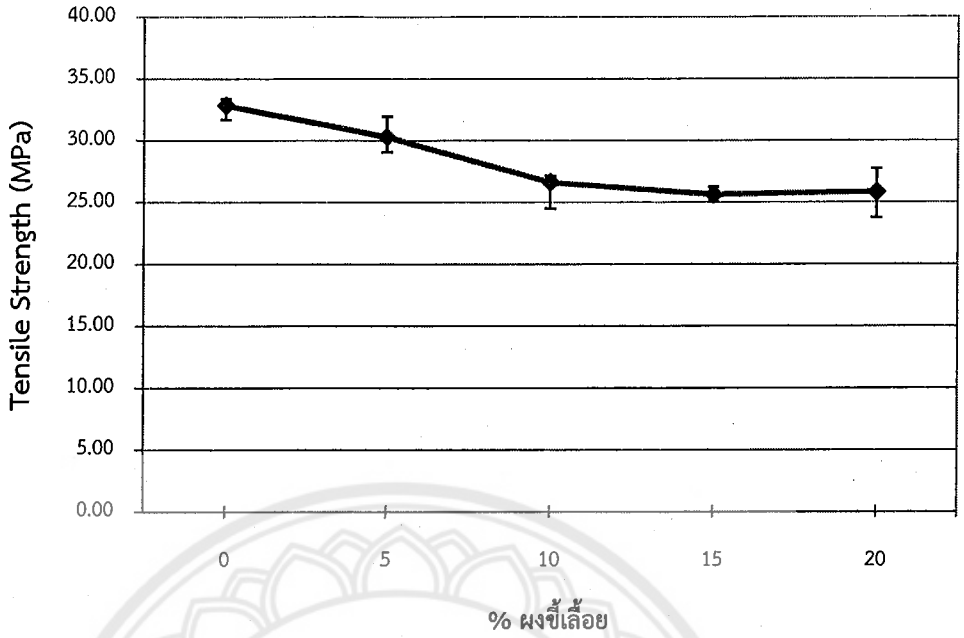
โครงงานนี้เป็นการศึกษาสมบัติเชิงกล ได้แก่ ค่าความแข็งแรงดึง ค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด ค่ามอดุลัส ค่าความต้านทานแรงกระแทก ค่าความแข็งแรงโค้งงอ และค่ามอดุลัสโค้งงอ ของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิพรอพิลีน และผงขี้เลื่อยไม้สักที่ปริมาณผสม 0, 5, 10, 15 และ 20 % โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ได้ผลดังต่อไปนี้

4.1 ทดสอบสมบัติแรงดึง (Tensile Testing)

การทดสอบนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อตรวจสอบความแข็งแรงของวัสดุเมื่อได้รับแรงดึง โดยทำการดึงชิ้นงานจนกระทั่งวัสดุเกิดการแตกหักด้วยอัตราความเร็วของหัวจับ (Cross Head Speed) เท่ากับ 20 mm/s ผลจากการวัดความเค้นแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Stress) หรือความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength) และความเครียดนี้เป็นสิ่งที่นำมาใช้พิจารณาถึงสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิพรอพิลีน และผงขี้เลื่อยไม้สักที่ผลิตขึ้นมา

4.1.1 ความแข็งแรงดึง (Tensile Strength)

ผลจากการทดสอบความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) ของวัสดุเชิงประกอบที่ถูกทดสอบทั้งหมดจำนวน 8 ชิ้น ของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิพรอพิลีน และผงขี้เลื่อยไม้สักที่ปริมาณ 0, 5, 10, 15 และ 20% โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน พบว่ามีแนวโน้มที่ลดลง เมื่อมีปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สักเพิ่มขึ้น ในช่วงปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สัก 0, 5, 10, และ 15% แต่ในช่วงของการผสมผงขี้เลื่อยไม้สัก 15% ถึง 20% ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดึงสูงสุด กลับมีแนวโน้มที่ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นที่ละน้อย ดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านความแข็งแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบ และปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สัก

เมื่อพิจารณาถึงความแข็งแรงดึงสูงสุด ที่ปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สักที่ปริมาณ 0% กับปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สักที่ปริมาณ ตั้งแต่ 5, 10, 15 และ 20% โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน อธิบายได้จากปริมาณที่ 0% เป็นพอลิเมอร์ ส่วนการผสมผงขี้เลื่อยไม้สักปริมาณตั้งแต่ 5% ถึง 20% เป็นวัสดุเชิงประกอบ พบว่า พอลิเมอร์มีค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด มากกว่า วัสดุเชิงประกอบ

พิจารณาถึงความแข็งแรงดึงสูงสุด ที่ปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สักที่ปริมาณ 5% ถึง 15% โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ซึ่งมีค่าลดลงนั้นอาจเนื่องจากสาเหตุดังต่อไปนี้

การกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอ เกิดการเกาะกลุ่มรวมตัวกันเฉพาะจุดของผงขี้เลื่อยไม้สัก เนื่องจากเส้นใยธรรมชาติมีแนวโน้มที่เกาะตัวรวมกันเป็นกลุ่ม จากการเกิดพันธะไฮโดรเจนกันระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของเซลลูโลสในผงขี้เลื่อยไม้สัก ส่งผลให้เกิดการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอในพอลิพรอพิลีน

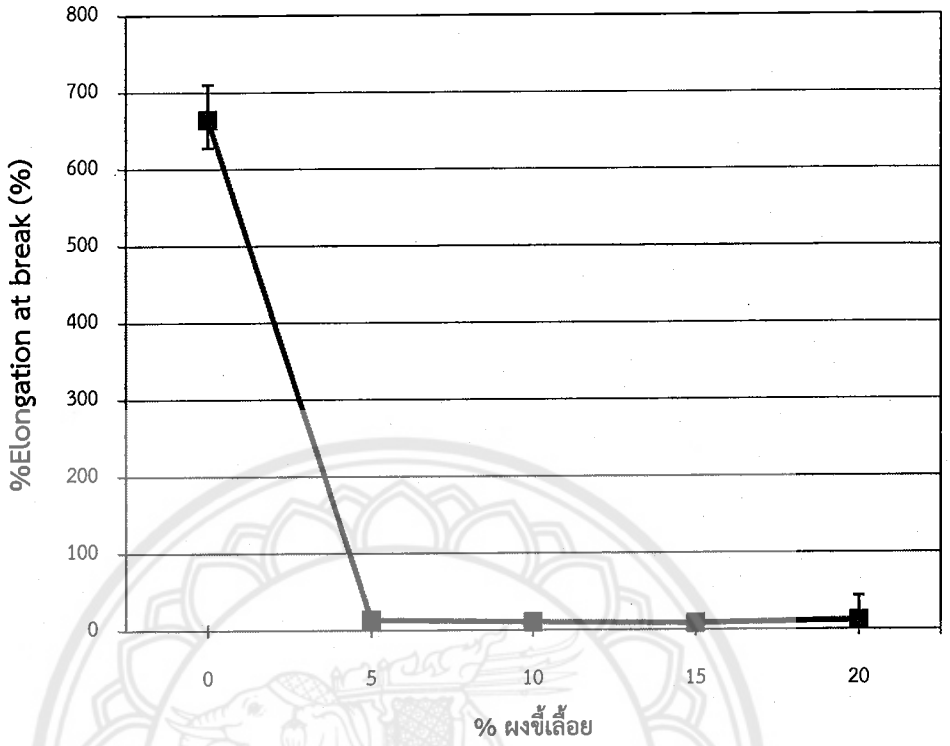
เส้นใยธรรมชาติมีโครงสร้างทางเคมีมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) เป็นแบบมีขั้ว และมีความชอบน้ำ (Hydrophilic) ดูจากโครงสร้างทางเคมีที่มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบ เส้นใยธรรมชาติสามารถดูดความชื้นได้ดี ซึ่งความชื้นอาจขัดขวางการยึดเกาะของเส้นใยธรรมชาติกับพอลิพรอพิลีนโดยการลดการยึดเกาะทางกายภาพ ส่งผลให้เมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มมากขึ้นทำให้สมบัติเชิงกลมีแนวโน้มต่ำลง

