ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยนเรศวร

การศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิแลคติกแอซิด และเส้นใยธรรมชาติ

A STUDY ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIAL PREPARED FROM POLYLACTIC ACID AND NATURAL FIBERS

นางสาวนิรมล	วรอินทร์	รหัส 51362350
นายจักราวุธ	ราษี	รหัส 51365092
นางสาวภาวินี	เนรมัติ	รหัส 51365146

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2554

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 10 ก.ค. 2555
เลขทะเบียน i6023022
เลขเรียกหนังสือ ปร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร 46645 ฉ 2554

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน การศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิแลคติกแอซิดและเส้นใยธรรมชาติ

ผู้ดำเนินโครงงาน

นางสาวนิรมล	วรอินทร์	รหัส 51362244
นายจักราวุธ	ราษี	รหัส 51365092
นางสาวภาวินี	เนรมัติ	รหัส 51365146

ที่ปรึกษาโครงงาน อาจารย์ศิริกาญจน์ ขันสัมฤทธิ์

สาขาวิชา วิศวกรรมวัสดุ

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ปีการศึกษา 2554

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ

.....ที่ปรึกษาโครงงาน
(อาจารย์ศิริกาญจน์ ขันสัมฤทธิ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์ธณิกานต์ ธงชัย)

.....กรรมการ
(อาจารย์กฤษณา พูลสวัสดิ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์ทศพล ตรีรุจิราภาพงศ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์มานะ วีรวิกรม)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิแลคติก-แอซิดและเส้นใยธรรมชาติ	
ผู้ดำเนินโครงงาน	นางสาวนิรมล วรอินทร์	รหัส 51362244
	นายจักราวุธ ราษี	รหัส 51365092
	นางสาวภาวินี เนรมัติ	รหัส 51365146
ที่ปรึกษาโครงงาน	อาจารย์ศิริกาญจน์ ขันสัมฤทธิ์	
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุ	
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ	
ปีการศึกษา	2554	

.....

บทคัดย่อ

โครงงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ เพื่อศึกษาสมบัติเชิงกล การย่อยสลายโดยการฝังกลบดิน และสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิแลคติกแอซิดกับเส้นใยธรรมชาติชนิดเส้นใยฟางข้าว และผักตบชวา ที่ปริมาณร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนักของพอลิแลคติกแอซิด จากการทดลองพบว่า วัสดุเชิงประกอบที่ใช้เส้นใยผักตบชวา ให้สมบัติเชิงกลที่ดีกว่าวัสดุเชิงประกอบที่ใช้เส้นใยฟางข้าว จึงได้นำเส้นใยผักตบชวาไปทำศึกษาผลของการปรับปรุงเส้นใยก่อนการขึ้นรูปโดยการเติมสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 ที่ปริมาณร้อยละ 1 โดยน้ำหนักของเส้นใยธรรมชาติ โดยการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยก่อนการขึ้นรูปจะช่วยในการกระจายตัวของเส้นใย รวมทั้งการยึดเกาะของเส้นใยกับพอลิเมอร์เพื่อช่วยให้สมบัติเชิงกลดีขึ้น และเมื่อนำชิ้นงานไปทดสอบพบว่าพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยผักตบชวาที่ปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของพอลิแลคติดแอซิดให้ค่าสมบัติเชิงกลได้ดีที่สุด และจากการทดสอบสัณฐานวิทยา พบว่าเส้นใยที่ทำการปรับปรุงเส้นใยด้วยสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 มีความเข้ากันได้ดีระหว่างเส้นใยกับพอลิแลคติกแอซิด เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยที่ไม่ได้ทำการปรับปรุงด้วยไซเลน ชนิด A-137 เนื่องจากสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 จะช่วยปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใย ทำให้เส้นใยกับพอลิเมอร์สามารถเข้ากันได้ดี ทำให้รอยต่อระหว่างวัฏภาคลดน้อยลง ส่งผลให้การถ่ายเทแรงสามารถส่งผ่านไปยังบริเวณอื่นได้ไม่เกิดการสะสมแรงบริเวณรอยต่อระหว่างเส้นใยกับเนื้อพื้นพอลิเมอร์ และการทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังกลบพบว่า เมื่อระยะเวลาที่เปลี่ยนแปลงไปน้ำหนักของชิ้นงานมีแนวโน้มลดลงทุกๆ สัปดาห์

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำโครงงานวิจัยนี้ผู้เขียนขอขอบพระคุณ อาจารย์ศิริกาญจน์ ขันสัมฤทธิ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ในการให้ความรู้ คำปรึกษา ข้อแนะนำเกี่ยวกับการค้นหาข้อมูลในการวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ และความช่วยเหลือทางด้านต่างๆ ตลอดจนแนะนำวิธีการในการแก้ปัญหา และให้กำลังใจในการทำงานตลอดมา จนสามารถทำงานลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์ที่ดีเยี่ยม และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ทศพล ตรีรุจิราภาพงศ์ อาจารย์มานะ วีรวิกรม อาจารย์ธณิกานต์ ธงชัย และอาจารย์กฤษณา พูลสวัสดิ์ ที่กรุณาเสียสละเวลามาเป็นอาจารย์สอบโครงงาน พร้อมทั้งให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ และข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขโครงงานนี้

ขอขอบพระคุณ ครูช่างประเทือง โมรารายย ครูช่างธวัชชัย ชุลบุตร ครูช่างรณกฤต แสงผ่อง และนักวิทยาศาสตร์อิสรีย์ วัตถุภาพ ที่คอยเอื้อเฟื้อสถานที่ และอุปกรณ์ในการทำโครงงาน รวมไปถึงการแนะนำใช้อุปกรณ์ และเครื่องมือต่างๆ อย่างถูกวิธี

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้กับผู้ทำผู้ทำโครงงาน จนงานลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่คอยสนับสนุนในเรื่องค่าใช้จ่าย และกำลังใจจนสามารถศึกษา ทำโครงงานวิจัยเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณเพื่อนทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือ และให้กำลังใจ ในการทำโครงงานนี้จนสำเร็จไปได้ด้วยดี

คณะผู้ดำเนินโครงงานวิศวกรรม
นางสาวนิรมล วรอินทร์
นายจักราวุธ ราษี
นางสาวภาวินี เนรมิต

เมษายน 2555

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์ ..... ก
บทคัดย่อ ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ค
สารบัญ ..... ง
สารบัญตาราง ..... ฉ
สารบัญรูป ..... ช
สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ ..... ญ

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 หลักการ และเหตุผล 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 1
1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output) 2
1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome) 2
1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงงาน 2
1.6 สถานที่การดำเนินโครงงาน 3
1.7 ระยะเวลาการดำเนินโครงงาน 3
1.8 ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงงาน 3

บทที่ 2 หลักการ และทฤษฎีเบื้องต้น 4
2.1 พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Biodegradable plastic) 4
2.2 พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic Acid) 5
2.3 เส้นใยธรรมชาติ (Natural Fibers) 6
2.4 การปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใย 12
2.5 ทฤษฎีการยึดเกาะ 16
2.6 กระบวนการผลิต 19
2.7 การทดสอบสมบัติของวัสดุ 22
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 31

บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงงาน 33
3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในโครงงาน 33
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในโครงงาน 34

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3 วิธีการทดลอง 36
3.4 วิธีการทดสอบ 37
3.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง 39
3.6 สรุปผล และทำรายงานการวิจัย 39

บทที่ 4 ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ 40
4.1 การศึกษาสมบัติต่างๆ ของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิแลคติกแอซิดกับเส้นใยธรรมชาติชนิดเส้นใยฟางข้าว และผักตบชวา 40
4.2 การศึกษาสมบัติต่างๆ ของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิแลคติกแอซิดกับเส้นใยธรรมชาติชนิดเส้นใยผักตบชวาที่มีการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยธรรมชาติโดยใช้สารคู่ควบไซเลน ชนิด A - 137 49

บทที่ 5 บทสรุป และข้อเสนอแนะ 57
5.1 บทสรุป 57
5.2 ข้อเสนอแนะ และการพัฒนา 57
5.3 ปัญหาที่พบ และแนวทางการแก้ปัญหา 58

เอกสารอ้างอิง 59

ภาคผนวก ก 62
ภาคผนวก ข 65
ภาคผนวก ค 73

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงงาน 3

2.1 ตารางแสดงสมบัติ PLA 6

2.2 องค์ประกอบทางเคมีในฟางข้าว 10

2.3 องค์ประกอบทางเคมีในผักตบชวาแห้ง 12

2.4 ประเภทสารคู่ควบไซเลนที่ใช้ในเชิงพาณิชย์ 14

3.1 สมบัติของพอลิแลคติกแอซิด (Polylactic Acid, PLA) เกรด 2003D 33

3.2 สมบัติของสารคู่ควบไซเลนชนิด A-137 34

3.3 อัตราส่วนผสมของเส้นใย 36

3.4 สภาวะที่ใช้ในการขึ้นรูปของวัสดุเชิงประกอบ 37

ก.1 สมบัติเชิงกลของพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยธรรมชาติที่ไม่มีการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใย .. 63

ก.2 สมบัติเชิงกลของพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยธรรมชาติที่มีการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใย 64

ข.1 การย่อยสลายของพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยฟางข้าวสัปดาห์ที่ 1 66

ข.2 การย่อยสลายของพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยฟางข้าวสัปดาห์ที่ 2 67

ข.3 การย่อยสลายของพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยฟางข้าวสัปดาห์ที่ 3 68

ข.4 การย่อยสลายของพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยฟางข้าวสัปดาห์ที่ 4 69

ข.5 การย่อยสลายของพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยฟางข้าวสัปดาห์ที่ 5 70

ข.6 การย่อยสลายของพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยฟางข้าวสัปดาห์ที่ 6 71

ข.7 การย่อยสลายของพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยฟางข้าวสัปดาห์ที่ 7 72

ค.1 การย่อยสลายของพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยผักตบชวาสัปดาห์ที่ 1 74

ค.2 การย่อยสลายของพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยผักตบชวาสัปดาห์ที่ 2 75

ค.3 การย่อยสลายของพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยผักตบชวาสัปดาห์ที่ 3 76

ค.4 การย่อยสลายของพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยผักตบชวาสัปดาห์ที่ 4 77

ค.5 การย่อยสลายของพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยผักตบชวาสัปดาห์ที่ 5 78

ค.6 การย่อยสลายของพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยผักตบชวาสัปดาห์ที่ 6 79

ค.7 การย่อยสลายของพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยผักตบชวาสัปดาห์ที่ 7 80

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	โครงสร้างทางเคมีของพอลิแลคติกแอซิด	5
2.2	โครงสร้างเซลลูโลส	7
2.3	โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส	8
2.4	โครงสร้างของลิกนิน	9
2.5	ฟางข้าว	10
2.6	ผักตบชวา	11
2.7	ปฏิกิริยาไฮโดรไลสิสของไซเลน	14
2.8	ปฏิกิริยาควบแน่นของไซลานอล	15
2.9	การแพร่เข้าหากัน (Interdiffusion)	17
2.10	แรงดึงดูดประจุหรือไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Attraction)	17
2.11	พันธะเคมี (Chemical Bonding)	18
2.12	การยึดเกาะเชิงกล (Mechanical Adhesion)	18
2.13	เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single Screw Extruder Machine)	20
2.14	เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two Roll Mill Machine)	21
2.15	เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection MoldingMachine)	21
2.16	เครื่องทดสอบความแข็งแรงดึง (Universal Testing Machine)	22
2.17	กราฟความเค้น-ความเครียด แสดงพฤติกรรมของวัสดุเมื่อได้รับแรงดึง	24
2.18	ชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงกระแทก	25
2.19	การทดสอบความแข็งแรงกระแทก	26
2.20	เครื่องทดสอบความแข็งแบบชอร์ดี	27
2.21	การย่อยสลายของบรรจุภัณฑ์จาก PLA	28
2.22	เครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM)	29
2.23	หลักการทำงานเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	30
3.1	สูตรโครงสร้างเคมีของไซเลน ชนิด A-137	34
3.2	แผนการดำเนินงาน	35
3.3	ลักษณะชิ้นงานดัมเบลล์ที่นำมาทดสอบ	38
3.4	ลักษณะชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบความแข็งแรงกระแทก	38

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึง และปริมาณเส้นใย เปรียบเทียบระหว่างเส้นใยฟางข้าวกับเส้นใยผักตบชวา 41

4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด และปริมาณเส้นใย เปรียบเทียบระหว่างเส้นใยฟางข้าวกับผักตบชวา 42

4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสของยังส์ และปริมาณเส้นใย เปรียบเทียบระหว่างเส้นใยฟางข้าวกับเส้นใยผักตบชวา 43

4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงกระแทก และปริมาณเส้นใย เปรียบเทียบระหว่างเส้นใยฟางกับเส้นใยผักตบชวา 44

4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแบบชอร์ดี และปริมาณเส้นใย เปรียบเทียบระหว่างเส้นใยฟางข้าวกับเส้นใยผักตบชวา 45

4.6 สัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิแลคติกแอซิดกับเส้นใยธรรมชาติที่กำลังขยาย 350 เท่า 46

4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนัก และระยะเวลาการย่อยสลายของฟางข้าวในปริมาณต่างๆ 47

4.8 การย่อยสลายของวัสดุเชิงประกอบที่ใช้เส้นใยฟางข้าวระยะเวลา 7 สัปดาห์ 48

4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนัก และระยะเวลาการย่อยสลายของผักตบชวาในปริมาณต่างๆ .. 48

4.10 การย่อยสลายของวัสดุเชิงประกอบที่ใช้เส้นใยผักตบชวาระยะเวลา 7 สัปดาห์ 49

4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึง และปริมาณเส้นใย เปรียบเทียบระหว่างเส้นใยผักตบชวาที่ทำการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใย กับเส้นใยผักตบชวาที่ไม่ได้ทำการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใย 50

4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด และปริมาณเส้นใย เปรียบเทียบระหว่างเส้นใยผักตบชวาที่ทำการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใย กับเส้นใยผักตบชวาที่ไม่ได้ทำการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใย 51

4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสของยังส์ และปริมาณเส้นใย เปรียบเทียบระหว่างเส้นใยผักตบชวาที่ทำการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใย กับเส้นใยผักตบชวาที่ไม่ได้ทำการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใย 52

4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงกระแทก และปริมาณเส้นใย เปรียบเทียบระหว่างเส้นใยผักตบชวาที่ทำการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใย กับเส้นใยผักตบชวาที่ไม่ได้ทำการปรับ-ปรุงพื้นผิวเส้นใย 53

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแบบชอร์ดี และปริมาณเส้นใย เปรียบเทียบระหว่างเส้นใยผักตบชวาที่ทำการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใย กับเส้นใยผักตบชวาที่ไม่ได้ทำการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใย 54

4.16 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยธรรมชาติที่กำลังขยาย 350 เท่า 55

สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ

PLA	=	พอลิแลกติคแอซิด (Polylactic Acid)
UTM	=	เครื่องทดสอบความแข็งแรงดึง (Universal testing mechine)
SEM	=	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron-Microscope)
°C	=	องศาเซลเซียส
Pa	=	ปาสคาล
MPa	=	เมกกะปาสคาล
GPa	=	จิกะปาสคาล
N	=	นิวตัน
kJ	=	กิโลจูล
kJ/m^2	=	กิโลจูลต่อตารางเมตร
% wt	=	ร้อยละโดยน้ำหนัก

บทที่ 1
บทนำ

1.1 หลักการ และเหตุผล

พลาสติกเป็นวัสดุที่ใช้กันมาก เนื่องจากมีน้ำหนักเบา ราคาถูก ทนต่อความชื้นได้ดี ทนต่อกรดด่างได้ดี มีกรรมวิธีผลิตชิ้นงานทำได้ง่าย และครั้งละจำนวนมาก และสามารถขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์รูปร่างต่างๆ ได้ง่ายกว่าวัสดุอื่นๆ แต่จะไม่ย่อยสลายได้ตามธรรมชาติทำให้มีปริมาณเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งในปัจจุบันนี้มีพลาสติกอีกชนิดหนึ่งคือ พลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติซึ่งจะเรียกว่า พลาสติกชีวภาพ เป็นพลาสติกที่ถูกออกแบบมาให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมี ภายใต้สภาวะแวดล้อมที่กำหนดไว้โดยเฉพาะ จึงทำให้สมบัติต่างๆ ของพลาสติกลดลงภายในช่วงเวลาหนึ่ง โดยการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะเกิดจากการทำงานของจุลินทรีย์ในธรรมชาติเท่านั้น พลาสติกชีวภาพที่ใช้กันมากที่สุดในปัจจุบันคือ พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic Acid : PLA) ซึ่งได้จากพืชที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น ข้าวโพด มันสำปะหลัง พอลิแลคติกแอซิดสามารถนำไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์ได้เช่นเดียวกับเม็ดพลาสติกจากปิโตรเลียม อีกทั้งพอลิแลกติกแอซิด ยังมีสมบัติพิเศษคือ มีความใส ไม่ย่อยสลายในสภาพแวดล้อมทั่วไป แต่สามารถย่อยสลายได้เองเมื่อนำไปฝังกลบในดิน โดยการทดสอบคุณสมบัติการย่อยสลายตามมาตรฐาน ASTM D6400

พลาสติกชีวภาพมีปัญหาส่วนใหญ่ในเรื่องความไม่แข็งแรง และไม่ทนทาน การที่เติมสารเติมแต่งประเภทวัสดุจากธรรมชาติ มีราคาถูก หาได้ง่าย ลงไปในเนื้อพลาสติกเพื่อลดปริมาณการใช้พลาสติก และเนื่องจากพลาสติกชีวภาพกับวัสดุจากธรรมชาตินั้นมีความสามารถในการเข้ากันได้ต่ำ ดังนั้นจึงมีการใช้สารคู่ควบ (Coupling Agent) ในการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเส้นใยให้มีความสามารถในการเข้ากันได้กับพลาสติก

โดยในงานวิจัยได้ทำการศึกษาสมบัติเชิงกล สมบัติการย่อยสลายโดยวิธีการฝังกลบในดิน และสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบจากพอลิแลคติกแอซิด กับเส้นใยธรรมชาติ 2 ชนิด คือ เส้นใยฟางข้าว และเส้นใยผักตบชวา และศึกษาการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยธรรมชาติ โดยการใช้สารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเข้ากันได้ระหว่าง พอลิแลคติกแอซิดกับเส้นใยธรรมชาติ ซึ่งข้อมูลที่ได้จะเป็นประโยชน์ในการนำวัสดุจากธรรมชาติมาใช้ให้เกิดประโยชน์

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อศึกษาสมบัติเชิงกล สมบัติการย่อยสลายโดยวิธีการฝังกลบในดิน และสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิแลคติกแอซิดกับเส้นใยธรรมชาติ ชนิดเส้นใยฟางข้าว และเส้นใยผักตบชวา ที่ปริมาณร้อยละ 5 , 10 และ 15 โดยน้ำหนักของพอลิแลคติกแอซิด

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยธรรมชาติโดยใช้สารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 ที่ปริมาณร้อยละ 1 โดยน้ำหนักของเส้นใยธรรมชาติ