การเติมผงขี้เลื่อยไม้สักเป็นการเพิ่มจุดบกพร่อง หรือเกิดการแยกจากกัน (Debonding) บริเวณรอยต่อระหว่างพื้นผิวของผงขี้เลื่อยไม้สักกับพอลิพรอพิลีน สังเกตได้จากผงขี้เลื่อยไม้สัก กับพอลิพรอพิลีนมีโครงสร้างทางเคมี และหมู่ฟังก์ชันที่ต่างกัน โดยโครงสร้างของผงขี้เลื่อยไม้สัก เป็นเซลลูโลส ซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) เป็นแบบมีขั้ว ส่วนพอลิพรอพิลีนมีโครงสร้างทางเคมีเป็นไฮโดรคาร์บอน ซึ่งเป็นแบบไม่มีขั้ว จึงทำให้การยึดเกาะระหว่างสองวัฏภาคไม่ดี ทำให้เกิดรอยต่อระหว่างวัฏภาคทั้งสอง แสดงถึงจุดบกพร่องภายในชิ้นงาน ส่งผลให้สมบัติเชิงกลมีแนวโน้มต่ำลง (กิติวุฒ และภาณุมาศ, 2552)

พิจารณาถึงความแข็งแรงดึงสูงสุด ที่ปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สักที่ปริมาณที่ 15% ถึง 20% โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีนค่าความแข็งแรงดึง มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยอาจมีสาเหตุมาจากปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สักที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เกิดการขัดขวางการเคลื่อนที่ของสายโซ่ของพอลิพรอพิลีนเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ต้องใช้แรงเพิ่มขึ้น จึงจะทำให้สายโซ่ของพอลิพรอพิลีนขาดออกจากกัน ด้วยสมบัติด้านความแข็งแรงดึง จึงสูงขึ้น

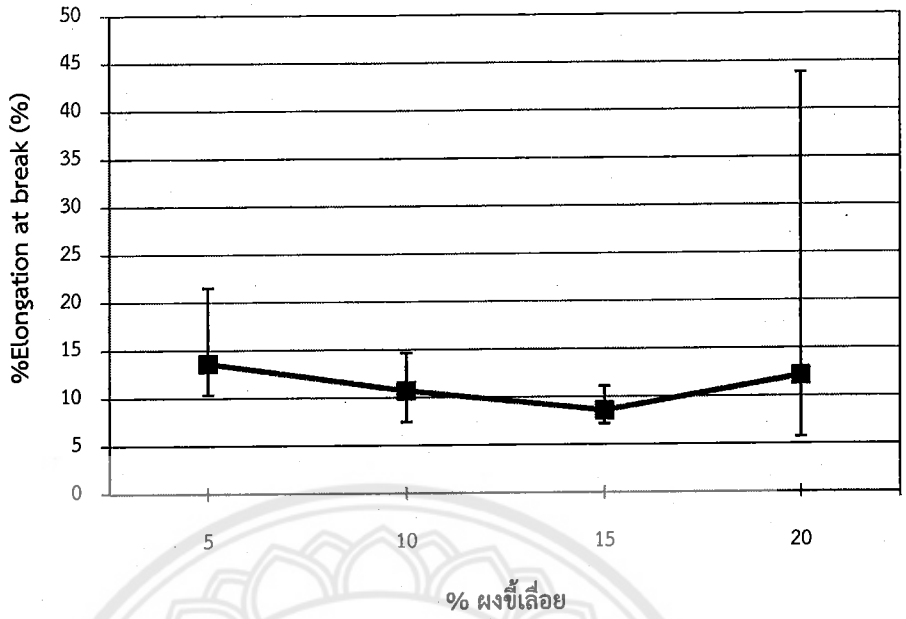
4.1.2 ร้อยละการยืดตัว (Percent elongation at break; %Strain)

ผลจากการทดสอบค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด (Percent elongation at break; %Strain) ของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิพรอพิลีน และผงขี้เลื่อยไม้สักในปริมาณที่ต่างกัน พบว่ามีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจนในช่วงปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สักที่ 0% กับช่วงการผสม 5% ถึง 20% โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน แต่หลังจากนั้นปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สักที่ปริมาณ 5% ถึง 15% โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด (Percent elongation at break; %Strain) มีแนวโน้มลดลงเพียงเล็กน้อย ค่าร้อยละการยืดตัวมีค่าไม่แตกต่างกันมาก และที่ปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สักที่ปริมาณ 15% ถึง 20% โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีนค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด (Percent elongation at break; %Strain) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ไม่แตกต่างกันมาก ดังแสดงกราฟรูปที่ 4.2 และ 4.3



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (Percent elongation at break; %Strain) ของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิพรอพิลีน และปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สัก

เมื่อพิจารณาถึงร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด (Percent elongation at break; %Strain) ที่ปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สักที่ปริมาณ 0% กับ ปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สักที่ปริมาณ ตั้งแต่ 5% ถึง 20% โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน อธิบายได้จาก ปริมาณที่ 0% เป็นพอลิเมอร์ ส่วนที่ปริมาณการผสมผงขี้เลื่อยไม้สักเข้าไปในเนื้อพื้นปริมาณตั้งแต่ 5% ถึง 20% เป็นวัสดุเชิงประกอบ พบว่าพอลิเมอร์มีค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด (Percent elongation at break; %Strain) มากกว่า วัสดุเชิงประกอบอย่างเห็นได้ชัดเจน



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (Percent elongation at break; %Strain) ของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิพรอพิลีน และปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สัก ที่ 5% ถึง 20 %

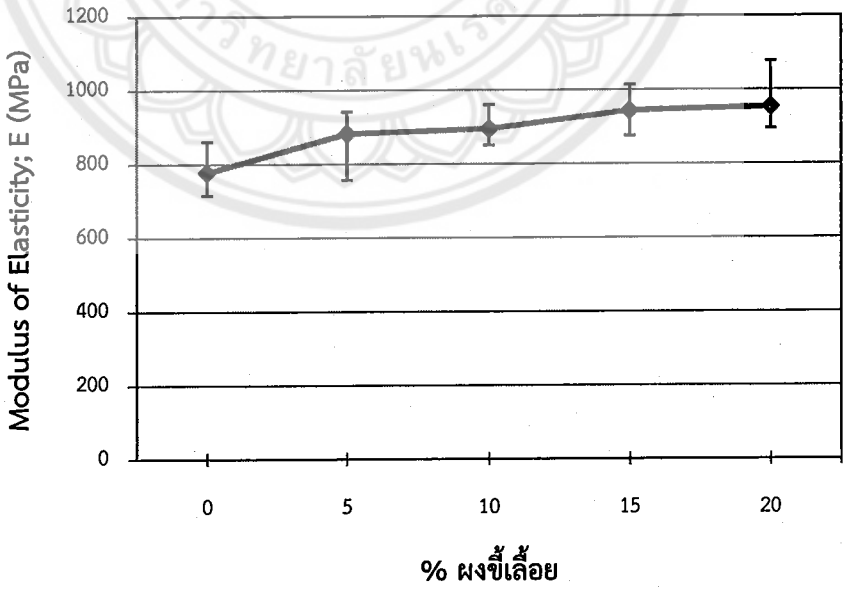
เมื่อพิจารณา ร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด (Percent elongation at break; %Strain) ที่ปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สัก ที่ปริมาณ 5% ถึง 15% โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ซึ่งมีค่าลดลงนั้น เนื่องจากการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอของผงขี้เลื่อยไม้สัก เนื่องจากเส้นใยธรรมชาติมีแนวโน้มที่เกาะตัวรวมกันเป็นกลุ่ม จากการเกิดพันธะไฮโดรเจนกันระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของเซลลูโลสในผงขี้เลื่อยไม้สัก ส่งผลให้เกิดการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอในพอลิพรอพิลีน เส้นใยธรรมชาติมีโครงสร้างทางเคมีมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) เป็นแบบมีขั้ว และมีความชอบน้ำ (Hydrophilic) ดูจากโครงสร้างทางเคมีที่มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบ เส้นใยธรรมชาติสามารถดูดความชื้นได้ดี ซึ่งความชื้นอาจเข้าไปขัดขวางการยึดเกาะของเส้นใยธรรมชาติ กับพอลิพรอพิลีน โดยการลดการยึดเกาะทางกายภาพ ส่งผลให้เมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มมากขึ้นทำให้สมบัติเชิงกลมีแนวโน้มต่ำลง

การเติมผงขี้เลื่อยไม้สักเป็นการเพิ่มจุดบกพร่อง หรือเกิดการแยกจากกัน (Debonding) บริเวณรอยต่อระหว่างพื้นผิวของผงขี้เลื่อยไม้สักกับพอลิพรอพิลีน สังเกตได้จากผงขี้เลื่อยไม้สักกับพอลิพรอพิลีนมีโครงสร้างทางเคมี และหมู่ฟังก์ชันที่ต่างกัน โดยโครงสร้างของผงขี้เลื่อยไม้สักเป็นเซลลูโลส ซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) เป็นแบบมีขั้ว ส่วนพอลิพรอพิลีนมีโครงสร้างทางเคมีเป็นไฮโดรคาร์บอน ซึ่งเป็นแบบไม่มีขั้ว จึงทำให้การยึดเกาะระหว่างสองวัฏภาคไม่ดี ทำให้เกิดรอยต่อระหว่างวัฏภาคทั้งสอง แสดงถึงจุดบกพร่องภายในชิ้นงาน ส่งผลให้สมบัติเชิงกลมีแนวโน้มต่ำลง (กิติวุฒ และภาณุมาศ, 2552)

พิจารณาถึงค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด (Percent elongation at break; %Strain) ที่ปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สักที่ปริมาณที่ 15% ถึง 20% โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด (Percent elongation at break; %Strain) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย เนื่องมาจากที่ปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สักเพิ่มขึ้นจาก 15% ถึง 20% โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ช่วงนี้การเติมส่วนเสริมแรงเข้าไปยังเนื้อพื้น ทำให้ผงขี้เลื่อยไม้สักมีการกระจายตัวภายในเนื้อพื้น ส่งผลให้เมื่อชิ้นงานได้รับแรงจากการทดสอบ ผงขี้เลื่อยไม้สัก ซึ่งเป็นส่วนเสริมแรง ทำหน้าที่รับแรงที่ถ่ายเทจากเนื้อพื้น จากการทดสอบกับชิ้นงาน จากเนื้อพื้นมายังส่วนเสริมแรง อีกทั้งผงขี้เลื่อยไม้สักสามารถเข้าไปขัดขวางการเคลื่อนที่ของพอลิพรอพิลีนมากขึ้น อธิบายจากการเติมส่วนเสริมแรงภายในเนื้อพื้น ทำให้เกิดความต้านทานต่อแรงที่เกิดจากการทดสอบชิ้นงาน ทำให้ชิ้นงานเกิดการเปลี่ยนรูปร่างได้น้อยลง เป็นผลให้ค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด (Percent elongation at break; %Strain) ในช่วงนี้ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย

4.1.3 มอดุลัส (Modulus of Elasticity; E)

ผลจากการทดสอบค่ามอดุลัส (Modulus of Elasticity; E) ของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิพรอพิลีน และปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สัก สามารถคำนวณหาได้จากผลการทดสอบแรงดึงโดยใช้ความสัมพันธ์ในสมการ (2.3) หน้า 27 แสดงดังตารางที่ 4.3 พบว่าเมื่อปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สักที่ปริมาณ 0% ถึง 20% โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ค่ามอดุลัส (Modulus of Elasticity; E) จะเพิ่มขึ้น ดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ค่ามอดุลัส (Modulus of Elasticity; E) ของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิพรอพิลีนและปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สัก

เมื่อพิจารณาถึงค่ามอดุลัส (Modulus of Elasticity; E) ที่ปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สักที่ปริมาณ 0% กับ ปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สักที่ปริมาณ ตั้งแต่ 5, 10, 15 และ 20% โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน อธิบายได้จากปริมาณที่ 0% เป็นพอลิเมอร์ ส่วนการผสมผงขี้เลื่อยไม้สักปริมาณตั้งแต่ 5% ถึง 20% เป็นวัสดุเชิงประกอบ พบว่า พอลิเมอร์มีค่ามอดุลัส (Modulus of Elasticity; E) น้อยกว่า วัสดุเชิงประกอบ แสดงถึงการเปลี่ยนรูปร่างของชิ้นงานได้ดีกว่าวัสดุเชิงประกอบ

เมื่อพิจารณาค่ามอดุลัส (Modulus of Elasticity; E) ของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิพรอพิลีน และผงขี้เลื่อยไม้สัก ที่ปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สักที่ปริมาณ 5% ถึง 20% โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากสาเหตุดังต่อไปนี้

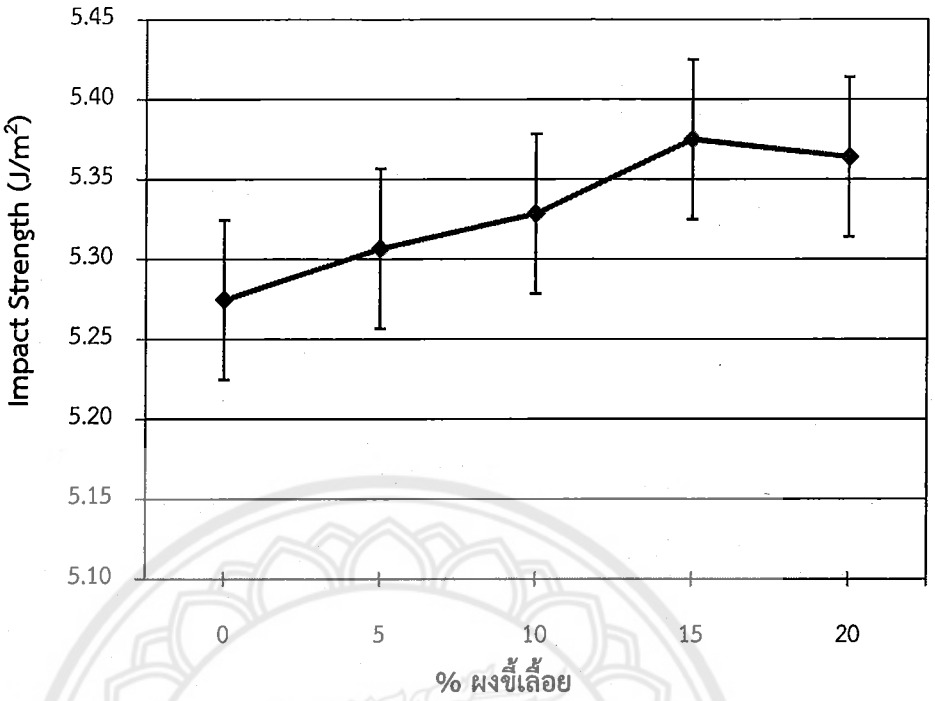
ปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สักเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่ามอดุลัส (Modulus of Elasticity; E) ของวัสดุเชิงประกอบเพิ่มขึ้น เนื่องจากผงขี้เลื่อยไม้สัก มีค่ามอดุลัส (Modulus of Elasticity; E) สูงกว่าพอลิพรอพิลีน เมื่อเติมปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สักเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ผงขี้เลื่อยไม้สักสามารถเข้าไปขัดขวางการเคลื่อนที่ของพอลิพรอพิลีนมากขึ้น ทำให้ความสามารถในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของพอลิพรอพิลีนลดลง ค่ามอดุลัส (Modulus of Elasticity; E) จึงเพิ่มขึ้น อีกทั้งผงขี้เลื่อยไม้สักที่เข้าไปแทรกตัวอยู่ในพอลิพรอพิลีนช่วยรับแรงดึงทำให้วัสดุเสียรูปได้ยากขึ้น (กิติวุฒ และภาณุมาศ, 2552)

4.2 ความต้านทานแรงกระแทก (Impact Strength)

ในการทดสอบความต้านทานแรงกระแทก (Impact Strength) ของพลาสติกสามารถทำได้หลายวิธี ในการศึกษาครั้งนี้ทำการทดสอบความต้านทานแรงกระแทก (Impact Strength) โดยใช้ค้อนแกว่ง (Pendulum impact testing) แบบไอซอด (Izod) โดยจะวางชิ้นงานทดสอบไว้ในแนวตั้ง และให้ลูกตุ้มกระแทกกับด้านที่มีรอยบาก ดังแสดงในรูปที่ 3.4 หน้า 28

4.2.1 ค่าความต้านทานแรงกระแทก (Impact Strength)