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

วัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิแลคติกแอซิดกับเส้นใยธรรมชาติชนิดเส้นใยฟางข้าว และเส้นใยผักตบ ที่ปริมาณต่างๆ และทำการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยธรรมชาติ โดยใช้สารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 ที่ปริมาณร้อยละ 1 โดยน้ำหนักของเส้นใยธรรมชาติ

1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)

สมบัติเชิงกล สมบัติการย่อยสลายโดยการฝังกลบดิน และสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบจากพอลิแลคติกแอซิดกับเส้นใยธรรมชาติเส้นใยฟางข้าว เส้นใยผักตบชวา ที่ปริมาณต่างๆ และทำการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยธรรมชาติโดยใช้ สารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137

1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงงาน

1.5.1 ตัวแปรควบคุม

1.5.1.1 วัตถุดิบ คือ

ก. พลาสติกชีวภาพ PLA เกรด 2003D

ข. เส้นใยฟางข้าว

ค. เส้นใยผักตบชวา

1.5.1.2 กระบวนการขึ้นรูปโดย

ก. ผสมวัตถุดิบโดยใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single Screw Extruder Machine) และผสมในเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two Roll Mill Machine)

ข. ขึ้นรูปโดยใช้เครื่องฉีดพลาสติก (Injection Molding Machine)

1.5.2 ตัวแปรที่ศึกษา

1.5.2.1 ชนิด และปริมาณของเส้นใยธรรมชาติ ที่มีผลต่อสมบัติของวัสดุเชิงประกอบ

1.5.2.2 ผลของการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้สารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 ต่อสมบัติของวัสดุเชิงประกอบ

1.5.2.3 ศึกษาสมบัติเชิงกล ได้แก่ ความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงกระแทก และความแข็ง สมบัติการย่อยสลายโดยการฝังกลบ และสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิแลคติกแอซิด กับเส้นใยธรรมชาติ

1.6 สถานที่การดำเนินโครงงาน

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.7 ระยะเวลาการดำเนินโครงงาน

ตั้งแต่เดือน กรกฎาคม 2554 – เมษายน 2555

1.8 ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงงาน (Gantt Chart)

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงานโครงงาน

การดำเนินงาน	ช่วงเวลา									
	2554						2555			
	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1.8.1 วางแผนการดำเนินงาน	↔									
1.8.2 ค้นคว้าข้อมูลประกอบโครงงาน	↔	↔	↔							
1.8.3 หาแหล่งวัตถุดิบและเครื่องมือเพื่อการทดลอง				↔	↔	↔				
1.8.4 ทำการขึ้นรูปชิ้นงาน							↔	↔		
1.8.5 ทดสอบชิ้นงาน								↔		
1.8.6 วิเคราะห์ผลการทดลอง									↔	
1.8.7 สรุปผล และทำรายงานโครงงาน										↔

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

2.1 พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Biodegradable plastics)

พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Biodegradable plastics) หรือพลาสติกชีวภาพ เป็นพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ โดยสลายได้ด้วยกลไกการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ และแบคทีเรียในธรรมชาติ ซึ่งเมื่อย่อยสลายหมดแล้วจะได้ผลิตภัณฑ์เป็น น้ำ มวลชีวภาพ ก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ วัตถุดิบในการผลิตพลาสติกชีวภาพคือ แป้งที่มาจากทรัพยากรธรรมชาติ ซึ่งได้แก่ พืชที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น มันสำปะหลัง และข้าวโพด ดังนั้นจะเห็นได้ว่าพลาสติกชีวภาพนั้น สามารถผลิตได้จากพืชที่สามารถปลูกขึ้นทดแทนได้ และกระบวนการผลิตก็ใช้พลังงานต่ำ รวมทั้งกระบวนการกำจัดก็สามารถย่อยสลายได้ด้วยจุลินทรีย์ในธรรมชาติ นอกจากนี้พลาสติกชีวภาพยังสามารถใช้งานได้เทียบเท่าพลาสติกจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีแบบดั้งเดิมบางชนิดได้ โดยพลาสติกชีวภาพมี 2 ชนิด คือ พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic Acid : PLA) และพอลิไฮดรอกซีอัลคาโนเอต (Polyhydroxy alkanoates : PHAs) โดยกระบวนการผลิตพลาสติกชีวภาพจะเริ่มต้นจากการบดพืชที่นำมาเป็นวัตถุดิบให้ละเอียด จากนั้นทำการย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาล แล้วนำไปหมักด้วยจุลินทรีย์ให้กลายเป็นกรด จากนั้นนำไปผ่านกระบวนการทางเคมีเพื่อเปลี่ยนโครงสร้าง ก่อนนำมากลั่นแล้วนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตพลาสติกตามกระบวนการผลิตพลาสติกจากปิโตรเคมี โดยพลาสติกทั้งสองชนิดนั้นจะมีกรรมวิธีการผลิตที่คล้ายคลึงกัน แต่จะแตกต่างกันที่ชนิดของจุลินทรีย์ที่นำมาใช้ในกระบวนการหมัก

พลาสติกชีวภาพที่ผลิตจากแป้งโดยตรงจะมีขีดจำกัด เพราะจะเกิดการพองตัวและเสียรูปร่างเมื่อได้รับความชื้น จึงได้มีการใช้เชื้อจุลินทรีย์เข้าไปย่อยสลายแป้ง แล้วเปลี่ยนแป้งให้กลายเป็นมอนอเมอร์ (Monomer) ที่เรียกว่ากรดแลคติก (Lactic acid) จากนั้นนำไปผ่านกระบวนการพอลิเมอไรเซชั่น (Polymerization) ทำให้กรดแลคติกเชื่อมกันเป็นสายยาวที่เรียกว่า พอลิเมอร์ (Polymer)

2.1.1 การจำแนกประเภทของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพสามารถแบ่งได้ตามลักษณะของแหล่งวัตถุดิบได้ 2 ชนิดดังนี้

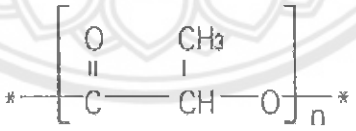
2.1.1.1 แหล่งธรรมชาติ (Biological Source) คือ วัตถุดิบที่มาจากธรรมชาติ ซึ่งสามารถหาหรือปลูกทดแทนได้ (Renewable Source) โดยตัวอย่างพลาสติกที่ใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติได้แก่ พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic Acid : PLA) พอลิบิวธิลีนซัคซิเนต (Polybutylene Succinate : PBS) และพอลิไฮดรอกซีอัลคาโนเอต (Polyhydroxy alkanoates : PHAs)

2.1.1.2 แหล่งปิโตรเลียม (Petroleum-Source) คือ วัตถุดิบที่มาจากน้ำมันดิบหรือแก๊สธรรมชาติ โดยที่พลาสติกในกลุ่มนี้ได้แก่ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly (vinyl alcohol) : PVA) หรือพอลิคาร์โปแลคโทน (Polycaprolactone : PCL)

พลาสติกชีวภาพที่ใช้กันมากที่สุดในปัจจุบันคือ พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic Acid : PLA) ซึ่งได้จากพืชผลทางการเกษตรที่หาได้ง่าย เช่น มันสำปะหลัง และข้าวโพด พอลิแลคติกแอซิด มีสมบัติพิเศษคือ มีความใส ไม่ย่อยสลายในสภาพแวดล้อมทั่วไป แต่สามารถย่อยสลายได้เองเมื่อนำไปฝังกลบในดิน จึงสามารถนำไปใช้เป็นแผงวงจรไฟฟ้าเพื่อช่วยลดต้นทุนในการผลิต และผลิตผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ถุงพลาสติก ถ้วย จาน ช้อน ส้อม เป็นต้น (ธนาวดี, 2549)

2.2 พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic Acid : PLA)

พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic Acid หรือ Polylactide) เป็นพอลิเมอร์ประเภทพอลิเอสเทอร์ ผลิตได้จากกรดแลคติก (Lactic acid) ซึ่งเป็นสารที่ได้จากการหมัก ผลผลิตทางการเกษตร ที่มีแป้งและน้ำตาลเป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งวัตถุดิบในการผลิต คือ ข้าวโพด และมันสำปะหลัง เป็นต้น กระบวนการผลิตเริ่มต้นจากการบดหรือโม่พืชนั้นให้ละเอียดเป็นแป้ง จากนั้นทำการย่อยแป้งให้ได้เป็นน้ำตาล และนำไปหมักด้วยจุลินทรีย์จนเกิดเป็น กรดแลคติกแอซิด (Lactic acid) แล้วนำมาผ่านกระบวนการทางเคมีเพื่อเปลี่ยนโครงสร้างให้เป็นสารใหม่ที่มีโครงสร้างทางเคมีเป็นวงแหวนเรียกว่า แลคไตด์ (Lactide) หลังจากนั้นนำมากลั่นในระบบสูญญากาศ เพื่อเปลี่ยนโครงสร้างให้เป็นสารใหม่ที่มีโครงสร้างเป็นพอลิเมอร์ของ แลคไตด์ (Lactide) ที่เป็นสายยาวขึ้นเรียกว่า พอลิแลคติกแอซิด ซึ่ง พอลิแลคติกแอซิดมีโครงสร้างดังแสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างเคมีของพอลิแลคติกแอซิด
ที่มา: วารสาร PTT Group (2553)

2.2.1 สมบัติของพอลิแลคติกแอซิด

พอลิแลคติกแอซิด สามารถนำมาทดแทนพลาสติกเชิงพาณิชย์ เช่น พอลิพรอพิลีน พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลตได้ เนื่องจากมีสมบัติเชิงกลที่ใกล้เคียงกัน และสามารถปรับเปลี่ยนได้โดยการเปลี่ยนแปลงโมเลกุล โดยการขึ้นรูปสามารถทำได้ด้วยเทคนิคการขึ้นรูปเทอร์โมพลาสติกทั่วไป เช่น กระบวนการอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว กระบวนการฉีด เป็นต้น นอกจากนี้พอลิแลคติกแอซิดยังมี

ความใส มีสมบัติขวางกั้นดี เข้ากับเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตได้ดี และไม่มีพิษ แต่พอลิแลคติกแอซิดมีข้อด้อยในเรื่องของความเปราะ สมบัติของ PLA แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงสมบัติของ PLA

สมบัติ	พอลิแลดติคแอซิด	หน่วย
ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)	1.24	-
อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature : T_g)	56.7-57.9	℃
อุณหภูมิจุดหลอมเหลว (Melting point temperature : T_m)	140-152	℃
ความแข็งแรงดึง (Tensile Strength)	50	MPa
ร้อยละการดึงยืด (Elongation at break)	6	%
มอดุลัสความโค้งงอ (Flexular Modulus)	350-450	MPa

ที่มา: ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต Nature Works

2.3 เส้นใยธรรมชาติ (Natural fibers)

เส้นใยธรรมชาติ หมายถึง สิ่งที่มีลักษณะเป็นเส้นยาวเรียว องค์ประกอบของเซลล์ ส่วนใหญ่เป็นเซลลูโลส เกิดจากการรวมตัวของพอลิแซคคาไรด์ (Polysaccharide) ของกลูโคส (Glucose) ซึ่งโมเลกุลของเซลลูโลสเรียงตัวกันในผนังเซลล์ของพืชเป็นหน่วยเส้นใยขนาดเล็กมาก เกิดการเกาะจับตัวกันเป็นเส้นใยขึ้น

เส้นใยจากธรรมชาติ ได้แก่ เส้นใยที่มีอยู่ในธรรมชาติ เช่น เส้นใยจากพืช ได้แก่ เส้นใยจากเซลลูโลส เป็นเส้นใยที่ประกอบด้วยเซลลูโลส ซึ่งได้จากส่วนต่างๆ ของพืช ได้แก่ ป่าน ปอ ลินิน ใยสับปะรด ใยมะพร้าว ฝ้าย นุ่น ศรนารายณ์ เป็นต้น เซลลูโลส เป็น โฮโมพอลิเมอร์ ประกอบด้วยโมเลกุลของกลูโคสจำนวนมาก มีโครงสร้างเป็นกิ่งก้านสาขา เส้นใยจากสัตว์ ได้แก่ เส้นใยโปรตีน เช่น ขนสัตว์ (Wool) ไหม (Silk) ผม (Hair) เล็บ เขา ใยไหม เป็นต้น เส้นใยเหล่านี้ มีสมบัติคือ เมื่อเปียกน้ำความเหนียว และความแข็งแรงจะลดลงถ้าสัมผัสแสงแดดนานๆ จะสลายตัว เส้นใยจากสินแร่ ได้แก่ แร่ใยหิน (Asbestos) ทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมี ทนไฟ ไม่นำไฟฟ้า

การนำเอาเส้นใยธรรมชาติแต่ละชนิดมาเสริมแรงในวัสดุเชิงประกอบนั้น มีปัจจัยสำคัญคือ ราคาต้นทุนที่ต่ำ และทำให้ได้ชิ้นส่วนหรือผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักเบา นอกจากนี้ข้อดีอื่นๆ ของการใช้เส้นใยธรรมชาติคือ แหล่งวัตถุดิบสามารถสร้างขึ้นใหม่ได้ (Renewable resource) ผลิตภัณฑ์ที่เตรียมได้สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ซึ่งช่วยปัญหาเรื่องขยะหลังจากที่ไม่ใช้งานแล้ว เส้นใยธรรมชาติมีอัตราส่วนยาวต่อกว้าง (Aspect ratio) ที่ต่ำ ทำให้ไม่นิยมนำมาปรับปรุงสมบัติเชิงกล แต่เส้นใย

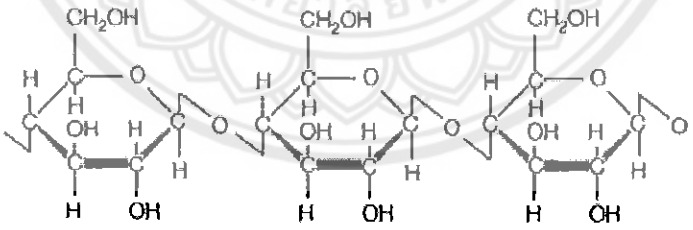
ธรรมชาติบางชนิด เช่น ปอ กลับมีค่ามอดุลัสสูงกว่าเส้นใยแก้ว ซึ่งส่งผลให้วัสดุเชิงประกอบมีค่าความแข็งแรงดึงและความต้านทานแรงกระแทกที่สูง

เส้นใยมีทั้งชนิดสั้น และยาว ซึ่งมีผลต่อสมบัติ และการนำไปใช้งานของผลิตภัณฑ์ เส้นใยสั้น (Staple Fibers) เป็นกลุ่มเส้นใยธรรมชาติทั้งหมดยกเว้นเส้นใยไหม เช่น ฝ้าย นุ่น ที่มีความยาวโดยปกติอยู่ในช่วงระหว่าง 5-500 มิลลิเมตร ส่วนเส้นใยยาว (Filament Fibers) เป็นเส้นใยที่มีความยาวต่อเนื่องอันเกิดจากวิธีการผลิต

2.3.1 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย

องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของเส้นใยพืชจะประกอบไปด้วย คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ออกซิเจน (O) นอกจากนี้ยังมี ไนโตรเจน (N) แคลเซียม (Ca) และแมกนีเซียม (Mg) ซึ่งมีโครงสร้างประกอบไปด้วย

2.3.1.1 เซลลูโลส (Cellulose) ประกอบไปด้วยโมเลกุลของกลูโคสมากมายต่อเชื่อมกันในผนังเซลล์ของพืชเกาะจับตัวกันจนเป็นเส้นใย เซลลูโลสมีส่วนประกอบทางเคมีพวกคาร์โบไฮเดรต มีโมเลกุลใหญ่ประกอบไปด้วยโมเลกุลของน้ำตาลเดี่ยวที่ได้สูญเสียน้ำไป 1 โมเลกุล มีโครงสร้างทางเคมี คือ ($C_6H_{10}O_5$) แสดงดังรูปที่ 2.2 โมเลกุลนี้จะเชื่อมต่อกันหลายๆ โมเลกุลจนเป็นเส้นใยที่ย่อยได้ยากกว่าส่วนอื่นๆ ของพืช เซลลูโลสมีสมบัติไม่ละลายในน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์หรือสารละลายด่างอ่อนๆ แต่ละลายในสารละลายกรด และด่างแก่ ในพืชมีเซลลูโลสประมาณร้อยละ 30-50 ของน้ำหนักแห้ง เซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลักของผนังเซลล์พืช และเป็นวัตถุดิบที่มีความสำคัญทางอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมผลิตกระดาษและสิ่งทอ

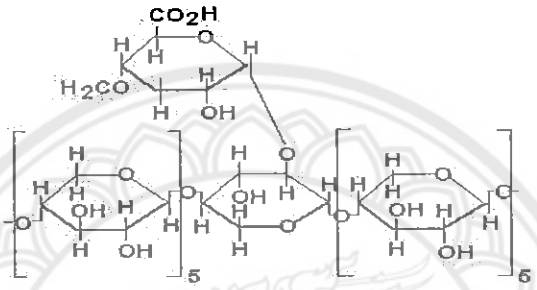


รูปที่ 2.2 สูตรโครงสร้างเคมีของเซลลูโลส
ที่มา: สุรชัย (2554)

เซลลูโลส มีโมเลกุลที่จัดเรียงกันเป็นมัดๆ หรือเรียกว่า ไฟบริล (Fibrill) ในแต่ละมัดของโมเลกุลเซลลูโลสจะพบว่ามีการจัดเรียงตัวกัน 2 แบบคือ แบบที่เป็นกระจุกที่อัดแน่น (Crystalloid) และแบบที่อยู่รวมกันแบบหลวมๆ (Amorphous หรือเรียกว่า Fringe micelle) แบบที่เป็นกระจุกจะถูกย่อยสลายได้ยากกว่าเซลลูโลสทั่วๆ ไป ซึ่งจะส่งผลต่อการใช้สารเคมีที่จะทำ

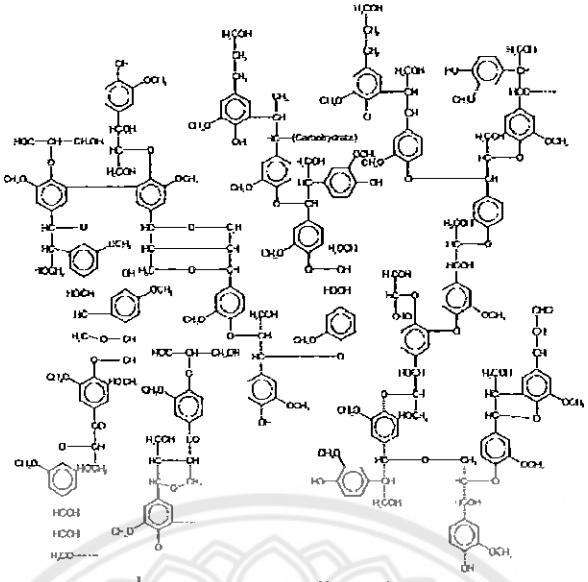
การย่อยสลายพืช หรือไม้ เพื่อให้เหลือเฉพาะเส้นใยเซลลูโลสที่บริสุทธิ์ และปริมาณเส้นใยที่ได้หลังการผลิต

2.3.1.2 เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) เป็นพอลิแซกคาไรด์ชนิดหนึ่งซึ่งคล้ายเซลลูโลสแต่ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหลายชนิด เช่น กลูโคส กาแลกโตส แมนโนส ไซโลส อะราบิโนส รวมทั้งกรดกลูคูโรนิก และกาแลกทูโรนิก เฮมิเซลลูโลสพบในเนื้อเยื่อของพืชโดยรวมอยู่กับสารอื่นๆ เช่น ลิกนิน เซลลูโลส เป็นโครงสร้างของผนังเซลล์ พบมากในแกลบ ซังข้าวโพด เฮกโซแซน สูตรโครงสร้างเคมีของเฮมิเซลลูโลส แสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 สูตรโครงสร้างเคมีของเฮมิเซลลูโลส
ที่มา: สุรชัย (2554)

2.3.1.3 ลิกนิน (Lignin) เป็นสารประกอบเชิงซ้อนมีน้ำหนักโมเลกุลสูง มักพบอยู่รวมกับเซลลูโลส ลิกนินเป็นสารที่ประกอบด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนรวมกันเป็นหน่วยย่อยหลายชนิดซึ่งเป็นสารอะโรมาติก ลิกนินไม่ละลายน้ำ ไม่มีสมบัติทางการยืดหยุ่น เพราะฉะนั้นจึงทำให้พืชที่มีลิกนินมากมีความแข็งแรงทนทาน เมื่อพืชตายลิกนินจะถูกย่อยด้วยเอนไซม์ลิกเนส (Lignase) หรือลิกนินเนส (Ligninase) ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่สำคัญในรา สูตรโครงสร้างเคมีของลิกนินแสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 สูตรโครงสร้างเคมีของลิกนิน

ที่มา: สุรชัย (2554)

งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้เส้นใย 2 ชนิดคือ ฟางข้าว และผักตบชวา มาเป็นส่วนเสริมแรงให้กับพลาสติกชีวภาพ ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร เป็นพืชที่มีอยู่เป็นจำนวนมาก และเป็นพืชที่ให้เส้นใยมาก ซึ่งการนำวัสดุเหล่านี้มาเป็นส่วนเสริมแรงให้กับพอลิแลคติกแอซิดนั้น ทำให้ได้วัสดุใหม่ เป็นการเพิ่มมูลค่าของวัสดุเหลือใช้ และช่วยลดปริมาณการใช้เส้นใยสังเคราะห์ให้น้อยลง และเป็นการลดมลภาวะ เนื่องจากเป็นวัสดุที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ โดยมีวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรดังนี้

2.3.2 ฟางข้าว (Rice Straw)

ข้าวเป็นพืชล้มลุก อยู่รวมเป็นกอมี 5-15 ต้น ลำต้นมีข้อชัดเจน ใบเดี่ยวออกสลับกันใบสีเขียว รูปร่างแบนยาวเรียว ปลายแหลมดอกขนาดเล็กออกเป็นช่อใหญ่ และยาว ขนาด และลักษณะรายละเอียดแตกต่างกัน ตามพันธุ์ของข้าวปลูกโดยใช้เมล็ด และปลูกได้ทั่วทุกภาคของประเทศไทย

2.3.2.1 ข้อมูลทางพฤษศาสตร์

ชื่อวิทยาศาสตร์	*Oryza sativa Linn*
ชื่อวงศ์	Poaceae
ชื่อสกุล	Oryza
ชื่อสามัญ	Rice plant
ชื่อไทย	ข้าวสาร ข้าวเจ้า

ฟางข้าวแสดงดังรูปที่ 2.5

รูปที่ 2.5 ฟางข้าว

ที่มา: กรมปศุสัตว์ (2552)

ฟางข้าวเป็นส่วนเหลือใช้จากการปลูกข้าว ซึ่งในประเทศไทยมีปริมาณผลผลิตอยู่ในระดับต้นๆ ของผลผลิตทางการเกษตรของประเทศ ความสูงของต้นข้าวขึ้นอยู่กับพันธุ์ และสิ่งแวดล้อม โดยเฉลี่ยข้าวพันธุ์พื้นเมืองของประเทศจะมีความสูงอยู่ในช่วง 120-160 เซนติเมตร มีปริมาณเยื่อใย (Crude Fiber) ร้อยละ 38.13 จากน้ำหนักแห้ง ลักษณะของลำต้นข้าวทำให้ฟางข้าวมีอัตราการย่อยสลายต่ำ ลักษณะเส้นใยของฟางข้าวมีความยาวประมาณ 0.7-3.5 มิลลิเมตร (เฉลี่ยประมาณ 1.5 มิลลิเมตร) มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5-15 ไมโครเมตร (เฉลี่ย 9 ไมโครเมตร) จากการวิเคราะห์องค์ประกอบฟางข้าว พบว่า ฟางข้าวประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และเถ้า แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีในฟางข้าว

องค์ประกอบ	สัดส่วน (ร้อยละ)
ลิกนิน	12.5
เซลลูโลส	38.13
เฮมิเซลลูโลส	24
เถ้า	17.5

ที่มา: กรมปศุสัตว์ (2552)

2.3.2.2 การใช้ประโยชน์จากฟางข้าว

ก. ใช้เป็นวัสดุการเกษตร เช่น ปุ๋ย ใช้ปรับปรุงดิน

ข. ใช้ทำกระดาษ

ค. ใช้ทำผลิตภัณฑ์เครื่องจักสาน

ง. ใช้ผลิตสารให้ความหวาน ไซลิทอล (Xylitol)

จ. ใช้ผลิตแอลกอฮอล์เพื่อเป็นพลังงานทดแทน

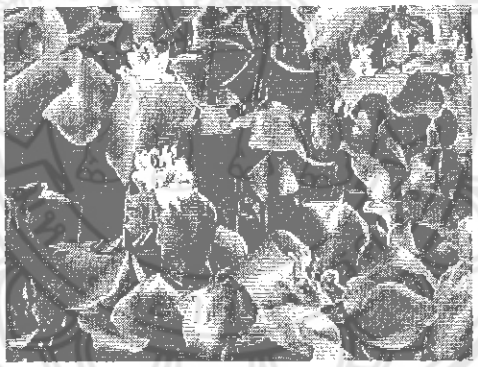
2.3.3 ผักตบชวา (Water Hyacinth)

ผักตบชวา (Water Hyacinth) เป็นพืชที่เจริญอยู่บนผิวน้ำ จัดเป็นประเภทลอยน้ำ (Floating plant) โดยปกติรากจะไม่ยึดติดกับพื้นดิน จึงถูกกระแสลมหรือน้ำพัดพาไปได้ไกลๆ แต่ถ้าน้ำตื้นแล้ว รากจะหยั่งยึดติดกับพื้นดินได้

2.3.3.1 ข้อมูลทางพฤษศาสตร์

ชื่อวิทยาศาสตร์	*Eichhornia crassipes (Mart.) Solms*
ชื่อวงศ์	Pontederiaceae
ชื่อสกุล	Eichhornia
ชื่อสามัญ	Water Hyacinth
ชื่อไทย	ผักตบชวา

ผักตบชวาแสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ผักตบชวา

ที่มา: วิชาการดอทคอม (2550)

ลักษณะทรงต้น ประกอบด้วยกลุ่มของใบเรียงกันเป็นกระจุก ในต้นหนึ่งๆ จะมีใบตั้งแต่สองใบขึ้นไป ที่โคนก้านใบจะมีกาบใบ (Sheath) ลักษณะเป็นเยื่อบางๆ สีขาวแกมเขียวอ่อนๆ แต่เมื่อมีอายุมากขนก็จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล บริเวณของกาบใบ เป็นสีน้ำตาลแกมม่วง จะเชื่อมติดต่อกันโดยมีไหล (Stolon) ซึ่งเป็นลำต้นที่ทอดไปตามผิวน้ำชวยในการขยายตัวของผักตบชวาให้เพิ่มขึ้น ต้นหนึ่งๆ ของผักตบชวาจะมีไหลแตกออกไปได้หลายอัน เมื่อไหลแตกออกไปแล้ว ก็จะเจริญขึ้นเป็นต้นใหม่ แต่ยังติดกับต้นเดิมอยู่ และเกิดเป็นกอขึ้น พร้อมทั้งมีรากเกิดขึ้น

ลักษณะรากของผักตบชวา เป็นแบบรากฝอย (Fibrous root) คือ มีรากย่อยๆเป็นกระจุก รากที่แทงออกจะมีลักษณะอวบสีขาว เมื่อมีอายุมากขึ้นจึงจะมีรากขนอ่อน

(Root hair) ที่มีสีน้ำตาลอ่อน และเมื่อแก่ รากขนอ่อนนจะเป็นสีน้ำตาลแก่จนถึงสีดำ ความยาวของรากจะแตกต่างกันไป บางเส้นก็ยาวเกือบถึง 1 เมตร

ต้นผักตบชวา 100 กิโลกรัม หลังจากตากให้แห้งจะมีน้ำหนักเหลือประมาณ 5 กิโลกรัม คิดเป็นน้ำหนักของกากแห้งเฉลี่ยร้อยละ 5 ของน้ำหนักทั้งหมด จากการวิเคราะห์องค์ประกอบผักตบชวา พบว่า ผักตบชวาประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน และแร่ธาตุอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบทางเคมีในผักตบชวาแห้ง

องค์ประกอบ	สัดส่วน (ร้อยละ)
ลิกนิน	12-13
เซลลูโลส	43-44
เพนแซน	14-15
เถ้า	20-21
คาร์บอน	32-35
ไฮโดรเจน	5.4-5.8
ไนโตรเจน	2.8-3.5
โซเดียม	1.5-2.5
โปแตสเซียม	2.0-3.5
แคลเซียม	0.6-1.3

ที่มา: ปิยวรรณ และพัชรินทร์ (2540)

2.3.2.2 การใช้ประโยชน์จากผักตบชวา

ก. ใช้ทำผลิตภัณฑ์เครื่องจักสาน

ข. ใช้ทำกระดาษ

ค. ใช้เป็นวัสดุการเกษตร

2.4 การปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใย

ในกระบวนการอุตสาหกรรมเมื่อสารตัวเติม หรือเส้นใยอนินทรีย์ถูกทำให้กระจายตัวอยู่ในเนื้อพื้นพอลิเมอร์ที่เป็นสารอินทรีย์ทำให้รอยต่อระหว่างผิว (Interphase) ไม่แข็งแรง เนื่องจากความแตกต่างของมอดุลัส สัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อน ความมีขั้ว การดึงดูดทางเคมี และความว่องไวทางเคมี จึงทำให้เกิดปัญหาในทางปฏิบัติมากมาย เช่น การกระจายตัว (Dispersion) ของสารตัวเติมที่เป็นของแข็งในเนื้อพื้นทำได้ยาก ทำให้อัตราการกระจายตัวช้าลง และลดการกระจายตัวที่สมดุล จึงมีผลต่อสมบัติของผลิตภัณฑ์สุดท้าย ความแข็งแรง (Strength) ลดลง เนื่องจากความอ่อนแอตรงผิวรอยต่อ ความชื้น (Humidity) ส่งผลให้เกิดความแตกต่างระหว่างการขยายตัว และการ

หดตัวของ 2 วัฏภาค เกิดความไม่เหมาะสมตรงผิวรอยต่อในช่วงที่มีความชื้น โดยความชื้นจะเข้ามาตามรอยต่อทำให้เกิดความอ่อนแอ และความแข็งแรงหมดไปในที่สุด

สารคู่ควบ จะทำให้ความแข็งแรงระหว่างพันธะของเส้นใย และเนื้อพื้นดีขึ้น โดยการเชื่อมประสานของผิวสัมผัสระหว่างเส้นใย และเนื้อพื้น และลดจำนวนรูพรุนในวัสดุ

ประสิทธิภาพของการยึดเกาะระหว่างพื้นผิวเส้นใย และเนื้อพื้นนั้นเป็นส่วนสำคัญที่จะชี้บอกความสามารถในการนำวัสดุเชิงประกอบไปประยุกต์ใช้งาน เพื่อให้มีความหลากหลาย ดังนั้นการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยก่อนนำมาผลิตวัสดุเชิงประกอบ เพื่อเพิ่มการยึดเกาะระหว่างเส้นใย และเนื้อพื้นจึงเป็นที่นิยมกันในปัจจุบัน วิธีการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยมีหลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีให้ประสิทธิภาพการยึดเกาะที่แตกต่างกัน สามารถจำแนกได้ดังนี้ (เดือนพร, 2549)

2.4.1 วิธีทางกายภาพ (Physical methods)

การปรับปรุงพื้นผิวทางกายภาพทำได้หลายวิธี เช่น การดึงยืด (Stretching) การรีดกลิ้ง (Calendering) การปรับปรุงพื้นผิวโดยใช้ความร้อน (Thermo treatment) และการพันเส้นใย (Hybrid yarms) วิธีที่ระบุข้างต้นเหล่านี้จะไม่ทำให้องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยเปลี่ยนแปลงไปซึ่งจะมีผลต่อพันธะเชิงกลของเส้นใย และเนื้อพื้นของพอลิเมอร์

2.4.2 วิธีทางเคมี (Chemical methods)

เนื่องจากเส้นใยเซลลูโลสมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ในโครงสร้าง จึงทำให้เส้นใยเซลลูโลสมีสมบัติความมีขั้ว จึงเป็นเหตุให้ไม่สามารถเข้ากันได้ (Incompatibility) กับพอลิเมอร์ที่ไม่มีขั้ว หรือมีสมบัติไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) เช่น พอลิพรอพิลีน แต่ความสามารถในการเข้ากันได้ระหว่างพอลิเมอร์เนื้อพื้นกับเส้นใยสามารถปรับปรุงได้โดยการใช้สารคู่ควบ (Coupling Agents) ซึ่งสารคู่ควบจะเป็นตัวกลางเชื่อมวัสดุทั้งสอง

2.4.2.1 สารคู่ควบประเภทไซเลน (Silane Coupling Agents)

สารคู่ควบที่นิยมใช้มากที่สุดคือ สารคู่ควบไซเลน (Silane) โครงสร้างของสารคู่ควบไซเลนประกอบด้วยอะตอมซิลิกอน (Si) หมู่อัลคีลอีเทอร์ 3 หมู่ที่ต่อกับกลุ่มของอะตอมซิลิกอน และหมู่เคมี (Chemical group) จะต่อกับกลุ่มของอะตอมซิลิกอน และทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์ หรือพอลิเมอร์ที่สัมผัสกับหมู่ทางเคมี สารคู่ควบไซเลนนำไปใช้งานได้หลากหลาย เช่น ในพลาสติกเสริมแรง งานเคลือบผิว งานทาสี น้ำหมึก กาวยึดติด และยาง มีความว่องไวในการเข้าทำปฏิกิริยาได้ดี ประเภทสารคู่ควบไซเลนที่ใช้ในเชิงพาณิชย์แสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ประเภทสารคู่ควบไซเลนที่ใช้ในเชิงพาณิชย์

หมู่ฟังก์ชัน	โครงสร้างทางเคมี	ชื่อ
Vinyl Chloropropyl	$CH_2=CHSi(OCH_3)_3$ $Cl(CH_2)_3Si(OCH_3)_3$	Vinyltrimethoxysilane chloropropyltrimethoxysilane
epoxy	$O(CH_2)_3Si(OCH_3)_3$	3-glycidoxypropyltrimethixy silane
Methacrylate	$CH_2=C(CH_3)-COO(CH_2)_3Si(OCH_3)_3$	3-methacryloxypropyltrimethoxy silane
Primary amine diamine	$H_2N(CH_2)_3Si(OC_2H_3)_3$ $H_2N(CH_2)_2NH(CH_2)_3Si(OCH_3)_3$	3-aminopropyltriethoxy silane N-2-aminoethyl-3-aminopropyltrimethoxysilane
Mercapto	$HS(CH_2)_3Si(OCH_3)_3$	3-mercaptopropyltrimethoxy silane
Cationic styryl	$CH_2=CHC_6H_4CH_2NH(CH_2)_2NH(CH_2)_3Si(OCH_3)_3 \cdot HCl$	3-(N-styrylmethyl-2-amino-ethylamino)proltrimethoxy silanehydrochloride
Octyltriethoxy silane	$CH_3(CH_2)_7Si(OCH_2CH_3)_3$	N-Octyltriethoxysilane

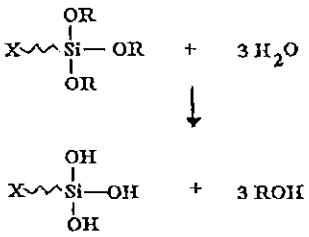
ที่มา: ปรีชา (2533)

2.4.2.2 กลไกการสร้างพันธะยึดเกาะของไซเลน

ไซเลนจะสร้างพันธะยึดจับระหว่างพื้นผิวของพวกสารอนินทรีย์ เช่น เส้นใยแก้ว และโลหะ เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถสร้างพันธะยึดจับระหว่างพื้นผิวของพวกอินทรีย์ เช่น เส้นใยธรรมชาติได้กับพวกที่เป็นสารอินทรีย์ เช่น พอลิเมอร์ต่างๆ สารเคลือบผิว และสารยึดติด นับเป็นการช่วยยึดจับกันระหว่างวัสดุสองชนิดที่มีความต่างกันเข้าด้วยกัน

กลไกการสร้างพันธะของไซเลนสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

ก. ปฏิกิริยาไฮโดรไลสิส (Hydrolysis)

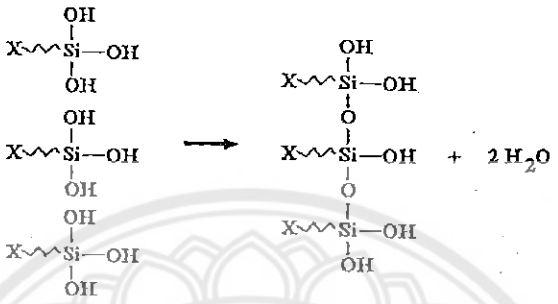


รูปที่ 2.7 ปฏิกิริยาไฮโดรไลสิสของไซเลน

ที่มา: ปรีชา (2533)

จากรูปที่ 2.7 X คือหมู่ฟังก์ชันที่เป็นพวกสารอินทรีย์และ OR คือ หมู่ฟังก์ชันที่สามารถทำปฏิกิริยากับน้ำได้ พบว่า ไซเลนถูกทำปฏิกิริยาไฮโดรไลสิสกับน้ำ ทำให้หมู่อัลคอกไซด์ (Alkoxide) หรือหมู่ OR ในไซเลนถูกเปลี่ยนเป็นหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) เรียกว่าไซลานอล (Silanol) เพื่อให้เกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างไซเลนกับเส้นใยธรรมชาติได้

ข. ปฏิกิริยาควบแน่น (Condensation)



รูปที่ 2.8 ปฏิกิริยาควบแน่นของไซลานอล
ที่มา: ปรีชา (2533)

ปฏิกิริยาควบแน่น แสดงดังรูปที่ 2.8 โดยเริ่มเกิดจากขั้นตอนแรกไซลานอลหลายๆ โมเลกุลจะเข้าทำปฏิกิริยาควบแน่น (Condensation) กันเอง ทำให้ได้สายโซ่โมเลกุลที่ยาวขึ้นเป็นพอลิไซลานอล (Polysilanol) และจะเข้าทำปฏิกิริยากับเส้นใยธรรมชาติในขั้นตอนต่อไป