ผลการทดสอบความต้านทานแรงกระแทก (Impact Strength) ของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิพรอพิลีน และผงขี้เลื่อยไม้สักที่ปริมาณ 0, 5, 10, 15 และ 20 % โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ความต้านทานแรงกระแทก (Impact Strength) ของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิพรอพิลีน และปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สักในตารางที่ ก.4 แสดงถึงค่าเฉลี่ยของชิ้นงานทั้งหมด 8 ชิ้น ในการทดสอบความต้านทานแรงกระแทก (Impact Strength) ของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิพรอพิลีน และผงขี้เลื่อยไม้สักที่ปริมาณ 0, 5, 10, 15 และ 20% โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน พบว่าเมื่อปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สักที่ปริมาณ 0% ถึง 15% โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน มีค่าเพิ่มขึ้น พบว่าเมื่อปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สักที่ปริมาณ 15% ถึง 20% โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ค่าความต้านทานแรงกระแทก (Impact Strength) มีแนวโน้มลดลงที่ไม่แตกต่างกันมาก ดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านความต้านทานแรงกระแทก (Impact Strength) ของวัสดุเชิงประกอบ และปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สัก

เมื่อพิจารณาถึงค่าความต้านทานแรงกระแทก (Impact Strength) ที่ปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สักที่ปริมาณ 0% กับ ปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สักที่ปริมาณ ตั้งแต่ 5, 10, 15 และ 20% โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน อธิบายได้จากปริมาณที่ 0% เป็นพอลิเมอร์ ส่วนการผสมผงขี้เลื่อยไม้สักปริมาณตั้งแต่ 5% ถึง 20% เป็นวัสดุเชิงประกอบ พบว่า พอลิเมอร์มีค่าความต้านทานแรงกระแทก (Impact Strength) น้อยกว่า วัสดุเชิงประกอบ

พิจารณาค่าความต้านทานแรงกระแทก (Impact Strength) ของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิพรอพิลีน และผงขี้เลื่อยไม้สัก ที่ปริมาณ 5% ถึง 15% โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีนซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากสาเหตุดังต่อไปนี้ โดยทั่วไปแล้วตัวเสริมแรง (Reinforcements) ผงขี้เลื่อยไม้สัก คือ ส่วนประกอบที่ช่วยให้สมบัติความแข็งแรงของวัสดุเชิงประกอบดีขึ้น โดยทั่วไปแล้วจะมีความแข็งแรงมากกว่าเนื้อพื้น ดังนั้นในการเพิ่มปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สักในพอลิพรอพิลีนเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงกระแทก (Impact Strength) เพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาค่าความต้านทานแรงกระแทก (Impact Strength) ของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิพรอพิลีน และผงขี้เลื่อยไม้สักที่ปริมาณ 15% ถึง 20% โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีนซึ่งมีค่าลดลงเนื่องจากที่ปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สัก 15% ถึง 20% มีการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอของผงขี้เลื่อยไม้สัก และบางส่วนมีการจับตัวเป็นกลุ่มก้อน เพราะองค์ประกอบทางเคมีของผงขี้เลื่อยไม้สักมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) จะเป็นตัวดึงดูดน้ำ มีความสามารถดูดความชื้นได้ดี และผงขี้เลื่อยไม้สักกับ

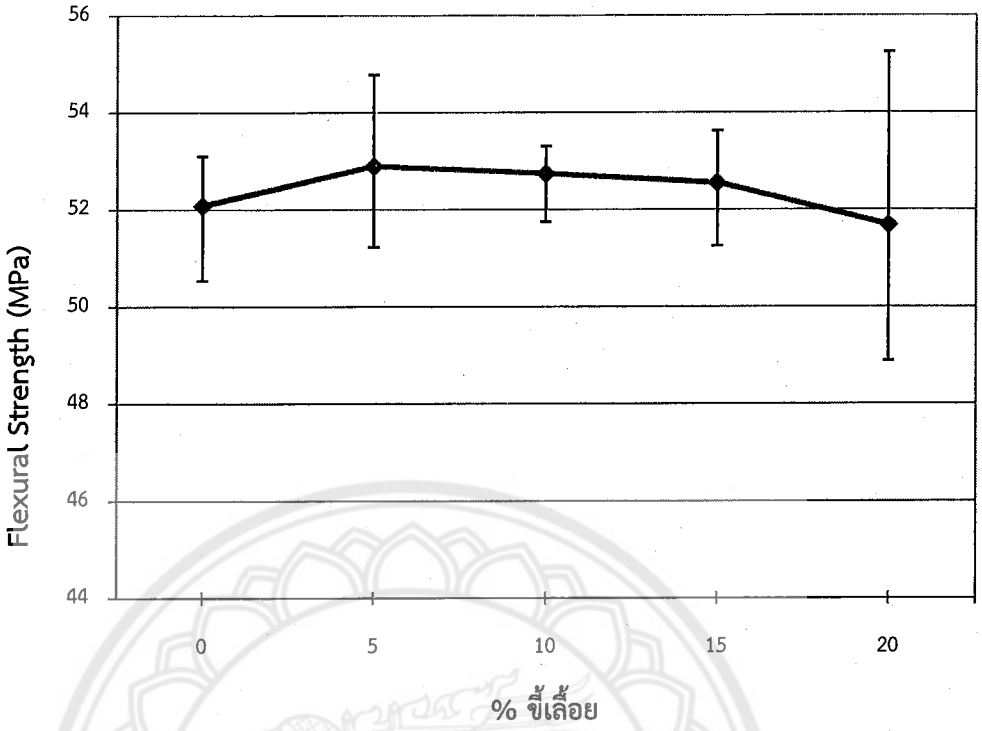
พอลิพรอพิลีนไม่สามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกัน เนื่องจากโครงสร้างของพอลิพรอพิลีนเป็นไฮโดรคาร์บอนแบบที่ไม่มีขั้ว ส่วนโครงสร้างของผงขี้เลื่อยไม้สักเป็นแบบมีขั้ว มีไฮดรอกซิลเป็นองค์ประกอบหลัก จึงทำให้พอลิพรอพิลีน และผงขี้เลื่อยไม้สักไม่เข้ากัน จึงเกิดช่องว่างระหว่างรอยต่อของวัฏภาค (Interphase) และเมื่อได้รับแรงเข้าไปส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงกระแทก (Impact Strength) มีแนวโน้มลดลง (กิติวุฒ และภาณุมาศ, 2552)

4.3 สมบัติความโค้งงอ (Flexural Testing)

การทดสอบความแข็งแรงโค้งงอ เป็นการวัดแรงที่ต้องการเพื่อให้ชิ้นงานเกิดการงอ ข้อมูลที่ได้มักจะนำไปพิจารณาเลือกวัสดุสำหรับใช้เป็นส่วนที่ต้องรับแรงกดโดยไม่เกิดการงอ เช่น ค่ามอดุลัสโค้งงอ (Flexural Modulus) ใช้ในการบ่งบอกถึงความแข็งตึงของวัสดุ เมื่อเกิดการดัด โดยทั่วไปการทดสอบนี้เหมาะสำหรับพลาสติกที่มีลักษณะแข็งเปราะ แต่ไม่เหมาะกับการทดสอบพลาสติกที่มีลักษณะอ่อน หรือสามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างภายใต้แรงดัดได้มาก วัสดุแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น และความเครียดแบบเชิงเส้น และอยู่ภายใต้แรงดัดเท่านั้น ดังนั้น โดยทั่วไปมักไม่ใช้ทดสอบที่เกินระดับความเครียด 5 เปอร์เซ็นต์ การทดสอบการทนต่อแรงดัดแบบ 3 จุด (Three Point Bending)

4.3.1 ความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural Strength, MPa)

ผลจากการทดสอบค่าความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural Strength) แสดงข้อมูลสมบัติด้านความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural Strength) และค่าเฉลี่ยของชิ้นงานทั้งหมด 10 ชิ้น ในการทดสอบความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural Strength) ของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิพรอพิลีนและผงขี้เลื่อยไม้สักที่ปริมาณ 0, 5, 10, 15 และ 20% โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน พบว่าเมื่อปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สักที่ปริมาณ 0% ถึง 5% โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural Strength) มีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย และเมื่อปริมาณขี้เลื่อย ไม้สักที่ปริมาณ 5% ถึง 20% โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ค่าความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural Strength) มีแนวโน้มลดลงที่ไม่แตกต่างกันมากดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.6