ค. ขั้นตอนการปรับปรุงผิวเส้นใยธรรมชาติ (Surface modification)

ขั้นตอนการปรับปรุงผิวเส้นใยธรรมชาติ เป็นการนำพอลิไซลานอลที่ได้มาทำปฏิกิริยาทางเคมีกับเส้นใยธรรมชาติ โดยด้านที่มีหมู่ไฮดรอกซิลจะสร้างพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลเซลลูโลสในเส้นใยธรรมชาติ และเมื่อได้รับความร้อนโมเลกุลดังกล่าวจะปลดปล่อยน้ำออกมา และเกิดการสร้างพันธะโควาเลนต์ระหว่างเส้นใยธรรมชาติกับพอลิไซลานอลด้วยหมู่อีเทอร์ (Etherlingkage) และปลายสายโซ่โมเลกุลอีกข้างหนึ่งของไซเลน X จะจับกับพอลิเมอร์

2.4.2.3 ประโยชน์ของสารคู่ควบ

ก. ช่วยพัฒนาความแข็งแรงทางกายภาพ และทางเคมีระหว่างเส้นใยและเนื้อพื้น

ข. ป้องกันผิวสัมผัสจากความชื้น

ค. ป้องกันการเสียดสี และรอยแตกระหว่างกระบวนการผสม และผลิตวัสดุผสมสารคู่ควบ

2.5 ทฤษฎีการยึดเกาะ (Theories of Adhesion)

สมบัติเชิงกล และสมบัติทางกายภาพของวัสดุเชิงประกอบที่เสริมแรงด้วยเส้นใยไม่ได้ขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของเส้นใยในเนื้อพื้นเท่านั้น แต่ยังขึ้นกับลักษณะของผิวสัมผัสของเส้นใยกับเนื้อพื้นด้วย ในวัสดุเชิงประกอบเนื้อพื้นสามารถยึดเกาะกับเส้นใยได้หลายวิธี โดยกลไกการยึดเกาะหลักๆ แบ่งออกเป็น 5 กลไก ซึ่งอาจเกิดอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือเกิดร่วมกัน ดังนี้ (เดือนพร, 2549)

2.5.1 การดูดซับ และการเปียก (Adsorption and Wetting)

เมื่อพื้นผิวสองพื้นผิวที่ไม่มีประจุไฟฟ้าอยู่ใกล้กันมากพอ จะเกิด "แรงดูดเชิงกล" (Physical Attraction) เช่น การเปียก (Wetting) ของเหลวบนพื้นผิวของแข็ง ในกรณีของของแข็งสองชนิดอยู่ใกล้ชิดกันมากถึงระดับจุลภาค หรือระดับอะตอมความขรุขระของพื้นผิวจะเป็นสิ่งขัดขวางไม่ให้เกิดการยึดเกาะ หรือสัมผัสจะมีเพียงบางตำแหน่งเท่านั้นที่สามารถสัมผัสกันได้

ตามทฤษฎีแรงยึดเกาะนี้มีความแข็งแรงสูงแต่ในทางปฏิบัติจะมีแรงเชิงกลนี้ต่ำเนื่องจาก

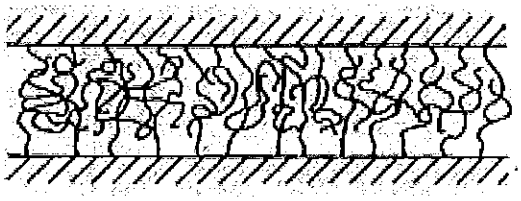
2.5.1.1 พื้นผิวเส้นใยมีความสกปรกเกิดเป็นชั้นของสิ่งสกปรกที่มีค่าพลังงานพื้นผิวอิสระ หรือแรงตึงผิวต่ำ

2.5.1.2 ในขั้นตอนการขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบ เกิดฟองอากาศของฟองก๊าซถูกขังอยู่บนพื้นผิวเส้นใยทำให้พื้นผิวสัมผัสน้อยลง

2.5.1.3 เกิดการหดตัวของเรซินเนื้อพื้นหลังการเชื่อมโยง ทำให้เกิดแรงเค้น และเกิดช่องว่างระหว่างเส้นใยกับเนื้อพื้น

2.5.2 การแพร่เข้าหากัน (Interdiffusion)

การยึดเกาะของพื้นผิวพอลิเมอร์สองชนิดสามารถเกิดได้ ถ้าโมเลกุลพอลิเมอร์ที่บริเวณพื้นผิวสัมผัสทั้งสองชนิดมีการแพร่ เข้าหาซึ่งกัน และกัน ดังรูปที่ 2.9 ความแข็งแรงของการยึดเกาะชนิดนี้จะขึ้นกับปริมาณการพันกันของสายโซ่โมเลกุล (Molecular entanglement) ว่ามีมาก หรือน้อย อีกทั้งขึ้นอยู่กับชนิด และจำนวนสายโซ่โมเลกุลที่เกิดการพันกัน เนื่องจากความสามารถในการแพร่ และการพันกันของสายโซ่ขึ้นอยู่กันความสามารถในการเคลื่อนที่ของสายโซ่โมเลกุล ดังนั้นการยึดเกาะแบบนี้สามารถเพิ่มได้โดยการใช้ตัวทำละลายทาที่พื้นผิว หรือการใช้สารเติมแต่งจำพวกพลาสติกไซเซอร์ ทำให้สายโซ่โมเลกุลพอลิเมอร์สามารถเคลื่อนที่ได้ง่าย กลไกการยึดเกาะแบบนี้สามารถเกิดกับเส้นใยที่มีการเคลือบพอลิเมอร์เพื่อปรับปรุงพื้นผิวก่อนการผสมกับเนื้อพื้น แต่ไม่เกิดในวัสดุเชิงประกอบที่มีพื้นผิวเส้นใยแข็ง ไม่มีการเคลื่อนที่ของสายโซ่โมเลกุล เช่น เส้นใยคาร์บอน เส้นใยแก้ว ฯลฯ



รูปที่ 2.9 การแพร่เข้าหากัน (Interdifffusion)
ที่มา: อิทธิพล (2544)

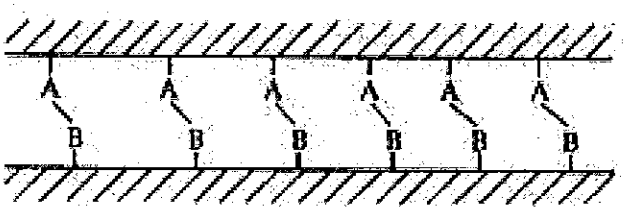
2.5.3 แรงดึงดูดประจุหรือไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Attraction)

แรงดึงดูดจะเกิดขึ้นเมื่อพื้นผิวสองชนิดที่มีประจุต่างกันมาอยู่ใกล้กัน นั่นคือถ้าพื้นผิวหนึ่งมีประจุรวมเป็นบวก (Net positive charge) และอีกพื้นผิวหนึ่งมีประจุรวมเป็นลบ (Net negative charge) ตัวอย่างเช่น อันตรกิริยาระหว่างกรด-เบส (Acid-base interactions) และพันธะไอออนิก (Ionic bonding) แสดงดังรูปที่ 2.10 ความแข็งแรงของกลไกการยึดเกาะชนิดนี้ขึ้นกับความหนาแน่นประจุ แรงดึงดูดระหว่างประจุหรือไฟฟ้าสถิต จะไม่ใช่แรงยึดเกาะหลักระหว่างเส้นใยกับเนื้อพื้นในวัสดุเชิงประกอบ แต่แรงดึงดูดชนิดนี้มีส่วนร่วมกับกลไกการยึดเกาะชนิดอื่น ช่วยให้เกิดการยึดเกาะในวัสดุเชิงประกอบได้ดีขึ้น เช่น การยึดเกาะของสารประสานคู่ควบประเภทไซเลน ที่มีหมู่ฟังก์ชันเป็นประจุบวก มีการยึดติดที่ดีกับเส้นใยแก้วที่มีประจุลบของหมู่ไฮดรอกซี (-OH) บนพื้นผิว เป็นต้น

รูปที่ 2.10 แรงดึงดูดประจุหรือไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Attraction)
ที่มา: อิทธิพล (2544)

2.5.4 พันธะเคมี (Chemical Bonding)

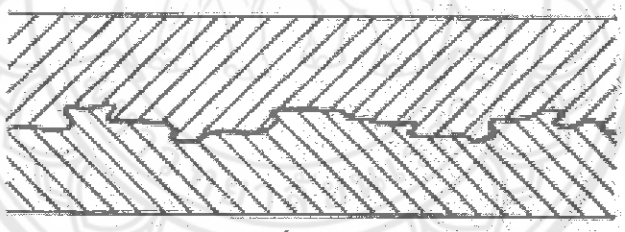
เป็นกลไกการยึดเกาะที่สำคัญที่สุดชนิดหนึ่ง เกิดขึ้นเมื่อเส้นใยมีหมู่ฟังก์ชันเคมีบนพื้นผิว และเนื้อพื้นมีหมูฟังก์ชันเคมีที่สามารถเกิดปฏิกิริยาเคมี เกิดเป็นพันธะเคมีได้แก่ พันธะโควาเลนต์เชื่อมระหว่างเส้นใย และเนื้อพื้น ซึ่งเป็นการยึดเกาะที่แข็งแรง ความแข็งแรงของกลไกการยึดเกาะชนิดนี้ขึ้นกับจำนวน และชนิดของพันธะที่เกิดขึ้น การเสียสภาพของวัสดุเชิงประกอบที่อินเตอร์เฟสจะเกี่ยวข้องกับการแตกหักของพันธะเคมีนี้ ตัวอย่างการยึดเกาะด้วยพันธะเคมีได้แก่ การเกิดพันธะโควาเลนต์ระหว่างสารคู่ควบ กับหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวเส้นใย และเนื้อพื้น เป็นต้น โดยกลไกการยึดเกาะแบบเกิดพันธะเคมี แสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 พันธะเคมี (Chemical Bonding)
ที่มา: อิทธิพล (2544)

2.5.5 การยึดเกาะเชิงกล (Mechanical Adhesion หรือ Mechanical Interlocking)

การยึดเกาะเชิงกลเกิดเมื่อในขบวนการขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบ เมื่อเรซินเนื้อพื้นเปียกบนพื้นผิวเส้นใยในขณะเป็นของไหลสามารถที่จะแทรกตัวไปตามพื้นผิวที่ขรุขระของเส้นใย รวมทั้งซอก และช่องว่างอื่น ๆ บนพื้นผิว เมื่อทำการเชื่อมโยงทำให้เกิดการแข็งตัวของเนื้อพื้น เป็นเหตุให้เนื้อพื้นถูกล็อคแข็งติดอยู่กับพื้นผิวของเส้นใย แสดงดังรูปที่ 2.12 ความแข็งแรงของการยึดเกาะชนิดนี้ขึ้นอยู่กับความขรุขระ ของพื้นผิวเส้นใยที่ทำให้เกิดการแทรกตัวของเรซิน รวมทั้งปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อความสามารถของเรซินในการเปียก และแทรกตัวในพื้นผิวเส้นใย เช่น ความหนืดของเรซินพื้นผิวเส้นใยที่เรียบจะเกิดการยึดเกาะเชิงกลน้อย หรือไม่เกิดเลย



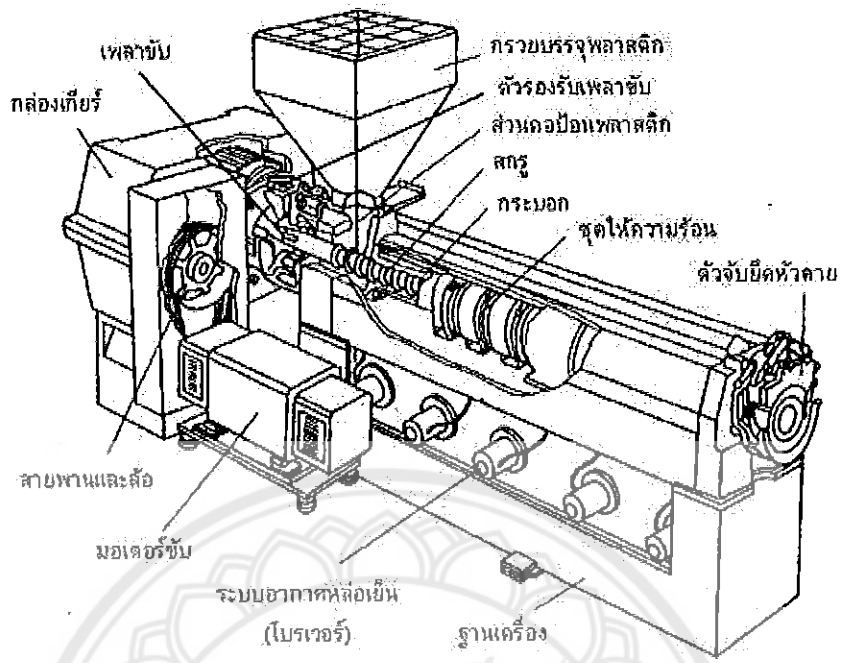
รูปที่ 2.12 การยึดเกาะเชิงกล (Mechanical Adhesion)
ที่มา: อิทธิพล (2544)

2.6 กระบวนการผลิต

เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection MoldingMachine) กระบวนการผลิตมีทั้งกระบวนการผสมวัตถุดิบ และกระบวนการขึ้นรูปวัตถุดิบ งานวิจัยนี้ได้ทำการผสมวัตถุดิบโดยใช้ เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single Screw Extruder Machine) และเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two roll mill Machine) จากนั้นทำการขึ้นรูปโดยใช้เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection Molding Machine)

2.6.1 เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single Screw Extruder Machine)

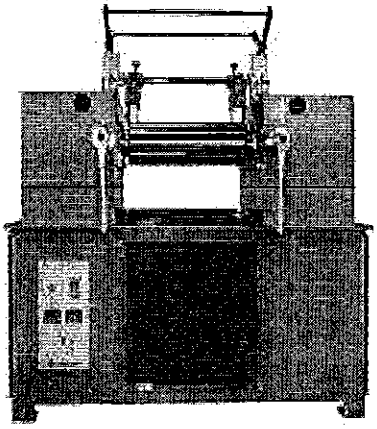
เป็นกระบวนการแปรรูปพลาสติกให้ได้รูปทรงตามที่ต้องการ โดยการอัดพลาสติกหลอมไหลผ่านหัวดาย (Die) ตามรูปร่างที่เหมาะสมโดยการแปรรูปพลาสติกแบบเอ็กซ์ทรูด (Extrusion Processes) จัดเป็นการแปรรูปแบบกระบวนการต่อเนื่อง (Continuous Process) และผลิตภัณฑ์ที่ได้ส่วนใหญ่จะเป็นผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูป ที่ต้องนำไปเข้ากระบวนการชนิดอื่น เพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย ก่อนจะนำไปใช้งานต่อไป ในกระบวนการเอ็กซ์ทรูดชั่น (Extrusion) จะใช้เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) ที่เป็นพลาสติกผงหรือเม็ดพลาสติกมาทำการหลอมให้เป็นเนื้อเดียวกัน แล้วผลักดันโดยการหมุนของสกรูให้พลาสติกที่หลอมไหลผ่านหัวดาย ที่มีรูปทรงตามลักษณะชิ้นงาน หรือผลิตภัณฑ์ที่ต้องการผลิต พลาสติกที่หลอมจะแข็งตัวเมื่อออกจากดาย เนื่องจากการหล่อเย็น ส่วนพลาสติกในกลุ่มเทอร์โมเซต (Thermoset) บางตัวก็สามารถที่จะเอ็กซ์ทรูดได้เช่นกัน แต่พอลิเมอร์ในกลุ่มนี้ จะเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงอันเนื่องมาจากความร้อนในขณะที่ทำการเอ็กซ์ทรูด นอกจากนี้การเอ็กซ์ทรูดสามารถที่จะใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกในรูปแบบต่างๆ เช่น ผลิตเส้นใย (Fiber) แผ่นพลาสติก (Sheet) ฟิล์มพลาสติก (Film) เป็นต้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเอ็กซ์ทรูดสามารถขึ้นรูปทรงต่างๆ ได้ และยังสามารถใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูด ในการใช้เป็นเครื่องผสมเพื่อเตรียมคอมปาวด์ (Compound) พลาสติก โดยการผสมพลาสติกกับสารเติมแต่ง (Additives) และสารตัวเติม (Fillet) ชนิดต่างๆ เข้าด้วยกันเพื่อเป็นการเตรียมพลาสติกที่ใช้สำหรับการแปรรูปด้วยวิธีการอื่นอีกต่อไป โดยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวแสดงดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single Screw Extruder Machine)
ที่มา: เจริญ (2542)

2.6.2 เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two Roll Mill Machine)

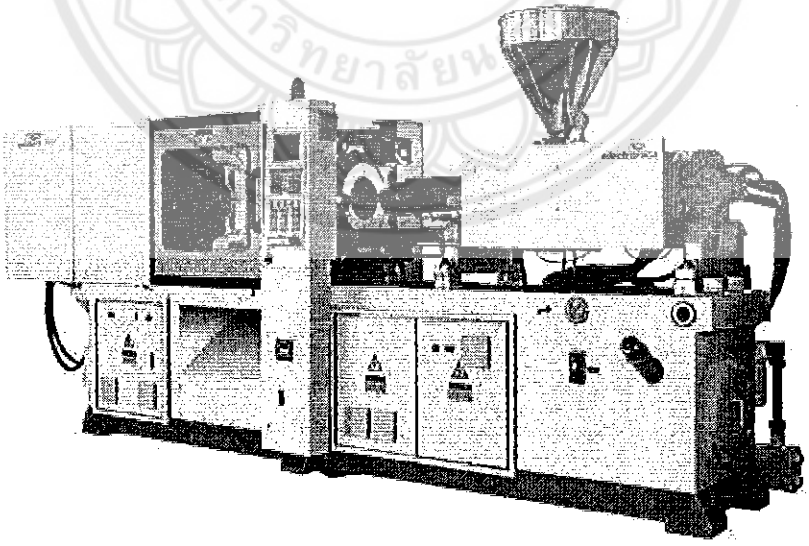
เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two Roll Mill Machine) เป็นเครื่องผสมที่ประกอบด้วยลูกกลิ้งสองลูกกลิ้งบีบอัด และบดให้โมเลกุลเกิดการขาด ทำให้ขนาดของโมเลกุลที่ใหญ่ และยาวลดลง ทำให้นิ่มลง และสามารถแปรรูปได้โดยสามารถนำสารเคมีผสมเข้าไปในเครื่องได้ เพื่อให้ได้สมบัติตามที่ต้องการ กระบวนการลดความหนืดจะใช้เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง เรียกว่า มาร์ติเคชั่น (Mastication) โดยความเร็วของผิวลูกกลิ้งทั้งสองจะต้องมีความเร็วที่ไม่เท่ากันโดยลูกกลิ้ง หน้าจะช้ากว่าลูกกลิ้งหลัง อัตราส่วนความเร็วผิวระหว่างลูกกลิ้งหน้ากับลูกกลิ้งหลังเรียกว่า อัตราส่วนแรงเสียดทาน (Friction ratio) อัตราส่วนแรงเสียดทานจะอยู่ในช่วง 1:1 ถึง 4:1 และจะขึ้นกับชนิดของพลาสติกที่ใช้บด ในระหว่างการบดออกซิเจนในบรรยากาศจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับสายโซ่โมเลกุลทำให้ขาดออกจากกันไม่ให้รวมตัวกันได้ และอุณหภูมิของ ลูกกลิ้ง ถ้าอุณหภูมิต่ำ จะแข็งไหลผ่านลูกกลิ้งได้ยากทำให้เกิดการฉีกขาดของสายโซ่โมเลกุลมากขึ้น และในทางกลับกัน ถ้าอุณหภูมิสูงจะถูกออกซิไดซ์ได้ง่ายทำให้นิ่มลงได้อย่างรวดเร็วเช่นกัน เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้งแสดงดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two Roll Mill Machine)
ที่มา: แคลเชิร์ฟ (2553)