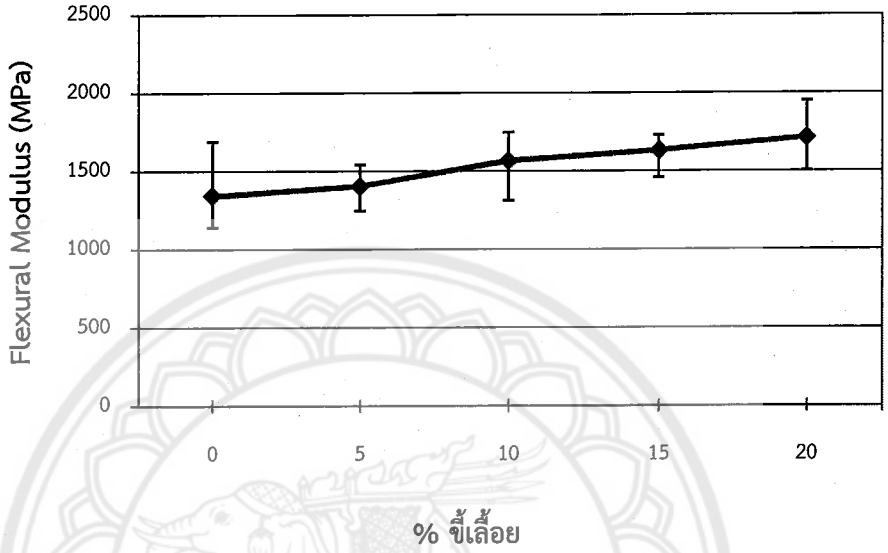
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural Strength) ของวัสดุเชิงประกอบ และปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สัก

เมื่อพิจารณาถึงความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural Strength) ที่ปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สักที่ปริมาณ 0% กับ ปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สักที่ปริมาณ ตั้งแต่ 5, 10, 15 และ 20% โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน อธิบายได้จากปริมาณที่ 0% เป็นพอลิเมอร์ ส่วนการผสมผงขี้เลื่อยไม้สักปริมาณตั้งแต่ 5% ถึง 20% เป็นวัสดุเชิงประกอบ พบว่า พอลิเมอร์มีค่าความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural Strength) น้อยกว่า วัสดุเชิงประกอบ

พิจารณาถึงความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural Strength) ที่ปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สักที่ปริมาณ 5% ถึง 20% โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ซึ่งมีค่าลดลงนั้น เนื่องจากกระจายตัวของผงขี้เลื่อยไม้สักไม่ดี บางส่วนมีการจับตัวเป็นกลุ่มก้อน เนื่องจากผงขี้เลื่อยไม้สักเป็นเส้นใยธรรมชาติที่มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบ โดยเซลลูโลสมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) เป็นส่วนประกอบ และเป็นตัวที่ชอบน้ำ ผงขี้เลื่อยไม้สักจึงดูดซับน้ำเข้ามาไว้ ซึ่งทำให้ผงขี้เลื่อยไม้สักเกาะกลุ่มกันเป็นก้อน และโครงสร้างของพอลิพรอพิลีนเป็นไฮโดรคาร์บอนประกอบด้วยส่วนที่ไม่มีขั้ว จึงไม่มีปฏิกิริยาระหว่างกัน ส่งผลให้เมื่อรับแรงกด ไม่สามารถกระจายแรงได้อย่างต่อเนื่อง ความต่อเนื่องของพอลิพรอพิลีน ซึ่งทำหน้าที่เป็นเนื้อพื้นลดลง ความยืดหยุ่นลดลง จึงทำให้ค่าความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural Strength) ลดลงตามปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สักที่เพิ่มขึ้น (กิติวุฒ และภาณุมาศ, 2552)

4.3.2 มอดุลัสโค้งงอ (Flexural Modulus, MPa)

ผลจากการทดสอบค่ามอดุลัสโค้งงอ (Flexural Modulus) ของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิพรอพิลีน และปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สัก พบว่าเมื่อปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สักที่ปริมาณ 0% ถึง 20% โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีนมีค่าเพิ่มขึ้น แสดงในกราฟรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านมอดุลัสโค้งงอ (Flexural Modulus) ของวัสดุเชิงประกอบ และปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สัก

เมื่อพิจารณาถึงค่ามอดุลัสโค้งงอ (Flexural Modulus) ที่ปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สักที่ปริมาณ 0% กับ ปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สักที่ปริมาณ ตั้งแต่ 5, 10, 15 และ 20% โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน อธิบายได้จากปริมาณที่ 0% เป็นพอลิเมอร์ ส่วนการผสมผงขี้เลื่อยไม้สักปริมาณตั้งแต่ 5% ถึง 20% เป็นวัสดุเชิงประกอบ พบว่า พอลิเมอร์มีค่ามอดุลัสโค้งงอ (Flexural Modulus) น้อยกว่าวัสดุเชิงประกอบ

พิจารณาถึงมอดุลัสโค้งงอ (Flexural Modulus) ที่ปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สักที่ปริมาณ 5% ถึง 20% โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นนั้น เนื่องจากเมื่อชิ้นงานได้รับแรงกดอย่างต่อเนื่อง จึงทำให้ค่ามอดุลัสโค้งงอ (Flexural Modulus) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณการเพิ่มของผงขี้เลื่อยไม้สัก เนื่องจากผงขี้เลื่อยไม้สักมีค่ามอดุลัสสูงกว่าพอลิพรอพิลีน และเป็นส่วนเสริมแรงจึงช่วยเพิ่มความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ค่ามอดุลัสโค้งงอ (Flexural Modulus) จึงมีค่าเพิ่มขึ้น (กิติวุฒ และภาณุมาศ, 2552)

บทที่ 5
บทสรุป

5.1 สรุปผลการดำเนินโครงงาน

โครงงานนี้เป็นการศึกษาสมบัติเชิงกลต่าง ๆ ได้แก่ ค่าความแข็งแรงดึง ค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด ค่ามอดุลัส ค่าความต้านทานแรงกระแทก ค่าความแข็งแรงโค้งงอ และค่ามอดุลัสโค้งงอ ของ วัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิพรอพิลีน และผงขี้เลื่อยไม้สักที่ปริมาณ 0, 5, 10, 15 และ 20% โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ซึ่งสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

5.1.1 ผลของค่าความแข็งแรงดึง ของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิพรอพิลีน และผงขี้เลื่อยไม้สักที่ปริมาณ 0, 5, 10 และ 15% โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน พบว่าเมื่อปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สักเพิ่มสูงขึ้น ค่าความแข็งแรงดึงลดลง และที่ปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สัก 15% ถึง 20% มีค่าแนวโน้มเพิ่มขึ้น

5.1.2 ผลของค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด ของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิพรอพิลีน และผงขี้เลื่อยไม้สักที่ปริมาณ 0, 5, 10,15 และ 20% โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน พบว่าปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สักที่ปริมาณ 0% มีค่าสูงสุด และค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจน ที่ปริมาณ 5% ถึง 15% โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีนมีค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดลดลง และที่ 15% ถึง 20% ค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย

5.1.3 ผลของค่ามอดุลัสของวัสดุเชิงประกอบ ระหว่างพอลิพรอพิลีน และปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สักที่ปริมาณ 0, 5, 10, 15 และ 20% โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน พบว่าเมื่อปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สักเพิ่มสูงขึ้น ค่ามอดุลัสเพิ่มสูงขึ้น

5.1.4 ผลของค่าความต้านทานแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิพรอพิลีน และผงขี้เลื่อยไม้สักที่ปริมาณ 0, 5, 10, 15 และ 20% โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน พบว่าเมื่อปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สักเพิ่มสูงขึ้นที่ช่วงปริมาณผสม 5% ถึง 15% ค่าความต้านทานแรงกระแทกเพิ่มสูงขึ้น และที่ช่วงปริมาณผสม 15% ถึง 20% ค่าความต้านทานแรงกระแทกมีค่าลดลง

5.1.5 ผลของค่าความแข็งแรงโค้งงอของวัสดุเชิงประกอบ ระหว่างพอลิพรอพิลีน และผงขี้เลื่อยไม้สักที่ปริมาณ 0, 5, 10, 15 และ 20% โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน พบว่าเมื่อปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สักเพิ่มสูงขึ้น ค่าความแข็งแรงโค้งงอของวัสดุเชิงประกอบลดลง

5.1.6 ผลของค่ามอดุลัสโค้งงอของวัสดุเชิงประกอบ ระหว่างพอลิพรอพิลีน และผงขี้เลื่อยไม้สักที่ปริมาณ 0, 5, 10, 15 และ 20% โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน พบว่าเมื่อปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สักเพิ่มสูงขึ้น ค่ามอดุลัสโค้งงอของวัสดุเชิงประกอบเพิ่มสูงขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 เมื่อปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สักเพิ่มขึ้น ทำให้กระบวนการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดรีดโดยใช้เครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว (Single-screw extruder) เวลาในการขึ้นรูปนานขึ้น และลักษณะของเม็ดพลาสติก ยังคงเห็นผงขี้เลื่อยไม้สักที่ไม่เข้ากันดีกับพอลิพรอพิลีนได้ชัดเจน

5.2.2 เพื่อการกระจายตัวของส่วนเสริมแรงให้เข้ากันดีกับเนื้อพื้น ควรที่จะมีการเติมสารช่วยผสม ในการผลิตชิ้นงานของวัสดุเชิงประกอบ

5.3 ปัญหาที่พบ และแนวทางการแก้ปัญหา

5.3.1 ฝุ่นละอองจากผงขี้เลื่อยไม้สัก ควรใส่หน้ากาก และถุงมือ เพื่อป้องกันอันตราย

5.3.2 การปฏิบัติงานทุกครั้งควรระมัดระวัง โดยทำการศึกษาการใช้เครื่องมือก่อนการปฏิบัติงานจริง เพื่อให้เกิดความชำนาญ และปลอดภัยในการใช้งาน

เอกสารอ้างอิง

กิติวุฒิ สุวรรณ และภาณุมาศ แก้วประเสริฐ. (2552). **การปรับปรุงสมบัติของคอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีนและเส้นใยผักตบชวาโดยใช้อะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนเป็นสารช่วยผสม.** ปริญญานิพนธ์ วศบ., มหาวิทยาลัยนเรศวร,พิษณุโลก.

จรูญ พรรณนา และธานินทร์ ภู่เพียร. (2546). **สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง.** ปริญญานิพนธ์ วศบ., มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.

ชนิดา โยธินวัฒนกำธร. (2547). **การศึกษาความสามารถในการขึ้นรูปและคุณสมบัติของวัสดุคอมโพสิตพอลิพรอพิลีน/ขี้เลื่อย.** วิทยานิพนธ์ วศม., มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.

ชุตาภรณ์ การ์เมนท์. (2548). **เรื่องของเส้นใย.** สืบค้นเมื่อ 16 กันยายน 2554, จาก http://www.chu-g.com/index.php?lay=show&ac=article&Id=531280&Ntype=1.

เดือนพร บุญศิริคำชัย. (2549). **ศึกษาการสังเคราะห์วัสดุเชิงประกอบคล้ายไม้ จากพอลิไวนิลคลอไรด์กับผงหนังและเยื่อชานอ้อย.** วิทยานิพนธ์ วศม., สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.

นิลุบล เผือกบัวขาว. (2551). **สมบัติเชิงกลและสัณฐานวิทยาของพอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปใหม่โดยมีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารเติมแต่ง.** วิทยานิพนธ์ วทม., มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ.

บริษัท SCG Plastics. (ม.ป.ป.). ผลิตภัณฑ์ PP แบ่งตามลักษณะกระบวนการผลิต. สืบค้นเมื่อวันที่ 7 สิงหาคม 2554. จาก http://www.google.co.th/#sclient=psy-ab&hl=th&rlz=1R2SHCN_en.

พัชราภรณ์ พูลยอด และอภินันท์ ทันยุพัก. (2552). **ผลของการใช้สารคู่ควบไซเลน และสารช่วยผสมชนิดมาเลอิกแอนไฮดรายด์กราฟต์พอลิพรอพิลีน ที่มีผลต่อสมบัติของคอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีนโดยใช้เส้นใยชานอ้อยเป็นส่วนเสริมแรง.** ปริญญานิพนธ์ วศบ., มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.

พิพัฒน์ ไพศาลภาณุมาศ และเจตสุดา ชาญศร. (2551). การศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบการพันกับค่าความแข็งของถังไฟเบอร์กลาส. **วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.** 18 (3), 90-95.

พรชัย เสมแก้ว และคณะ. (2554). **การผลิตเฟอร์นิเจอร์จากเศษกระดาษพิมพ์สิ่งพิมพ์มีค่าและขี้เลื่อย.** วิทยานิพนธ์ วทม., มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

ภิญโญเฟอร์นิเจอร์. (7 มีนาคม 2548). **ไก่ปั้นจากขี้เลื่อยไม้สัก.** สืบค้นเมื่อวันที่ 8 สิงหาคม 2554. จาก http://www.pinyofurniture.com/product.detail_50200_th_322172.

ริกาญจน์ ฉัตรสกุลวิไล. (2554). **ลิกนิน-แทนนิน.** สืบค้นเมื่อ 25 กรกฎาคม 2554, จาก http://www2.diw.go.th/research/%E0%CD%A1%CA%D2%C3%E0%BC%C2%E1%BE%C3%E8/%C5%D4%A1%B9%D4%B9.pdf.

ศิริรัตน์ เตชะเพิ่มผล. (2550). พอลิเมอร์คอมโพสิตด้วยเส้นใยจากมะพร้าว. ปริญญานิพนธ์ วศม., มหาวิทยาลัยศิลปากร, กรุงเทพฯ.

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. (23 กันยายน 2553). วัสดุที่เรียก**ว่า "คอมโพสิต (composites)" คือวัสดุประเภทใด.** สืบค้นเมื่อ 19 มิถุนายน 2554,จาก http://www.mtec.or.th/index.php?option=com_content&task=view&id=169&Itemid=178.

สุภโชค ตันพิชัย. (2548). พอลิเมอร์ผสมจากผงพอลิโพรพิลีน และขวดเพตใช้แล้วที่บดด้วยเทคนิคพัลเวอไรเซชัน. วิทยานิพนธ์ วทม., จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. สืบค้นเมื่อ 20 กรกฎาคม 2554, จาก http://www.thaithesis.org/detail.php?id=1082548000777.

สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. (2554). **ผงขี้เลื่อยผสมพลาสติก แข็งแรง ทนแมลง ทดแทนไม้ธรรมชาติ. วารสาร :** Engineering Today. สืบค้นเมื่อ 19 มิถุนายน 2554, จาก http://www.engineeringtoday.net/magazine/articledetail.asp?arid=2964&.

หฤทยาค กีรติเสวีและคณะ. (2552). ภาพรวมของวัสดุเชิงประกอบ. **วิศวกรรมสารมก.** 22(70). 18-32.

ASTM D 638. (2006). **Standard Test Methods for Tensile Properties of Plastic (Metric).** Philadephia: American Society for Testing and Materials.

ASTM D 790. (2006). **Standard Test Methods for Tensile Properties of Plastic (Metric).** Philadephia: American Society for Testing and Materials.

ASTM D 256. (2006). **Standard Test Methods for Impact Resistance of Plastics and Electrical Insulating Materials.** Philadephia: American Society for Testing and Materials.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

108.Wood.com. (2553). **ความรู้เกี่ยวกับไม้สัก.** สืบค้นเมื่อวันที่ 8 สิงหาคม 2554. จาก http://www.108wood.com/index.php?lay=show&ac=article&Id=578640&Ntype=6.

ภาคผนวก ก

สมบัติเชิงกลของชิ้นงาน

ตารางที่ ก.1 ความแข็งแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิพรอพิลีน และปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สัก

ความแข็งแรงดึง (Tensile Strength, MPa)					
ชิ้นงานที่	0% ขี้เลื่อย	5% ขี้เลื่อย	10% ขี้เลื่อย	15% ขี้เลื่อย	20% ขี้เลื่อย
1	33.265	30.874	27.111	26.257	23.764
2	33.381	29.097	27.088	25.601	27.351
3	33.086	30.873	24.515	25.683	27.750
4	32.779	29.964	26.884	26.215	27.405
5	32.856	31.958	27.140	26.233	24.750
6	31.686	29.328	26.776	25.049	25.421
7	32.650	30.411	26.775	25.066	25.297
8	32.884	29.831	26.568	25.041	25.296
Average	32.823	30.292	26.607	25.643	25.879
Max	33.381	31.958	27.140	26.257	27.750
Min	31.686	29.097	24.515	25.041	23.764

ตารางที่ ก.1 ความแข็งแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิพรอพิลีน และปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สัก