2.6.3 เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection MoldingMachine)

เครื่องฉีดพลาสติก (Injection Molding) ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน คือ ชุดฉีด (Injection Unit) ชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์ (Clamping Unit) และฐานเครื่อง (Base Unit) เครื่องฉีดพลาสติกกระบวนการเริ่มจากเม็ดพลาสติกที่หลอมแล้วจะถูกฉีดเข้าแม่พิมพ์คงความดัน และอัดพลาสติกเข้าเต็มแม่พิมพ์และชิ้นงานจะถูกหล่อเย็นด้วยขณะฉีด แม่พิมพ์จะเปิดออก และปลดชิ้นงาน



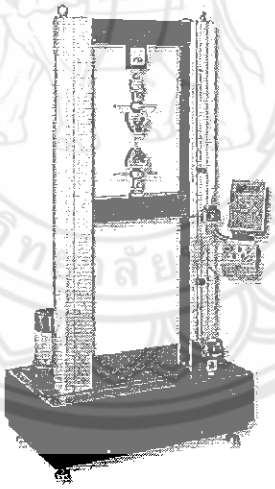
รูปที่ 2.15 เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection MoldingMachine)
ที่มา: สมเกียรติ (2553)

2.7 การทดสอบสมบัติของวัสดุ

โดยในการทดสอบสมบัติของวัสดุจะทำการศึกษา สมบัติเชิงกล การทดสอบย่อยสลายโดยวิธีฝังกลบ และสัณฐานวิทยา ของพอลิแลคติกผสมเส้นใยธรรมชาติ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.7.1 การทดสอบความแข็งแรงดึง

การทดสอบความแข็งแรงดึง คือ การวัดความทนทานของวัสดุที่ได้รับแรงคงที่หรือได้รับแรงอย่างช้าๆ บอกถึงความแข็งแรงของวัสดุเมื่อได้รับแรงดึงความแข็งแรงของการยืดเกาะ ทดสอบกับชิ้นงานลักษณะดัมเบลล์ ซึ่งค่าที่ได้จากการทดสอบจะนำไปคำนวณเพื่อกำหนดขนาด และรูปร่างของชิ้นงาน โดยทำการดึงชิ้นงานทดสอบจนขาดออกจากกัน ในขณะเดียวกันจะบันทึกแรงที่ใช้ในการดึงและระยะยืดของชิ้นทดสอบด้วยเครื่องบันทึก การทดสอบนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบความแข็งแรงของวัสดุเมื่อได้รับแรงดึง ถ้าทำการดึงชิ้นงานที่มีสมบัติแข็งเปราะอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งวัสดุเกิดการแตกหัก ผลจากการวัดแรงที่มากระทำต่อวัสดุ ณ ตำแหน่งที่เกิดการแตกหักเรียกว่า ความเค้นสูงสุดเนื่องจากแรงดึง (Ultimate Tensile Stress) หรือความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) เครื่องทดสอบความแข็งแรงดึงแสดงดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 เครื่องทดสอบความแข็งแรงดึง (Universal testing mechine)
ที่มา: แอสโทร (2552)

ความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์ สามารถทดสอบจากลักษณะการยืดออกของตัวอย่างเมื่อได้รับแรงดึงจากภายนอก โดยอาศัยเทอม 2 เทอมที่สัมพันธ์กันคือ ความเค้น (Stress : σ) และความเครียด (Strain : ε)

ความเค้น (σ) คือ แรงที่ใช้ในการดึงหรือยืดตัวอย่าง ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่หน้าตัด (หน่วยเป็นแรงต่อพื้นที่ , N/m^2 หรือ MPa)

ความเครียด (ε) คือ อัตราส่วนระหว่างความยาวที่เปลี่ยนไปของตัวอย่างเมื่อได้รับแรงดึงต่อความยาวเริ่มต้น

ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile Strength, σ) ดังสมการที่ 2.1

$$\sigma = \frac{F}{A} \tag{2.1}$$

เมื่อ σ = ความเค้นเนื่องจากการดึงชิ้นงานตัวอย่าง (หน่วยเป็นแรงต่อพื้นที่ : N/m^2 หรือ Pa)

F = แรงที่ใช้ในการดึงยืดชิ้นงานตัวอย่าง ณ จุดสูงสุด (หน่วยเป็นนิวตัน : N)

A = พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานตัวอย่าง (หน่วยเป็นตารางเมตร : m^2)

ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) ดังสมการที่ 2.2

$$\%\ \text{Elongation at break} = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100 \tag{2.2}$$

เมื่อ % Elongation at break = ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด

L = ความยาวเริ่มต้นของชิ้นทดสอบ (หน่วยเป็นมิลลิเมตร : mm)

L_0 = ความยาวชิ้นงานหลังการดึง (หน่วยเป็นมิลลิเมตร : mm)

ตามกฎของฮุค (Hook's law) สำหรับวัสดุอุดมคติที่มีสมบัติยืดหยุ่น ความเค้นเป็นสัดส่วนกับความเครียด อัตราส่วนระหว่างความเค้น และความเครียดนี้เป็นค่าคงที่ เรียกว่า มอดูลัส (Modulus : E) สำหรับการให้ความเค้นใดๆ กับวัสดุที่มีค่ามอดูลัสต่ำ วัสดุนั้นจะแสดงค่าความเครียดหรือระยะยืด หรือการสูญเสียรูปร่างของชิ้นงานได้สูงกว่าวัสดุที่มีมอดูลัสสูง ดังนั้น มอดูลัสของวัสดุจึงหมายถึงความสามารถในการต้านทานต่อการสูญเสียรูปร่างของชิ้นงาน พลาสติก และอิลาสโตเมอร์ส่วนใหญ่จะประพฤติตัวตามแบบฮุคเกียน (Hookean's Behavior) เฉพาะเมื่อทำการทดสอบด้วยอัตราเร็วในการยืดตัวต่ำ บางครั้งเรียก มอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นว่า อิลาสติกมอดุลัส (Elastic Modulus) หรือมอดูลัสของยังส์ (Young's Modulus) การวัดมอดูลัสนี้ทำได้โดยการสร้างเส้นตรงสัมผัสกับช่วงต้นของเส้นโค้งความเค้น-ความเครียด จากนั้นคำนวณค่าความชันของเส้นสัมผัสดังสมการที่ 2.3

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

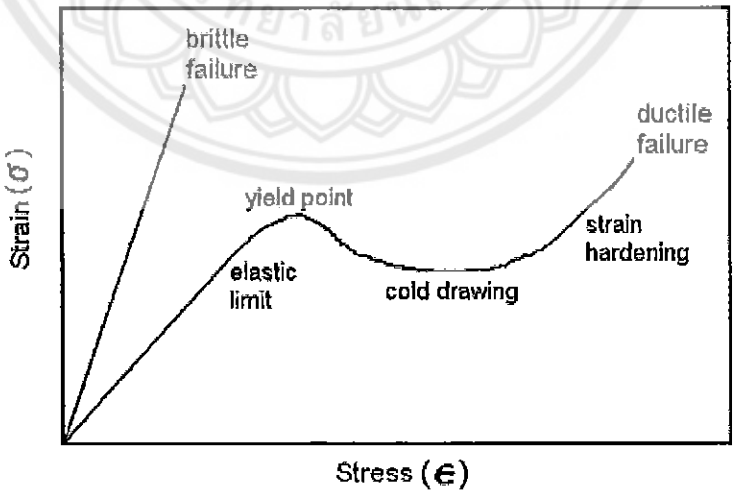
เมื่อ E = มอดุลัส (หน่วยเป็นแรงต่อพื้นที่ : N/m^2, MPa)

$\Delta\sigma$ = ความแตกต่างของความเค้นระหว่างสองตำแหน่งบนเส้นตรง (หน่วยเป็นแรงต่อพื้นที่ : N/m^2)

$\Delta\varepsilon$ = ความแตกต่างของความเครียดระหว่างสองตำแหน่งบนเส้นตรง

การเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับแรงดึงของพอลิเมอร์แต่ละชนิด ไม่ว่าจะเป็นเมอร์โมพลาสติก เทอร์โมเซต พอลิเมอร์ผสม วัสดุเชิงประกอบ และอิลาสโตเมอร์ จะแตกต่างกันตามลักษณะการจัดเรียงตัวของพอลิเมอร์ สมบัติด้านความเป็นผลึก และความแข็งแรงในการยึดติดกันระหว่างผิวสัมผัสของพอลิเมอร์แต่ละชนิดกับวัสดุ (Adhesive Strength of Interface) ซึ่งแสดงให้เห็นความแตกต่างจากกราฟความเค้น-ความเครียด

ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น และความเครียด จะใช้เส้นโค้งความเค้น-ความเครียด (Stress-Strain Curve) ซึ่งได้จากการทดสอบแรงดึง (Tensile Test) เป็นหลัก โดยจะพลอตค่าของความเค้นในแกนตั้งและความเครียดในแกนนอน โดยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น และความเครียดจะแสดงความสามารถในการรับแรงดึงของวัสดุ ความเปราะ เหนียวของวัสดุ (Brittleness and Ductility) และบางครั้งอาจใช้บอกความสามารถในการขึ้นรูปของวัสดุ (Formability) ได้อีกด้วย กราฟความเค้น-ความเครียด แสดงพฤติกรรมของวัสดุเมื่อได้รับแรงดึง แสดงดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 กราฟความเค้น-ความเครียด แสดงพฤติกรรมของวัสดุเมื่อได้รับแรงดึง

ที่มา: นิลุบล (2550)

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

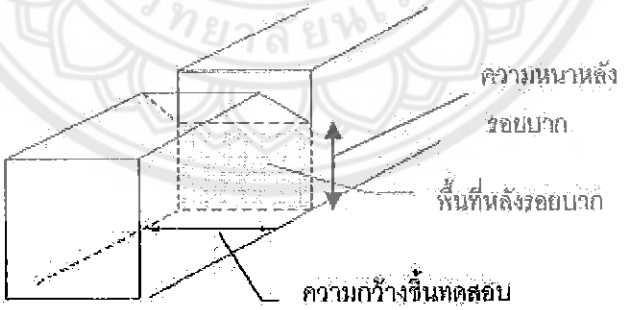
2.7.2 การทดสอบความแข็งแรงกระแทก

การทดสอบความแข็งแรงกระแทก (Impact test) ของวัสดุ เป็นการทดสอบเพื่อหาความสามารถในการรับแรงที่มากระทำกับวัสดุด้วยความรวดเร็ว (Dynamic load) ความสามารถในการรับแรงกระแทกของวัสดุ หมายถึง การที่วัสดุสามารถดูดกลืนหรือเก็บพลังงานกระแทกไว้ได้มากน้อยเพียงใด ถ้าวัสดุสามารถเก็บสะสมพลังงานต่อหน่วยปริมาตรตั้งแต่เริ่มต้นได้รับแรงกระแทกจนกระทั่งแตกหักไว้ได้สูง ก็หมายความว่าวัสดุนั้นมีทัฟเนสส์ (Toughness) สูง หรือมีความทนทานต่อการแตกหักสูงนั่นเอง

หลักการทดสอบแรงกระแทกจะใช้ค้อนเหวี่ยง (Pendulum) กระทบชิ้นงานทดสอบซึ่งทำเป็นขนาดมาตรฐานไว้ ซึ่งลักษณะการเหวี่ยงจะคล้ายลูกตุ้มนาฬิกา ซึ่งสามารถที่จะคำนวณปริมาณพลังงานที่ใช้กระแทกชิ้นทดสอบได้จาก ผลต่างของระดับสูงต่ำของลูกตุ้มเมื่อเริ่มแกว่งและหลังจากที่แกว่งไปกระแทกชิ้นงานทดสอบให้หัก โดยค่าที่อ่านได้จะเป็นพลังงานที่วัสดุดูดกลืนไว้ได้จนเกิดการแตกหัก มีหน่วยเป็นจูลล์ (Joule) จากนั้นคำนวณค่าความแข็งแรงกระแทก ดังสมการที่ 2.4

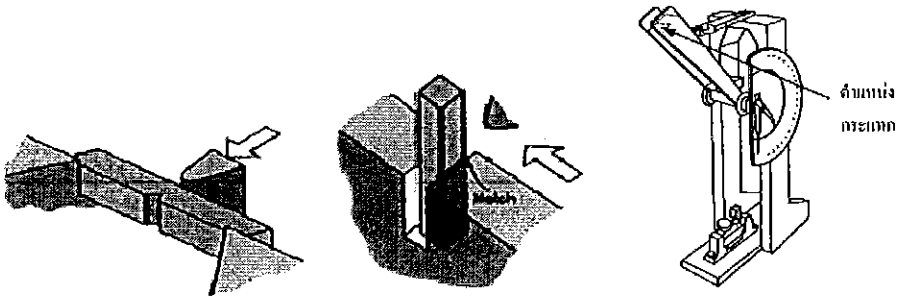
$$\text{ความแข็งแรงกระแทก (IS)} = W/A \qquad (2.4)$$

เมื่อ IS = ค่าความแข็งแรงกระแทก (หน่วยเป็นกิโลจูลต่อตารางเมตร : kJ/m^2)
W = ค่าพลังงานกระแทก (หน่วยเป็นกิโลจูลล์ : kJ)
A = พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่าง (ตารางเมตร : m^2)



รูปที่ 2.18 ชิ้นงานทดสอบแรงกระแทก
ที่มา: จิราวรรณ (2549)

1602 3022
ปร.
46459
2545



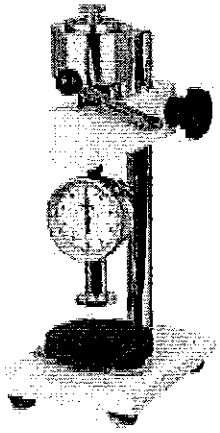
ก) ข) ค)

รูปที่ 2.19 การทดสอบความแข็งแรงกระแทก
ก) ชิ้นงานแบบชาร์ปี
ข) ชิ้นงานแบบไอซอด
ค) เครื่องทดสอบความแข็งแรงกระแทกแบบไอซอด
ที่มา: จิราวรรณ (2549)

การทดสอบความแข็งแรงกระแทกที่นิยมใช้มี 2 แบบคือ แบบชาร์ปี (Charpy test) และแบบไอซอด (Izod test) การทดสอบทั้งสองแบบนี้แตกต่างกันตรงลักษณะของการจับชิ้นงาน โดยการทดสอบแบบชาร์ปีจะจับชิ้นงานที่ปลายทั้งสองข้าง และให้รอยบากอยู่กึ่งกลาง โดยหันด้านหลังของรอยบากเข้าจุดกระทบของลูกตุ้ม ส่วนการทดสอบแบบไอซอด ชิ้นทดสอบจะถูกจับยึดที่ปลายเพียงด้านเดียว และปลายอีกด้านหนึ่งจะตั้งขึ้นและหันด้านหน้าของรอยบากเข้าจุดกระทบของลูกตุ้ม ชิ้นงานทดสอบ และวิธีการทดสอบแสดงดังรูปที่ 2.18 และ 2.19

2.7.3 การทดสอบความแข็ง

การทดสอบความแข็งพลาสติก วัดด้วยการทดสอบ Shore Durometer หรือการทดสอบความแข็งร็อคเวลล์ ความแข็ง Shore A หรือ D เป็นวิธีที่ นิยมใช้สำหรับยางอิลาสโตเมอร์และใช้กับพลาสติกอ่อน เช่น พอลิโอลิฟิน ฟลูออโรพอลิเมอร์และไวนิล Shore A ใช้สำหรับยางอ่อน ในขณะที่ Shore D ใช้สำหรับยางที่แข็งกว่า ความแข็ง Shore A คือ ค่าความแข็งสัมพัทธ์ของวัสดุยืดหยุ่น เช่น ยาง หรือพลาสติกอ่อน สามารถที่จะหาได้ด้วยเครื่องมือที่เรียกว่า Shore A Durometer เนื่องจากความยืดหยุ่นของยาง และพลาสติก การอ่านค่าจะเปลี่ยนแปลงตามเวลา ดังนั้น เวลาการกดบางครั้งจะถูกรายงานร่วมกับค่าความแข็ง เครื่องทดสอบความแข็งแบบ Shore Durometer แสดงดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 เครื่องทดสอบความแข็งแบบ Shore Durometer
ที่มา: อิโตคิน (2551)

2.7.4 การทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพโดยวิธีฝังกลบ

พลาสติกย่อยสลายได้ถูกพัฒนาให้มีความหลากหลายมากยิ่งขึ้นเช่น พอลิไฮดรอกซิลอัลคาโนเอท (Polyhydroxyalkanoates : PHAs) เป็นพอลิเอสเทอร์ที่สกัดได้จากเซลล์ของแบคทีเรียซึ่งเกิดในธรรมชาติจากกระบวนการใช้สารน้ำตาลของจุลินทรีย์ภายใต้สภาวะที่ควบคุม และพอลิแลคติกแอซิด ซึ่งผลิตโดยใช้วัตถุดิบที่ได้จากกระบวนการหมักน้ำตาล และแป้งโดยใช้เทคโนโลยีชีวภาพ นอกจากนี้ยังมีการนำแป้งซึ่งเป็นผลิตผลทางการเกษตรมาผ่านกระบวนการขึ้นรูปหรือนำมาผสมกับพลาสติกย่อยสลายได้ประเภทอื่นเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีประโยชน์การใช้งานตรงต่อความต้องการเพิ่มขึ้น ทำให้ผลิตได้ในราคาที่ถูกลง ทำให้มีการพัฒนาใช้งานในด้านอื่นๆ เช่น การเกษตร และบรรจุภัณฑ์ ตอบสนองความต้องการทั้งทางด้านเศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อมของผู้บริโภคที่มีเพิ่มขึ้นในปัจจุบัน

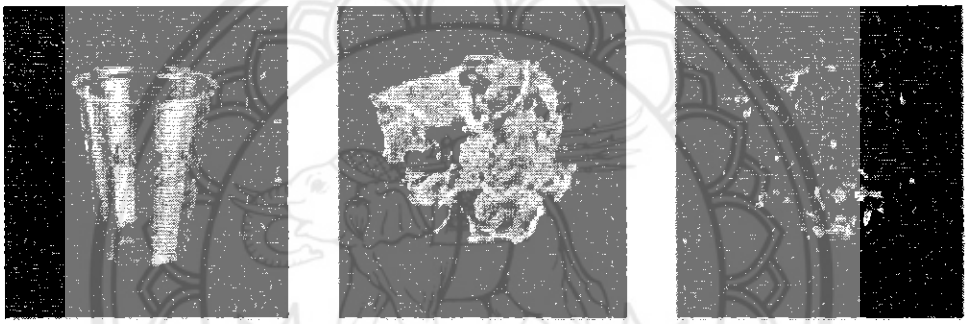
พลาสติกย่อยสลายได้แบ่งตามลักษณะของการย่อยสลายออกได้เป็น 4 ประเภท คือ