ความแข็งแรงดึง (Tensile Strength, MPa)					
ชิ้นงานที่	0% ขี้เลื่อย	5% ขี้เลื่อย	10% ขี้เลื่อย	15% ขี้เลื่อย	20% ขี้เลื่อย
1	33.265	30.874	27.111	26.257	23.764
2	33.381	29.097	27.088	25.601	27.351
3	33.086	30.873	24.515	25.683	27.750
4	32.779	29.964	26.884	26.215	27.405
5	32.856	31.958	27.140	26.233	24.750
6	31.686	29.328	26.776	25.049	25.421
7	32.650	30.411	26.775	25.066	25.297
8	32.884	29.831	26.568	25.041	25.296
Average	32.823	30.292	26.607	25.643	25.879
Max	33.381	31.958	27.140	26.257	27.750
Min	31.686	29.097	24.515	25.041	23.764

ตารางที่ ก.2 ร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด (Percent elongation at break; %Strain) ของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิพรอพิลีน และปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สัก

ร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด (%)					
ชิ้นงานที่	0% ขี้เลื่อย	5% ขี้เลื่อย	10% ขี้เลื่อย	15% ขี้เลื่อย	20% ขี้เลื่อย
1	710.478	19.294	11.937	7.985	7.140
2	627.831	12.198	11.452	8.319	9.455
3	693.005	21.553	7.446	11.076	43.827
4	683.648	10.533	9.369	7.189	6.548
5	635.973	12.923	10.488	8.197	7.155
6	655.443	10.349	14.690	8.365	5.732
7	633.927	10.411	10.860	9.906	7.611
8	676.320	11.643	9.371	7.368	9.531
Average	664.578	13.613	10.702	8.550	12.125
Max	710.478	21.553	14.690	11.076	43.827
Min	627.831	10.349	7.446	7.189	5.732

ตารางที่ ก.3 มอดุลัสของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิพรอพิลีน และปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สัก

มอดุลัส (MPa)					
ชิ้นงานที่	0% ขี้เลื่อย	5% ขี้เลื่อย	10% ขี้เลื่อย	15% ขี้เลื่อย	20% ขี้เลื่อย
1	761.853	831.105	960.483	938.667	895.390
2	811.379	757.107	850.912	947.530	940.549
3	862.309	942.121	892.800	876.211	964.698
4	765.052	911.156	864.379	1014.670	1078.218
5	802.613	914.195	892.851	938.704	913.521
6	736.060	922.392	896.251	957.479	945.920
7	716.129	918.836	865.566	916.940	979.842
8	760.692	861.733	935.167	962.279	913.172
Average	777.011	882.331	894.801	944.060	953.914
Max	862.309	942.121	960.483	1014.670	1078.218
Min	716.129	757.107	850.912	876.211	895.390

ตารางที่ ก.4 ความต้านทานแรงกระแทก (Impact Strength) ของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิพรอพิลีน และปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สัก

ความต้านทานแรงกระแทก (J/m^2)					
ชิ้นงานที่	0% ขี้เลื่อย	5% ขี้เลื่อย	10% ขี้เลื่อย	15% ขี้เลื่อย	20% ขี้เลื่อย
1	5.263	5.281	5.340	5.375	5.375
2	5.298	5.351	5.368	5.404	5.337
3	5.298	5.193	5.270	5.351	5.404
4	5.316	5.351	5.274	5.386	5.330
5	5.126	5.358	5.337	5.372	5.368
6	5.316	5.267	5.337	5.400	5.386
7	5.281	5.372	5.372	5.407	5.361
8	5.298	5.281	5.330	5.305	5.351
Average	5.275	5.307	5.329	5.375	5.364
Max	5.316	5.358	5.368	5.404	5.404
Min	5.263	5.193	5.270	5.351	5.330

ตารางที่ ก.5 ความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural Strength) ของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิพรอพิลีนและปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สัก

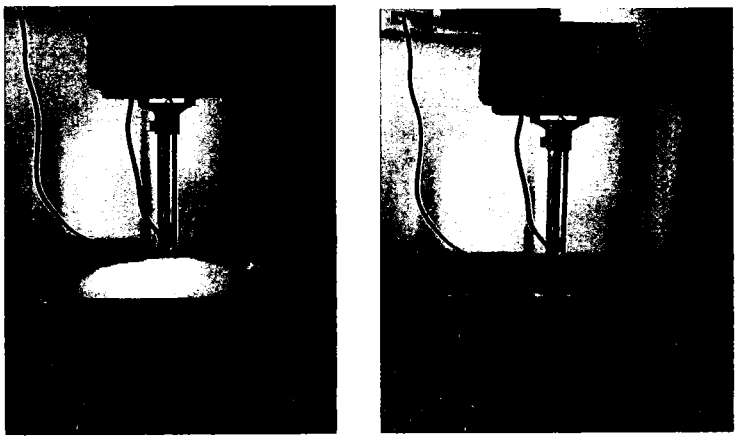
ความแข็งแรงโค้งงอ (MPa)					
ชิ้นที่	0% ขี้เลื่อย	5% ขี้เลื่อย	10% ขี้เลื่อย	15% ขี้เลื่อย	20% ขี้เลื่อย
1	51.610	53.310	52.666	51.255	50.271
2	53.009	52.962	53.310	52.796	48.887
3	52.967	52.568	52.988	52.095	55.248
4	53.108	54.780	52.542	52.916	51.070
5	52.422	52.043	51.753	52.692	52.645
6	51.698	53.565	52.931	52.214	52.162
7	52.240	52.194	52.053	51.926	51.060
8	50.539	51.223	53.009	53.627	52.407
9	50.926	53.539	53.258	53.035	51.775
10	52.303	52.760	52.916	52.952	51.322
Average	52.082	52.894	52.743	52.551	51.685
Max	53.108	54.780	53.310	53.627	55.248
Min	51.610	52.043	51.753	51.255	48.887

ตารางที่ ก.6 มอดุลัสโค้งงอ (Flexural Modulus) ของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิพรอพิลีน และปริมาณผงขี้เลื่อยไม้สัก

มอดุลัสโค้งงอ (MPa)					
ชิ้นที่	0% ขี้เลื่อย	5% ขี้เลื่อย	10% ขี้เลื่อย	15% ขี้เลื่อย	20% ขี้เลื่อย
1	1218.507	1379.901	1646.047	1648.952	1568.587
2	1690.108	1362.069	1607.755	1686.742	1504.460
3	1584.520	1385.892	1564.014	1656.573	1555.819
4	1296.537	1273.079	1749.233	1709.828	1502.621
5	1506.535	1247.063	1546.188	1567.242	1831.189
6	1142.791	1541.279	1480.755	1681.166	1835.554
7	1274.726	1457.693	1715.873	1730.801	1591.432
8	1206.019	1437.585	1488.948	1521.662	1865.625
9	1189.363	1439.820	1311.590	1459.296	1949.659
10	1304.693	1521.889	1550.965	1660.573	1942.492
Average	1341.380	1404.627	1566.137	1632.284	1714.744
Max	1690.108	1541.279	1749.233	1730.801	1949.659
Min	1142.791	1247.063	1311.590	1459.296	1502.621

ภาคผนวก ข

วัตถุดิบ และชิ้นงาน



ก) ข)

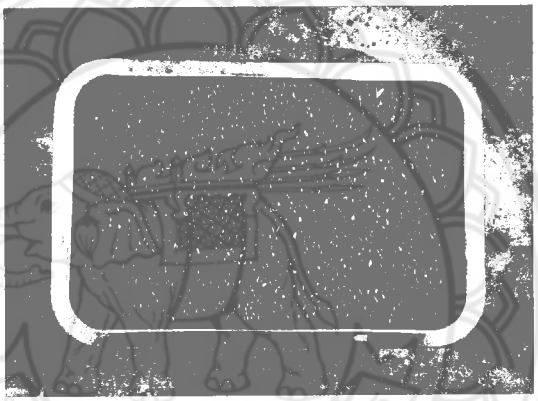
รูปที่ ข.1 ภาพผงขี้เลื่อยไม้สัก และเม็ดพลาสติกชนิดพอลิพรอพิลีน

ก) เม็ดพลาสติกชนิดพอลิพรอพิลีน

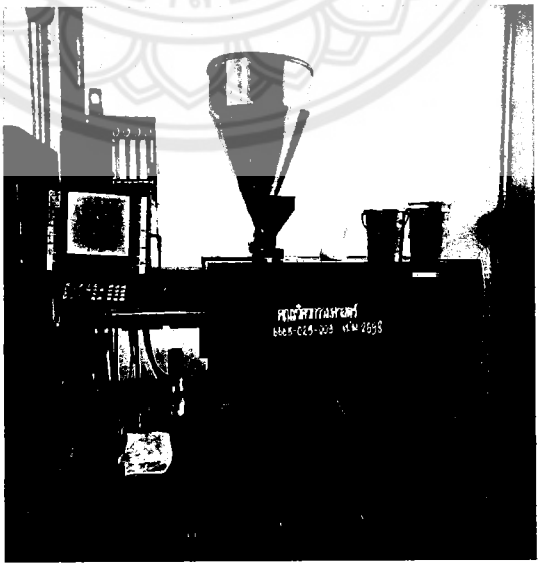
ข) ผงขี้เลื่อยไม้สัก ขนาด 40-80 Mesh

รูปที่ ข.2 ตู้อบ

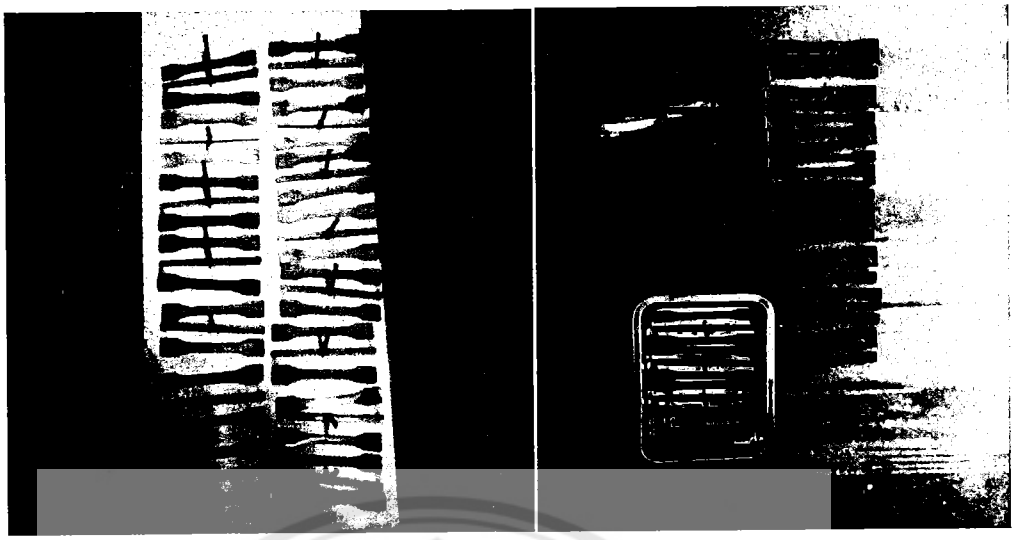
รูปที่ ข.3 เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดียว



รูปที่ ข.4 เม็ดพลาสติกที่ผ่านการผสม



รูปที่ ข.5 เครื่องฉีดขึ้นรูป



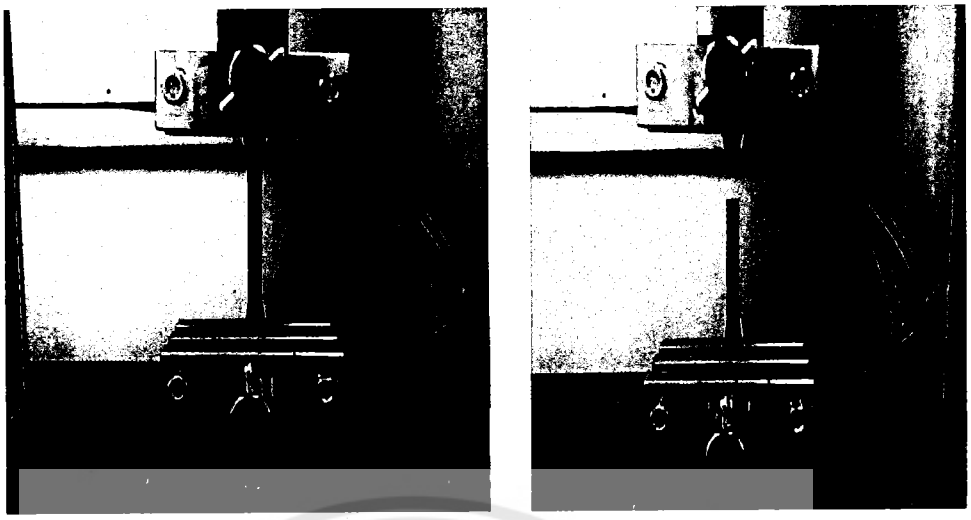
ก) ข)

รูปที่ ข.6 ชิ้นงานที่ได้จากการผลิต

ก) ชิ้นงานที่ไม่ได้ผสมผงขี้เลื่อยไม้สัก

ข) ชิ้นงานที่ผสมผงขี้เลื่อยไม้สัก

รูปที่ ข.7 เครื่องทดสอบการทดสอบแรงดึง

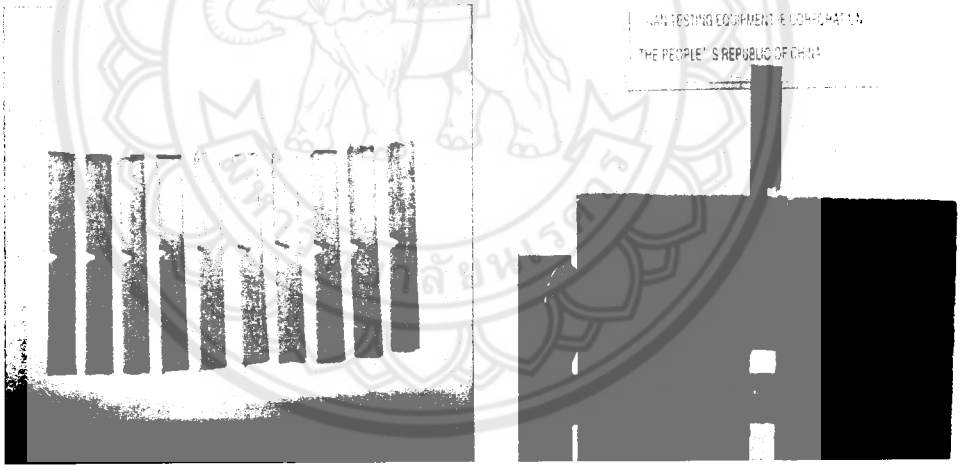


ก) ข)

รูปที่ ข.8 การทดสอบแรงดึง

ก) ภาพชิ้นงานทดสอบที่ยังไม่เกิดการแตกหัก

ข) ภาพชิ้นงานทดสอบที่เกิดการแตกหัก



ก) ข)

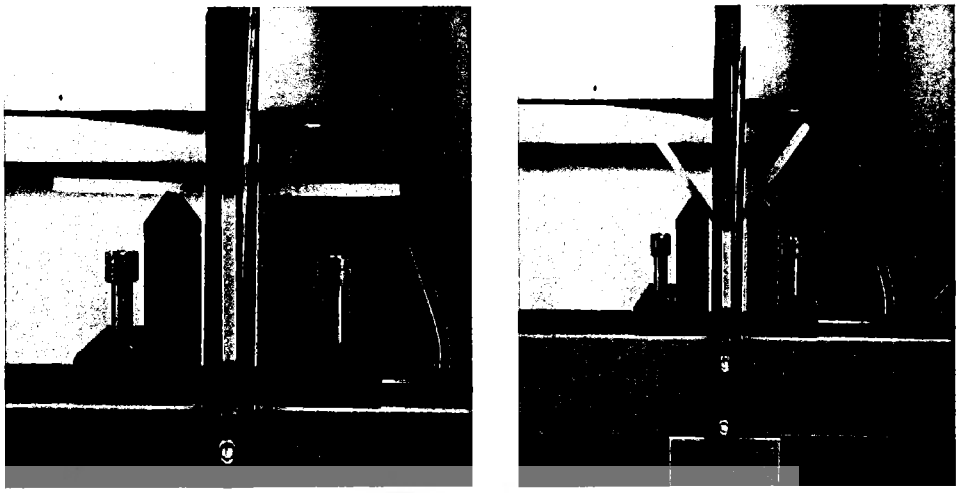
รูปที่ ข.9 ชิ้นงานการทดสอบความต้านทานแรงกระแทก

ก) ชิ้นงานที่ทำการบาก

ข) ชิ้นงานที่เตรียมทำการทดสอบความต้านทานแรงกระแทก

รูปที่ ข.10 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงกระแทกแบบไอซอด

รูปที่ ข.11 เครื่องทดสอบการทดสอบแรงกด



ก)　　ข)

รูปที่ ข.12 การทดสอบแรงกด

ก) ภาพการเตรียมชิ้นงานแรงกด

ข) ภาพการทดสอบแรงกด