2.7.4.1 พลาสติกย่อสลายทางชีวภาพ (Biodegradable plastics) พลาสติกที่เกิดการย่อยสลายทางชีวภาพ อันเนื่องมาจากการทำงานของจุลินทรีย์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีในช่วงเวลาที่กำหนด และได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบขนาดเล็กที่พบทั่วไปในธรรมชาติ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ เป้าหมายที่สำคัญคือ พลาสติกต้องเกิดการย่อยสลายภายในสภาวะที่เหมาะสมในช่วงเวลาที่กำหนดอย่างสมบูรณ์ส่วนที่เหลือตกค้างต้องไม่มีความเป็นพิษหรือเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม

2.7.4.2 พลาสติกย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydro – biodegradable plastics) พลาสติกที่มีการย่อยสลาย 2 ขั้นตอนโดยผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสก่อนแล้วจึงเกิดการย่อยสลายทางชีวภาพ

2.7.4.3 พลาสติกย่อยสลายด้วยแสง (Photo – biodegradable plastics) พลาสติกที่มีการย่อยสลาย 2 ขั้นตอน โดยผ่านปฏิกิริยากับแสงก่อนแล้วจึงเกิดการย่อยสลายทางชีวภาพ

2.7.4.4 พลาสติกชนิดย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidative degradation plastics) พลาสติกที่สลายตัวจากการละลายในน้ำ และการแตกหักอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่น (Heat ageing) หรือแสงยูวี (UV ageing)

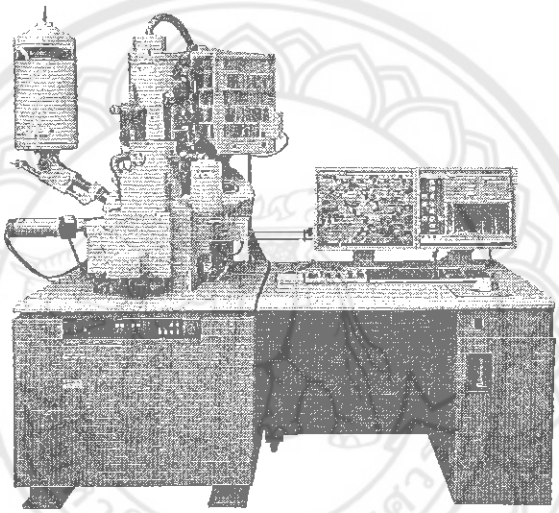


รูปที่ 2.21 การย่อยสลายของบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตจาก PLA
ที่มา: ธนาวดี (2551)

พอลิแลคติกแอซิดสามารถย่อยสลายได้ดีในโรงหมักขยะอินทรีย์ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสขึ้นไป แต่จะไม่ย่อยสลายทันทีที่อุณหภูมิต่ำกว่า เนื่องจากพอลิแลคติกแอซิดมีอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass-transition temperature : T_g) ใกล้เคียง 60 องศาเซลเซียส โดยขั้นตอนแรกพอลิแลคติกแอซิดจะถูกย่อยสลายไปเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้และกรดแลคติกโดยการไฮโดรไลซิสซึ่งจะเกิดขึ้นภายใน 2 สัปดาห์ สารประกอบ และกรดแลคติกที่ได้จะถูกย่อยต่อไปด้วยจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ โดยกระบวนการสร้าง และสลาย (Metabolisation) อย่างรวดเร็วไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และมวลชีวภาพ การย่อยสลายของบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตจากพอลิแลคติกแอซิดแสดงดังรูปที่ 2.21

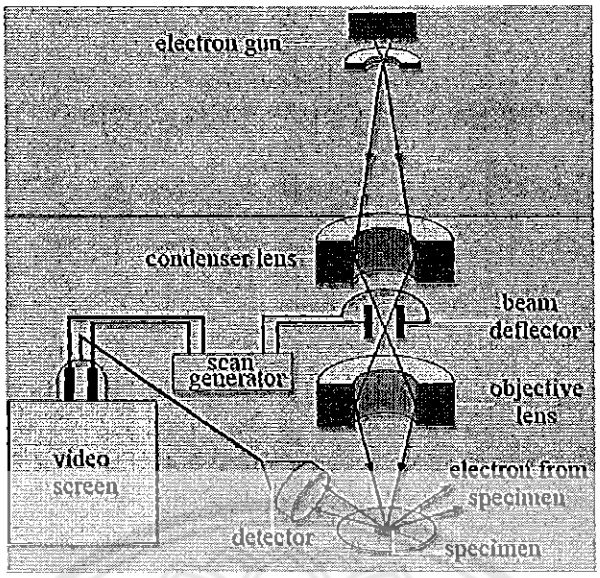
2.7.5 การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา

ทำการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ซึ่งการศึกษาสัณฐานวิทยา มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผิวหน้าของรอยแตกหัก (Fracture Surface) โดยลักษณะของรอยแตกหักสามารถบ่งบอกถึงรอยต่อระหว่างวัฏภาคของเนื้อพื้นกับเส้นใย ซึ่งอาจสังเกตได้จากการแตกหักของวัสดุ เช่น ถ้ารอยแตกหักของพื้นผิวชิ้นงานมีความราบเรียบ สามารถอธิบายได้ว่าพอลิเมอร์นั้นมีการแตกหักแบบเปราะคล้ายแก้ว แต่ถ้ารอยแตกหักของพื้นผิวของชิ้นงานมีลักษณะเป็นคลื่นไม่เรียบ หรือค่อนข้างขรุขระ สามารถอธิบายได้ว่าพอลิเมอร์นั้นมีการแตกหักแบบวัสดุเหนียว เนื่องจากมีการเหนี่ยวรั้งกันระหว่างเนื้อพื้นกับเส้นใยเพื่อต้านทานการแตกหัก กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM)
ที่มา: สถาบันนวัตกรรม และพัฒนากระบวนการเรียนรู้ (2552)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM) เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีกำลังขยายไม่สูงเท่ากับเครื่อง TEM การสร้างภาพทำได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่สะท้อนจากพื้นผิวหน้าของ ตัวอย่างที่ทำการสำรวจ ซึ่งภาพที่ได้จากเครื่อง SEM จะเป็นภาพลักษณะ 3 มิติ ดังนั้นเครื่อง SEM จึงถูกนำมาใช้ในการศึกษาสัณฐาน และรายละเอียดของลักษณะพื้นผิวของตัวอย่าง เช่น ลักษณะพื้นผิวด้านนอกของเนื้อเยื่อ และเซลล์ หน้าตัดของโลหะ และวัสดุ เป็นต้น



รูปที่ 2.23 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
ที่มา: สถาบันนวัตกรรม และพัฒนากระบวนการเรียนรู้ (2552)

หลักการทำงานของเครื่อง SEM จะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนซึ่งทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนเพื่อป้อนให้กับระบบ โดยกลุ่มอิเล็กตรอนที่ได้จากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า จากนั้นกลุ่มอิเล็กตรอนจะผ่านเลนส์รวบรวมรังสี (Condenser lens) เพื่อทำให้กลุ่มอิเล็กตรอนกลายเป็นลำอิเล็กตรอน ซึ่งสามารถปรับให้ขนาดของลำอิเล็กตรอนใหญ่ หรือเล็กได้ตามต้องการ หากต้องการภาพที่มีความคมชัดจะปรับให้ลำอิเล็กตรอนมีขนาดเล็ก หลังจากนั้นลำอิเล็กตรอนจะถูกปรับระยะโฟกัสโดยเลนส์ใกล้วัตถุ (Objective lens) ลงไปบนผิวชิ้นงานที่ต้องการศึกษา หลังจากลำอิเล็กตรอนถูกกราดลงบนชิ้นงานจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary electron) ขึ้นซึ่งสัญญาณจากอิเล็กตรอนทุติยภูมินี้จะถูกบันทึก และแปลงไปเป็นสัญญาณทางอิเล็กทรอกนิกส์ แล้ว ถูกนำไปสร้างเป็นภาพบนจอโทรทัศน์ต่อไป และสามารถบันทึกภาพจากหน้าจอโทรทัศน์ได้เลย

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดมีประโยชน์มากในการศึกษาเกี่ยวกับผิวหน้าของพอลิเมอร์ เนื่องจากมีกำลังขยายสูง และเป็นภาพสามมิติ การประยุกต์ใช้เทคนิคนี้มีหลากหลาย เช่น ศึกษาการพอง หรือการแตกออกของวัสดุที่ใช้เคลือบผิว การแยกเฟสในพอลิเมอร์ผสม และลักษณะการแตกของผิวหน้าระหว่างวัสดุ และสารที่ใช้ยึดติด เป็นต้น

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุรชัย และธนากร (2539) ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเส้นใยผักตบชวามาใช้ให้เกิดประโยชน์ในการปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของเทอร์โมพลาสติก ชนิดพอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นสูง HDPE เกรด N3260 โดยนำมาทำให้แห้ง และบด เพื่อใช้เส้นใยผักตบชวานี้เป็นสารเสริมแรงในเทอร์โมพลาสติก โดยการทำการผสมด้วยเครื่องบดสองลูกกลิ้งแล้วนำมาขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดความร้อน ผลการทดสอบทางเชิงกลปรากฏว่า พลาสติกที่เติมเส้นใยผักตบชวาขนาดมากกว่า 0.16 มิลลิเมตร และขนาด 0.16 มิลลิเมตร ที่ปริมาณ 0.3, 0.6, 0.9 และ 1.2 กรัม ในร้อยกรัมของพลาสติกมีค่าความทนทานต่อแรงยืดดึง เปอร์เซ็นต์การยืดที่จุดขาด ค่าความทนทานต่อแรงกระแทกลดลง แต่ค่ามอดูลัสที่จุดขาด ความแข็งสูงขึ้นและเมื่อเติม Ethylene Vinyl Acetate Copolymer (EVA grade N 8038) ลงไปช่วยในการจับยึดเส้นใยผักตบชวากับ HDPE พบว่า EVA ไม่ปรากฏผลที่เด่นชัดในการจับยึดเส้นใยผักตบชวากับพลาสติก HDPE ได้ EVA จึงไม่สามารถใช้เป็นสาร Coupling Agent ได้

จุฑามาส และมลีรัตน์ (2552) ศึกษาผลของชนิด และปริมาณเส้นใย จากกาบหมากแดง กาบกล้วยน้ำว้า ชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 และบวบเหลี่ยม ในอัตราส่วน 0.2, 0.50, 1 และ 2 % ของน้ำหนักเส้นใย ที่มีผลต่อสมบัติการรับแรงดึง ความต้านทานต่อแรงกระแทก ความแข็ง และการดูดซับน้ำของคอมโพสิตชีวภาพที่มีพลาสติกชีวภาพ PLA เป็นวัสดุเนื้อหลัก จากการทดลองพบว่า กาบกล้วยน้ำว้า ชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 และบวบเหลี่ยม ทำให้สมบัติการรับแรงดึง และความต้านทานต่อแรงกระแทกมีค่าลดลง ส่วนสมบัติความแข็งมีค่าเพิ่มมากขึ้น ที่มากที่สุด คือ เส้นใยจากชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 ที่ปริมาณเส้นใย 2 % ของน้ำหนัก PLA และสมบัติการดูดซับน้ำ มีค่ามากขึ้น ที่มากที่สุด คือ เส้นใยจากกาบหมากแดงที่ปริมาณเส้นใย 2% ของน้ำหนัก PLA เมื่อเปรียบเทียบกับพลาสติกชีวภาพบริสุทธิ์

มงคล และสมภพ (2553) ศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิแลคติกแอซิดบริสุทธิ์ และพอลิแลคติกแอซิดที่เสริมแรงด้วยเส้นใยจากกาบกล้วยน้ำว้า และชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 โดยใช้สารคู่ควบที่ปริมาณร้อยละ 0, 5, 10 และ 20 ของน้ำหนักของเส้นใย พบว่า การใช้เส้นใยจากกาบกล้วยน้ำว้า และเส้นใยจากชานอ้อยในการเสริมแรงให้สมบัติเชิงกลโดยรวมไม่แตกต่างกันมาก พอลิแลคติกแอซิดที่เสริมแรงด้วยเส้นใยธรรมชาติให้สมบัติเชิงกลที่สูงกว่าพอลิแลคติกแอซิดบริสุทธิ์ เมื่อเพิ่มปริมาณสารคู่ควบทำให้สมบัติการรับแรงดึง และสมบัติความต้านทานแรงกระแทกมีค่าเพิ่มสูงขึ้น โดยการเติมสารคู่ควบที่ปริมาณร้อยละ 20 ของน้ำหนักของเส้นใยให้สมบัติเชิงกลสูงสุด ส่วนสมบัติความแข็งมีค่าโดยประมาณไม่เปลี่ยนแปลง การทดสอบสมบัติเชิงกลหลังการบ่มด้วยความร้อนพบว่า สมบัติการรับแรงกระแทกเพิ่มขึ้น สมบัติความแข็ง และสมบัติการรับแรงดึงลดลง

ดวงแข (2554) ศึกษาการเตรียมเม็ดคอมพาวด์วัสดุผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกกับเส้นใยธรรมชาติ เช่น หญ้าแฝก เถ้าแกลบ ขี้เลื่อย ผักตบชวา ต้นกก ชานอ้อย กากกะทิ มาเป็นส่วนเสริมแรงในพลาสติก โดยศึกษาปัจจัยต่างๆ เช่น ชนิดของพอลิเมอร์ ปริมาณ และขนาดของเส้นใย ผลการศึกษาเชิงการทดลองของพฤติกรรมทางกลจากพบว่าสภาวะที่เหมาะสม คือ ปริมาณเส้นใยโดย

น้ำหนัก ร้อยละ 40-50 ความยาว 180-300 ไมครอน อุณหภูมิในการหลอม 170-190 องศาเซลเซียส จะให้สมบัติเชิงกลที่ดี นอกจากนั้น ความแข็งแรงดึง มอดุลัส ความแข็งกดเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใย ส่วนค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาด และความแข็งแรงกระแทกมีค่าลดลง สมบัติพื้นฐานภายใต้การอัด การเฉือน และการดัดโค้งได้ค่าที่ใกล้เคียงกับไม้ นอกนั้นยังมีสมบัติเด่นเมื่อเปรียบเทียบกับไม้ทั่วไป คือ น้ำหนักเบา ทนทานต่อสภาวะแวดล้อม มอด-แมลง และสารเคมี

อโณทัย (2548) ศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเอททิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้งานมาแล้วกับขี้เลื่อยไม้ยางพาราที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 18 และ 40 โดยใช้เทคนิคการผสมแบบสองลูกกลิ้งที่อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนักของพอลิเอททิลีนชนิดความหนาแน่นสูงต่อขี้เลื่อยไม้ยางพารา เท่ากับ 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ผลการวิจัยพบว่า ค่าของการรับแรงดึงมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ปริมาณสารคู่ควบไซเลนที่เพิ่มขึ้น ที่ปริมาณสารคู่ควบไซเลนเท่าๆ กัน ส่วนผสมของพอลิเอททิลีนที่มากกว่า จะให้ค่าของการรับแรงดึงที่มากขึ้นเช่นกัน ค่าของการทนแรงกระแทกเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณของสารคู่ควบไซเลนเพิ่มขึ้น แต่เมื่อใช้สารคู่ควบไซเลนในปริมาณที่เท่ากันแล้ว ปริมาณของพอลิเอททิลีน ไม่มีผลมากนักต่อค่าของการทนต่อแรงกระแทก

K. Oksman และคณะ (2003) ศึกษาเกี่ยวกับ พอลิแลคติกแอซิดเสริมแรงด้วยเส้นใยปอ และพอลิพรอพิลีนผสมเส้นใยปอ ซึ่งเมื่อผสมเส้นใยธรรมชาติแล้วจะช่วยให้สมบัติเชิงกลมีแนวโน้มดีขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยปอ กับพอลิพรอพิลีนผสมเส้นใยปอ พบว่าความแข็งของพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยปอมีความแข็งแรงมากขึ้น 50% เมื่อเทียบกับ พอลิพรอพิลีนผสมเส้นใยปอ เมื่อนำไปทดสอบทางสัณฐานวิทยาพบว่าพอลิแลคติกแอซิดที่ผสมเส้นใยธรรมชาติมีการยึดเกาะระหว่างเส้นใยกับเนื้อพื้นได้ดี

Davis (2003) ได้ทำการศึกษาการแสดงลักษณะเฉพาะของถุงพอลิเมอร์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ โดยการสนับสนุนของรัฐบาลอังกฤษในการลดปริมาณขยะที่เกิดจากถุงพอลิเมอร์ที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ โดยการศึกษาเปรียบเทียบลักษณะเฉพาะของพอลิเอททิลีน (Polyethylene) และถุงที่ทำมาจากแป้ง (Starch - Base Sacks) โดยการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่งกราด (SEM) วิเคราะห์ทางเคมี และทดสอบความแข็งแรงทางกลของถุงทั้งสองชนิดจากการวิเคราะห์ถุงทั้งสองชนิดที่ยังไม่ผ่านการใช้งานพบว่า ถุงพอลิเอททิลีนมีพื้นผิวที่ราบเรียบกว่าถุงที่ทำมาจากแป้ง และถุงพอลิเอททิลีนมีความแข็งแรงมากกว่าแต่ในส่วนของการย่อยสลายนั้น ถุงที่ทำมาจากแป้ง มีความสามารถในการย่อยสลายได้ดีกว่า จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการที่จะนำไปพัฒนา เพื่อเป็นการลดปริมาณขยะที่เกิดจากพอลิเมอร์ลงได้ต่อไป

บทที่ 3
วิธีดำเนินโครงงาน

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมบัติของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพลาสติกชีวภาพระหว่างพอลิแลคติกแอซิดร่วมกับเส้นใยธรรมชาติชนิดฟางข้าว และผักตบชวา จากนั้นมีการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยธรรมชาติโดยใช้สารคู่ควบไซเลน ชนิด A – 137 ที่ปริมาณร้อยละ 1 โดยน้ำหนักของเส้นใยธรรมชาติ เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพในการยึดเกาะระหว่างผิววัสดุทั้งสอง โดยทำการศึกษาสมบัติเชิงกล การย่อยสลายโดยการฝังกลบ และลักษณะทางสัณฐานวิทยา ของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้ จากนั้นจะนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ สรุปผล และเขียนปริญญานิพนธ์

3.1 สารเคมี และวัสดุที่ใช้ในโครงงาน

3.1.1 เส้นใยฟางข้าวขนาด 30-70 เมช

3.1.2 เส้นใยผักตบชวาขนาด 30-70 เมช

3.1.3 พลาสติกชีวภาพพอลิแลคติกแอซิด (Polylactic Acid, PLA) เกรด 2003D จาก®NatureWorks LLC ซึ่งมีสมบัติดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สมบัติของพอลิแลคติกแอซิด (Polylactic Acid, PLA) เกรด 2003D

สมบัติทางกายภาพ (Physical Properties)	ASTM	พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic Acid, PLA)	หน่วย
ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)	D792	1.24	-
อัตราการไหล (Melt Flow Rate) (210 °C / 2.16 kg)	D1238	5 - 7	g/10 min
ความแข็งแรงดึง (Tensile Strength)	D882	53	MPa
มอดูลัสแรงดึง (Tensile Modulus)	D882	3.5	GPa
ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (Elongation at break)	D882	6	%
ค่าความแข็งแรงกระแทก (Notched Izod Impact)	D256	12.81	J/m^2

ที่มา : ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต NatureWorks LLC

3.1.4 สารคู่ควบไซเลน ชนิด A – 137 (Octyltriethoxysilane) แสดงสูตรโครงสร้างทางเคมีดังรูปที่ 3.1 และสมบัติของสารคู่ควบไซเลนชนิด A – 137 แสดงดังตารางที่ 3.2

$$CH_3(CH_2)_7Si(OCH_2CH_3)_3$$

รูปที่ 3.1 สูตรโครงสร้างเคมีของสารคู่ควบไซเลน ชนิด A – 137

ตารางที่ 3.2 สมบัติของสารคู่ควบไซเลน ชนิด A – 137

สมบัติทางกายภาพ (Physical Properties)	ASTM	A - 137	**หน่วย**
ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity at 25°C)	D 93	0.879	-
จุดเดือด (Boiling Point at 760 mm Hg)	D 93	84	°C
จุดวาบไฟ (Flash point)	D 93	100	°C
น้ำหนักโมเลกุล (Molecular weight)	-	276.5	g/mol

ที่มา : ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในโครงงาน

3.2.1 เครื่องฉีดขึ้นรูปพลาสติก (Injection Molding Machine)

3.2.2 เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two Roll Mill Machine)

3.2.3 เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single Screw Extruder Machine)

3.2.4 เครื่องทดสอบความแข็งแรงดึง (Tensile Testing Machine)

3.2.5 เครื่องทดสอบความแข็งแรงกระแทก (Impact Tester Machine)

3.2.6 เครื่องทดสอบค่าความแข็งแบบชอร์ดี (Shore D Hardness Machine)

3.2.7 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

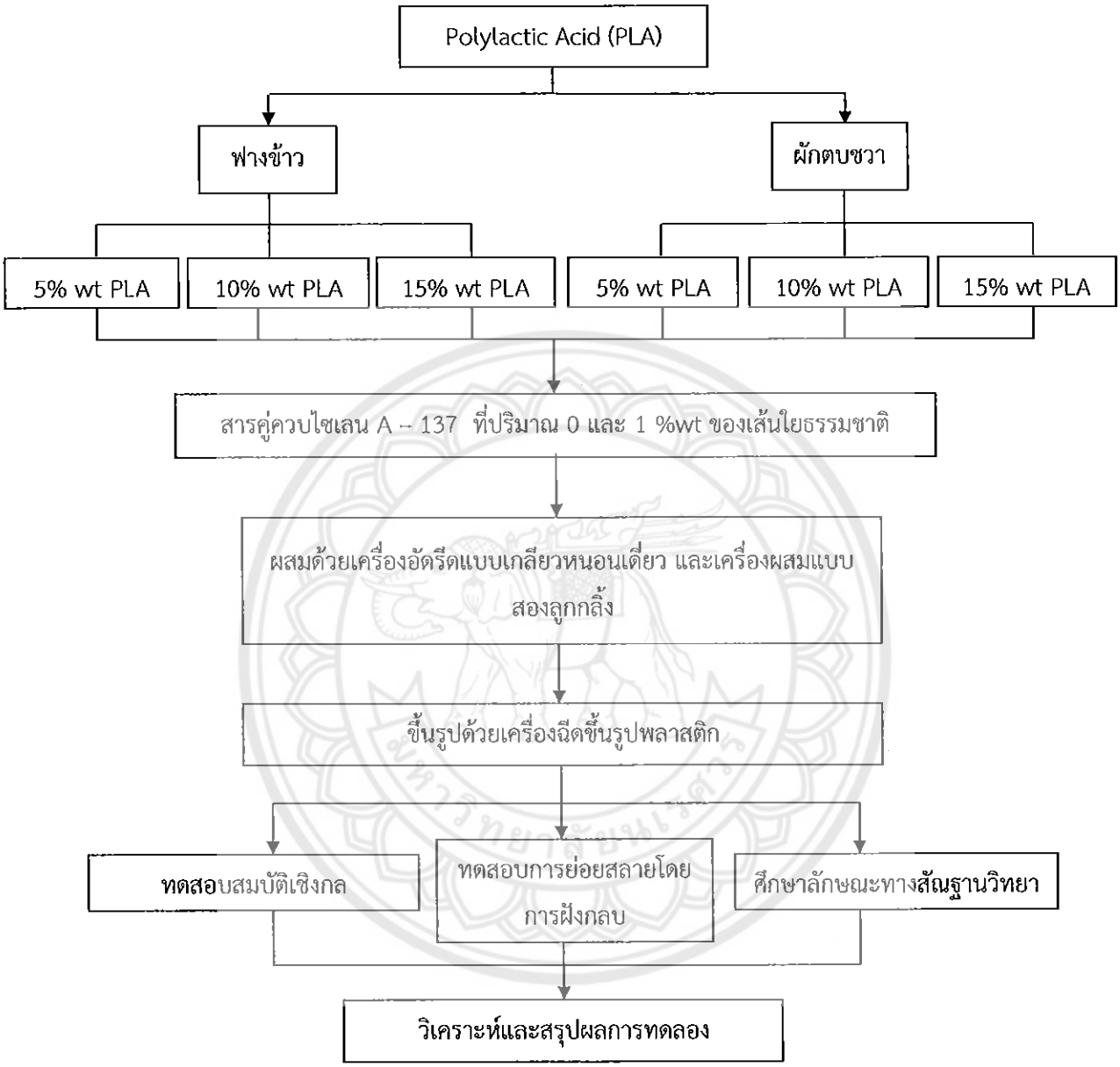
3.2.8 ตะแกรงร่อน ขนาด 30-70 เมช

3.2.9 ตู้อบ

3.2.10 เครื่องชั่ง

3.2.11 เครื่องบด

แผนการดำเนินงาน แสดงได้ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แผนการดำเนินงาน

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมเส้นใย

3.3.1.1 ทำการล้างเส้นใยฟางข้าว และผักตบชวาให้สะอาด จากนั้นนำไปตากแห้ง

3.3.1.2 นำเส้นใยฟางข้าว และผักตบชวามาบดจากนั้นทำการร่อนด้วยตะแกรงขนาด 250 เมช

3.3.1.3 นำเส้นใยที่ผ่านการร่อนมาอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.3.1.4 ทำการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้สารคู่ควบไซเลน ชนิด A – 137 ที่ปริมาณร้อยละ 1 โดยน้ำหนักของเส้นใย ดังนี้

ก. ละลายสารคู่ควบไซเลน ชนิด A - 137 ในเมทานอลที่ปริมาณร้อยละ 1 โดยน้ำหนักสารคู่ควบไซเลน และแช่เส้นใยในสารละลายที่เตรียมได้เป็นเวลา 30 นาที

ข. นำเส้นใยที่ผ่านการแช่ในสารละลายไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

3.3.2 ขั้นตอนการเตรียมวัสดุเชิงประกอบจากเส้นใยฟางข้าวกับเส้นใยผักตบชวาและปรับปรุงพื้นผิวโดยใช้สารคู่ควบไซเลน ชนิด A - 137

3.3.2.1 ผสม PLA กับเส้นใย ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 อัตราส่วนผสมของวัสดุเชิงประกอบ

PLA (phr)	ปริมาณสารคู่ควบไซเลน ชนิด A - 137		
	เส้นใยฟางข้าว	เส้นใยผักตบชวา	
	0 (%wt เส้นใยธรรมชาติ)	0 (%wt เส้นใยธรรมชาติ)	1 (%wt เส้นใยธรรมชาติ)
100	5	5	5
100	10	10	10
100	15	15	15

3.3.2.2 นำส่วนผสมตามอัตราส่วนข้างต้นมาผสมในเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว (Single Screw Extruder Machine) โดยใช้อุณหภูมิดังตารางที่ 3.4 จากนั้นนำไปผสมในเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two Roll Mill Machine) โดยใช้อุณหภูมิดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 สภาวะที่ใช้ในการขึ้นรูปของวัสดุเชิงประกอบ

สภาวะ	ช่วงป้อนสาร (°C)	ช่วงส่งผ่านสาร (°C)	ช่วงการผสม (°C)	ช่วงแม่พิมพ์ (°C)
อุณหภูมิ	180	190	200	190

3.3.2.3 ทำการขึ้นรูปโดยใช้เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection Molding Machine) โดยใช้อุณหภูมิดังตารางที่ 3.4

3.3.2.4 นำชิ้นงานไปทดสอบสมบัติต่าง ๆ ได้แก่

ก. ทดสอบสมบัติเชิงกล

ก.1 ทดสอบความแข็งแรงดึง

ก.2 ทดสอบความแรงกระแทก

ก.3 ทดสอบความแข็ง

ข. ทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังกลบ

ค. ศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

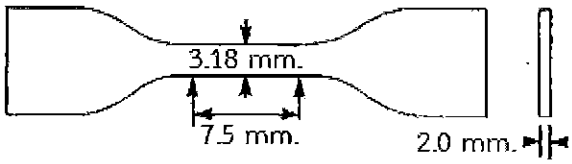
3.4 วิธีการทดสอบ

3.4.1 การทดสอบสมบัติเชิงกล

3.4.1.1 การทดสอบความแข็งแรงดึง

การทดสอบความแข็งแรงดึง (Tensile strength) เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D638 ใช้เครื่องทดสอบความแข็งแรงดึง (Universal testing machine) ซึ่งการคำนวณค่าความแข็งแรงดึง ค่ามอดูลัส และค่าร้อยละการดึง ณ จุดขาด สามารถหาได้จากสมการที่ 2.1, 2.2 และ 2.3 ชิ้นงานตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ แสดงดังรูปที่ 3.3 ใช้ชิ้นงานตัวอย่าง 8 ชิ้นในแต่ละสูตร ตั้งค่าต่างๆภายในเครื่อง โดยใช้ค่าดังต่อไปนี้

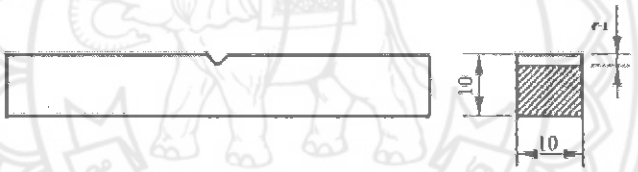
- โหลดเซลล์ (Load cell) 5 กิโลนิวตัว
- ความเร็วในการดึง (Test speed) 5 มิลลิเมตร/นาที
- ความยาวของเกจ (Gauge length) 70.5 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.3 ลักษณะชิ้นงานดัมเบลล์ที่นำมาทดสอบ ตามมาตรฐาน ASTM D638 Type V
ที่มา : http://www.mtec.or.th

3.4.1.2 การทดสอบความแข็งแรงกระแทก

การทดสอบความแข็งแรงกระแทก (Impact Strength) เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D256 โดยในการทดสอบจะใช้มาตรฐานแบบไอซอด (Izod type) ใช้ค้อนตีขนาด 2.75 จูลล์ ใช้ชิ้นงานตัวอย่าง 8 ชิ้นในแต่ละสูตร ดังรูปที่ 3.4 แสดงลักษณะชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบความแข็งแรงกระแทก ใช้ความหนา 4 มิลลิเมตร สมการคำนวณค่าทดสอบความแข็งแรงกระแทกหาได้จากสมการที่ 2.4



รูปที่ 3.4 ลักษณะชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบความแข็งแรงกระแทก
ที่มา : http://www.mtec.or.th

3.4.1.3 การทดสอบความแข็ง

ความแข็งของชิ้นงานทดสอบ (Hardness) โดยใช้เครื่องทดสอบค่าความแข็งแบบชอร์ดี (Shore Durometer) ในการทดสอบชิ้นงานตัวอย่างอยู่ในรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ตามมาตรฐาน ASTM D2240 ชิ้นงานหนา 4 มิลลิเมตร โดยให้แรงผ่านไปยังชิ้นงาน 4.53 กิโลกรัม ขนาดหัวทดสอบ กว้าง 1.27+0.012 มิลลิเมตร ทำการทดสอบโดยการกดลงบนชิ้นงาน ชิ้นละ 5 จุด ใช้ชิ้นงานตัวอย่าง 8 ชิ้นในแต่ละสูตร กำหนดให้อ่านค่าทดสอบที่ประมาณ 15 วินาทีหลังการกด

3.4.2 การทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังกลบ

การทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังกลบ ทดสอบโดยใช้มาตรฐาน ASTM D6400 และมาตรฐาน ISO 14855 โดยไม่มีความชื้นสัมพัทธ์ ใช้ชิ้นงานทดสอบสูตรละ 4 ชิ้น ใช้ระยะเวลาในการทดสอบ 6 - 8 สัปดาห์ โดยมีวิธีทดสอบสมบัติการย่อยสลาย ดังต่อไปนี้

3.4.2.1 นำชิ้นงานรูปร่างดัมเบลล์มาชั่งน้ำหนัก และบันทึกไว้

3.4.2.2 นำชิ้นงานไปทำการฝังกลบดิน ซึ่งจะทำการขุดดินลึกลงไปจากผิวหน้าดิน 15 เซนติเมตร รองก้นหลุมด้วยปุ๋ยหมักก่อนฝังชิ้นงาน โดย 1 หลุมจะฝังชิ้นงาน 1 ชิ้น

3.4.2.3 สังเกตการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักของชิ้นงาน โดยกำหนดให้บันทึกผลทุก ๆ 1 สัปดาห์ ๆ ละ 1 ชิ้น จนครบ 8 สัปดาห์

3.4.3 ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา

โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope : SEM) เพื่อศึกษาลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์ที่แตกหักที่อุณหภูมิต่ำ (Cryogenic fracture) การเตรียมตัวอย่างทำได้โดยนำชิ้นงานตัวอย่างมาแช่ในไนโตรเจนเหลว (Liquid nitrogen) และทำการหักทันที หลังจากนั้นนำมาเคลือบด้วยทอง และนำเข้าเครื่อง SEM ต่อไป โดยจะทำการศึกษาการกระจายตัวของเส้นใย และศึกษาการยึดติดระหว่างเส้นใยธรรมชาติกับพอลิเมอร์

3.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง

นำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาสมบัติเชิงกลมาเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงกระแทก และความแข็งแบบชอร์ดีที่ส่งผลต่อชิ้นงาน วิเคราะห์สัณฐานวิทยาเพื่อดูการกระจายตัวของเส้นใย และการย่อยสลายโดยวิธีฝังกลบ

3.6 สรุปผล และทำรายงานโครงงาน

สรุปผลการทดลองจากการศึกษาถึงสมบัติเชิงกล การย่อยสลายโดยการฝังกลบดิน และสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบ จากนั้นนำผลการทดลองมาจัดทำรูปเล่มรายงาน

บทที่ 4
ผลการทดลอง และการวิเคราะห์

โครงงานนี้เป็นการศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิแลคติกแอซิดกับเส้นใยธรรมชาติ ชนิดเส้นใยฟางข้าว และผักตบชวา ที่ปริมาณร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนักของพอลิแลคติกแอซิด และมีการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยธรรมชาติโดยใช้สารคู่ควบไซเลน ชนิด A -137 ที่ปริมาณร้อยละ 1 โดยน้ำหนักของเส้นใยธรรมชาติ โดยได้ศึกษาถึงสมบัติเชิงกล สมบัติการย่อยสลายโดยการฝังกลบ และสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบ ได้ผลดังต่อไปนี้

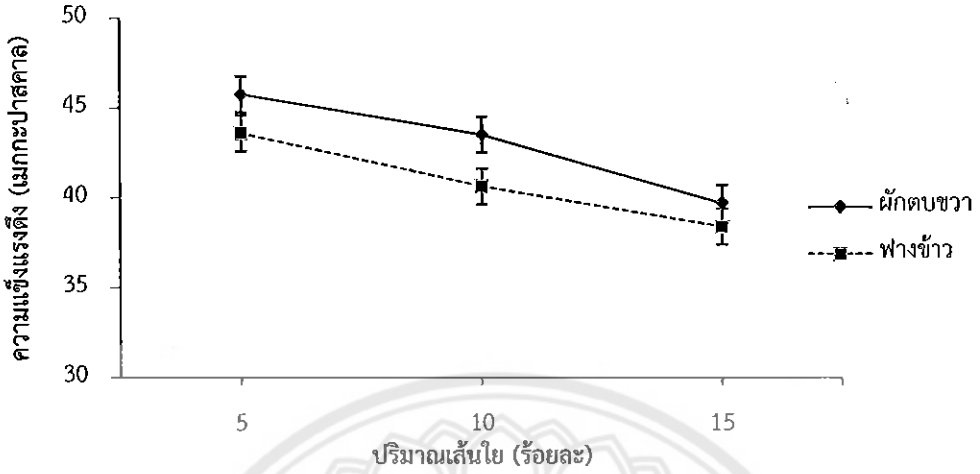
4.1 การศึกษาสมบัติต่างๆ ของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิแลคติก-แอซิดกับเส้นใยธรรมชาติ ชนิดเส้นใยฟางข้าว และเส้นใยผักตบชวา ที่ปริมาณต่างๆ

4.1.1 สมบัติเชิงกล

ในการศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบ ได้แบ่งการศึกษาออกดังนี้

ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติค่าความแข็งแรงดึง ค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด ค่ามอดูลัสของยังส์ ค่าความแข็งแรงกระแทก ค่าความแข็งแบบชอร์ดี ของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิแลคติกแอซิดกับเส้นใยธรรมชาติ ชนิดเส้นใยฟางข้าว และเส้นใยผักตบชวา ที่ปริมาณ ร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนักของพอลิแลคติกแอซิด ที่ไม่ได้มีการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยธรรมชาติ ได้ผลดังต่อไปนี้

4.1.1.1 ความแข็งแรงดึง (Tensile Strength)



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึง และปริมาณเส้นใย เปรียบเทียบระหว่างเส้นใยฟางข้าวกับเส้นใยผักตบชวา

จากรูป 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิแลคติกแอซิดกับเส้นใยธรรมชาติ ชนิดเส้นใยฟางข้าว และเส้นใยผักตบชวาที่ปริมาณร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนักของพอลิแลคติกแอซิด พบว่าวัสดุเชิงประกอบที่ใช้เส้นใยผักตบชวาให้ ค่าความแข็งแรงดึงที่มากกว่า วัสดุเชิงประกอบที่ใช้เส้นใยฟางข้าว เนื่องจากเส้นใยผักตบชวามีปริมาณเซลลูโลสที่มากกว่าเส้นใยฟางข้าว เซลลูโลสมีหมู่ไฮดรอกซิล สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนได้ แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของเซลลูโลสจึงมีมาก และโครงสร้างของเซลลูโลสจึงจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ จึงทำให้เซลลูโลสมีความเป็นผลึกสูง ปริมาณเซลลูโลสที่มากขึ้นจึงส่งผลให้เส้นใยมีค่าการรับแรงดึงมากขึ้น ส่วนเส้นใยฟางข้าว ที่มีปริมาณเซลลูโลสที่น้อยกว่าเส้นใยผักตบชวาจึงส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิแลคติกแอซิดกับเส้นใยฟางข้าวให้ค่าความแข็งแรงดึงที่ต่ำกว่า

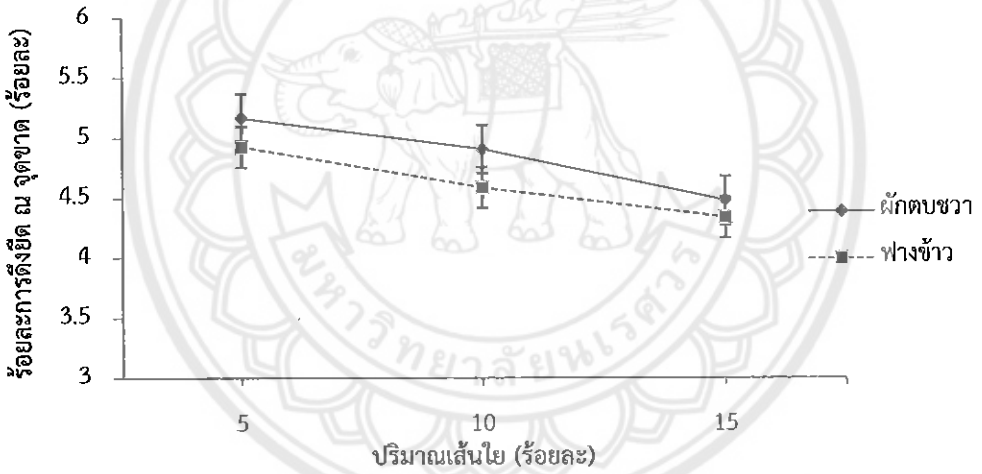
ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงกับปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้น พบว่าเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าความแข็งแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบลดลง เนื่องจากปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้นส่งผลให้การกระจายตัวของเส้นใยในวัสดุเชิงประกอบไม่สม่ำเสมอเส้นใยมีแนวโน้มที่เกาะตัวรวมกันเป็นกลุ่ม จากการเกิดพันธะโฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของเซลลูโลสในเส้นใย ซึ่งไฮดรอกซิลเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เส้นใยรวมตัวกันเป็นกลุ่ม ส่งผลให้การกระจายตัวในเนื้อพื้นพอลิเมอร์ลดลง ทำให้สมบัติเชิงกลลดลง

การเติมเส้นใยเป็นการเพิ่มจุดบกพร่อง หรือเกิดการแยกจากกัน (Debonding) บริเวณรอยต่อระหว่างพื้นผิวของเส้นใยกับเนื้อพื้นพอลิเมอร์ สังเกตได้จากเส้นใยกับ

เนื้อพื้นพอลิเมอร์มีโครงสร้างทางเคมี และหมู่ฟังก์ชั่นที่ต่างกัน โดยโครงสร้างของส้นใยเป็นเซลลูโลส ซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิลเป็นแบบมีขั้ว ส่วนเนื้อพื้นพอลิเมอร์มีโครงสร้างทางเคมีเป็นไฮโดรคาร์บอนซึ่งเป็นแบบไม่มีขั้ว จึงทำให้เกิดการยึดเกาะระหว่างสองวัฏภาคไม่ดี ทำให้เกิดรอยต่อระหว่างวัฏภาคทั้งสอง ซึ่งเปรียบเสมือนจุดบกพร่องภายในชิ้นงาน ส่งผลให้สมบัติเชิงกลมีแนวโน้มต่ำลง (สรุชัย และธนากร, 2539)

จากผลความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิแลคติกแอซิดกับเส้นใยธรรมชาติ พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใย ค่าความแข็งแรงดึงมีแนวโน้มลดต่ำลง สาเหตุเนื่องมาจากการยึดเกาะระหว่างวัฏภาคของเส้นใยกับเนื้อพื้นพอลิเมอร์ที่ลดลง เพราะผลของการเพิ่มขึ้นของหมู่ไฮดรอกซิล ทำให้การรับแรง และการถ่ายเทแรงของวัสดุเชิงประกอบลดลง

4.1.1.2 ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (% Elongation at Break)



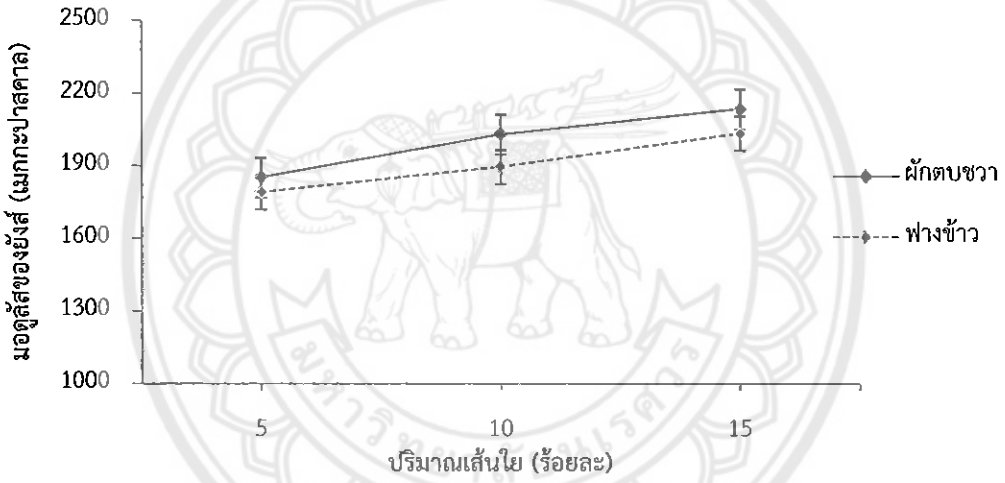
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด และปริมาณเส้นใย เปรียบเทียบระหว่าง เส้นใยฟางข้าว กับเส้นใยผักตบชวา

จากรูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด ของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิแลคติกแอซิดกับเส้นใยธรรมชาติ ชนิดเส้นใยฟางข้าว และเส้นใยผักตบชวา ที่ปริมาณร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนักของพอลิแลคติกแอซิด เมื่อปริมาณเพิ่มขึ้นของเส้นใยเพิ่มขึ้นพบว่า มีผลทำให้ค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดของวัสดุเชิงประกอบมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากเส้นใยกับเนื้อพื้นพอลิเมอร์มีโครงสร้างเคมีที่ต่างกัน อธิบายได้จากโครงสร้างของเส้นใยมีหมู่ไฮดรอกซิล ที่มีขั้วดูจากโครงสร้างทางเคมีที่มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบ และโครงสร้างของเนื้อพื้นพอลิเมอร์ที่มีสมบัติไม่มีขั้ว จึงไม่สามารถผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้ ทำให้เกิด

รอยต่อระหว่างวัฏภาคทั้งสอง ดังนั้นเมื่อให้แรงดึงแก่ชิ้นงาน จะทำให้ความสามารถในการยืดตัวได้น้อยลง ส่งผลให้ค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดลดลง (สุรชัย และธนากร, 2539)

จากผลความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด ของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิแลคติกแอซิดกับเส้นใยธรรมชาติ พบว่าวัสดุเชิงประกอบที่ใช้เส้นใยผักตบชวาให้ค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดที่มากกว่าชนิดเส้นใยฟางข้าว เนื่องจากเส้นใยผักตบชวามีปริมาณเซลลูโลสที่มากกว่าเส้นใยฟางข้าว เมื่อปริมาณเซลลูโลสที่มากขึ้นส่งผลให้ความสามารถในการยืดตัวได้มากขึ้น จึงส่งผลให้ค่าค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิแลคติกแอซิดกับเส้นใยฟางข้าวให้ค่าที่น้อยกว่า

4.1.1.3 มอดูลัสของยังส์ (Young's Modulus)



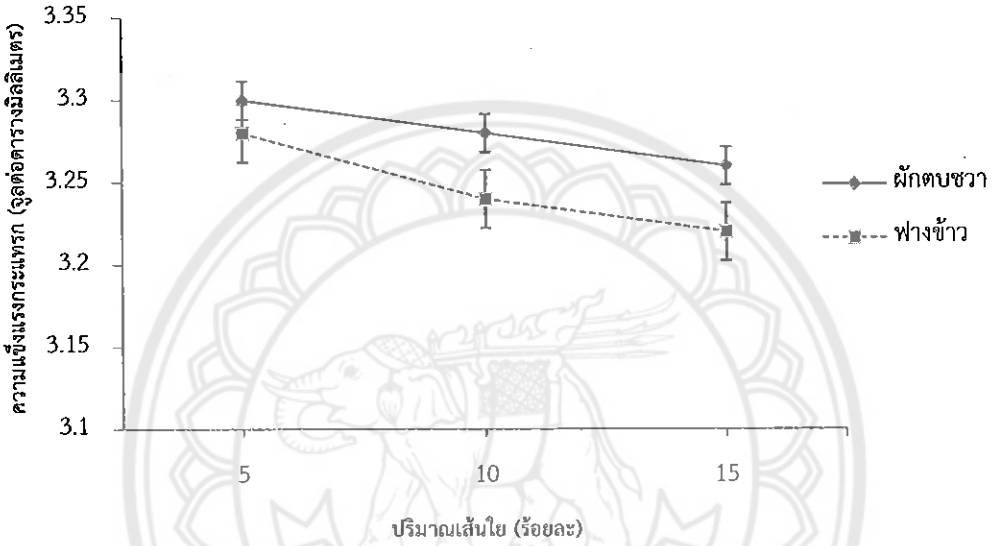
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างมอดูลัสของยังส์ และปริมาณเส้นใย เปรียบเทียบระหว่างเส้นใยฟางข้าว กับผักตบชวา

จากรูปที่ 4.3 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านมอดูลัสของยังส์ของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิแลคติกแอซิดกับเส้นใยธรรมชาติ ชนิดเส้นใยฟางข้าว และผักตบชวา ที่ปริมาณร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนักของพอลิแลคติกแอซิด พบว่าเมื่อปริมาณของเส้นใยเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่ามอดูลัสของยังส์ของวัสดุประกอบเพิ่มขึ้น เนื่องจากเส้นใยมีค่ามอดูลัสที่สูงกว่าเนื้อพื้นพอลิเมอร์ เมื่อเติมปริมาณของเส้นใยเพิ่มขึ้น ส่งผลให้สามารถเข้าไปขัดขวางการเคลื่อนที่ของเนื้อพื้นพอลิเมอร์มากขึ้น อีกทั้งเส้นใยที่เข้าไปแทรกตัวอยู่ในเนื้อพื้นพอลิเมอร์ช่วยรับแรงดึงทำให้วัสดุเสียรูปได้ยากขึ้น

จากผลความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านมอดูลัสของยังส์ ของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิแลคติกแอซิดกับเส้นใยธรรมชาติ พบว่าวัสดุเชิงประกอบที่ใช้

เส้นใยผักตบชวาให้ค่ามอดูลัสของยังส์ที่มากกว่า วัสดุเชิงประกอบที่ใช้เส้นใยฟางข้าว เนื่องจากเส้นใยผักตบชวามีปริมาณเซลลูโลสที่มากกว่าเส้นใยฟางข้าว เมื่อปริมาณเซลลูโลสที่มากขึ้นส่งผลให้ความสามารถในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างดีขึ้น จึงส่งผลให้ค่ามอดูลัสของยังส์ของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิแลคติกแอซิดกับเส้นใยฟางข้าวให้ค่าที่น้อยกว่า

4.1.1.4. ความแข็งแรงกระแทก (Impact Strength)



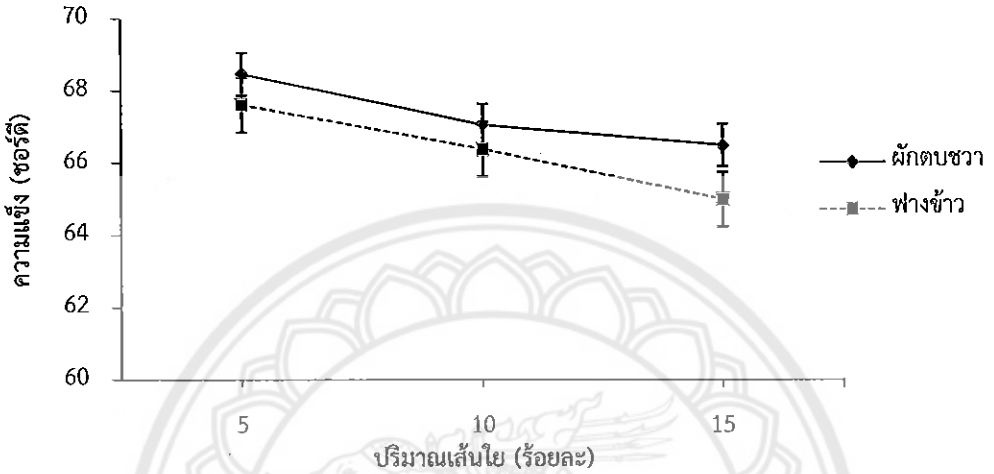
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงกระแทก และปริมาณเส้นใยธรรมชาติเปรียบเทียบระหว่าง เส้นใยฟางข้าว กับผักตบชวา

จากรูปที่ 4.4 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านความแข็งแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิแลคติกแอซิดกับเส้นใยธรรมชาติ ชนิดเส้นใยฟางข้าว และผักตบชวา ที่ปริมาณร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนักของพอลิแลคติกแอซิด พบว่าเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้นค่าความแข็งแรงกระแทกมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอของเส้นใย และบางส่วนมีการจัดตัวเป็นกลุ่มก้อนของเส้นใย เพราะองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยมีหมู่ไฮดรอกซิลจะเป็นตัวดึงดูดน้ำทำให้มีความสามารถดูดความชื้นได้ดี อีกทั้งเส้นใยกับเนื้อพื้นพอลิเมอร์ไม่สามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกัน เนื่องจากโครงสร้างของพอลิเมอร์เป็นไฮโดรคาร์บอนแบบไม่มีขั้ว ส่วนโครงสร้างของเส้นใยเป็นแบบมีขั้ว มีไฮดรอกซิลเป็นองค์ประกอบหลัก ฉะนั้นจึงทำให้เนื้อพื้นพอลิเมอร์กับเส้นใยไม่เข้ากัน จึงเกิดช่องว่างระหว่างรอยต่อของวัฏภาค (Interphase) และเมื่อได้รับแรงเข้าไปส่งผลให้ค่าความแข็งแรงกระแทกมีแนวโน้มลดลง

จากผลความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านความแข็งแรงกระแทก ของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิแลคติกแอซิดกับเส้นใยธรรมชาติ พบว่าวัสดุเชิงประกอบที่ใช้เส้น

ใยผักตบชวาให้ค่าความแข็งแรงกระแทกที่มากกว่าวัสดุเชิงประกอบที่ใช้เส้นใยฟางข้าว เนื่องจากปริมาณของเซลลูโลส ซึ่งอธิบายได้เช่นเดียวกับสมบัติด้านแรงดึง

4.1.1.4 ค่าความแข็งแบบชอร์ดี (Shore Durometer)



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแบบชอร์ดี และปริมาณเส้นใยธรรมชาติเปรียบเทียบระหว่างเส้นใยผักตบชวา กับฟางข้าว

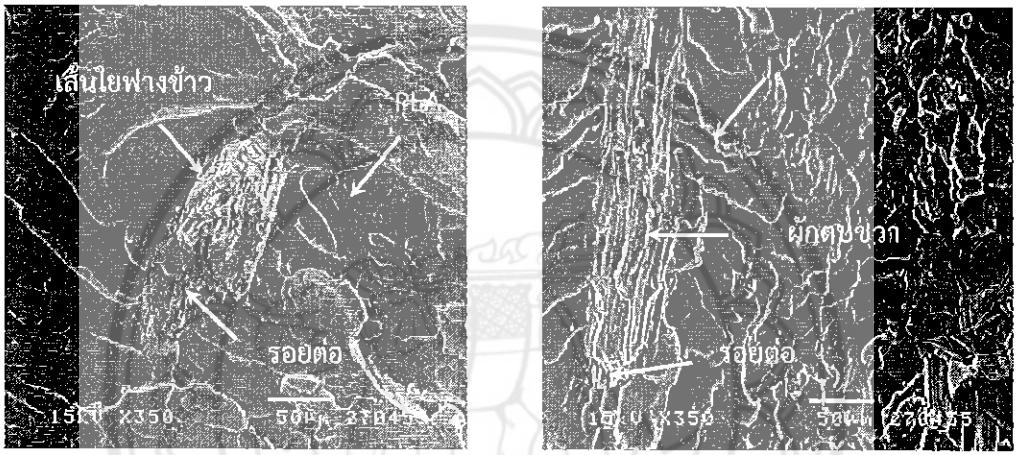
จากรูปที่ 4.5 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านความแข็งแบบชอร์ดีของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิแลคติกแอซิดกับเส้นใยธรรมชาติ ชนิดเส้นใยฟางข้าว และผักตบชวา ที่ปริมาณร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนักของพอลิแลคติกแอซิด พบว่าเมื่อ ปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้นค่าความแข็งแบบชอร์ดีมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากการเติมเส้นใยเป็นการเพิ่มจุดบกพร่องหรือเกิดการแยกจากกัน (Debonding) บริเวณรอยต่อระหว่างพื้นผิวของเส้นใยกับเนื้อพื้นพอลิเมอร์ สังเกตได้จากเส้นใยกับเนื้อพื้นพอลิเมอร์มีโครงสร้างทางเคมี และหมู่ฟังก์ชั่นที่ต่างกัน โดยโครงสร้างของเส้นใยเป็นเซลลูโลสซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิลเป็นแบบมีขั้ว ส่วนเนื้อพื้นพอลิเมอร์มีโครงสร้างทางเคมีเป็นไฮโดรคาร์บอนซึ่งเป็นแบบไม่มีขั้ว จึงทำให้เกิดการยึดเกาะระหว่างสองวัฏภาคไม่ดี ทำให้เกิดรอยต่อระหว่างวัฏภาคทั้งสอง ซึ่งเปรียบเสมือนจุดบกพร่องภายในชิ้นงาน ส่งผลให้สมบัติเชิงกลมีแนวโน้มต่ำลง

จากผลความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านความแข็งแบบชอร์ดี ของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิแลคติกแอซิดกับเส้นใยธรรมชาติชพบว่าวัสดุเชิงประกอบที่ใช้เส้นใยผักตบชวาให้ค่าความแข็งแบบชอร์ดีที่มากกว่าวัสดุเชิงประกอบที่ใช้เส้นใยฟางข้าว เนื่องจากปริมาณของเซลลูโลสซึ่งอธิบายได้เช่นเดียวกับสมบัติด้านแรงดึง

4.1.2 สัณฐานวิทยา

การศึกษาสัณฐานวิทยา เป็นการศึกษาโครงสร้างทางกายภาพของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิแลคติกแอซิดกับเส้นใยธรรมชาติ ชนิดเส้นใยฟางข้าว และผักตบชวา โดยทำการศึกษาเพื่อดูลักษณะพื้นผิวความเข้ากันได้ระหว่างพอลิเมอร์ และเส้นใยด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM) ได้ผลดังต่อไปนี้

4.1.2.1 สัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบที่ใช้เส้นใยฟางข้าว และวัสดุเชิงประกอบที่ใช้เส้นใยผักตบชวา



ก) ข)

รูปที่ 4.6 สัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิแลคติกแอซิดกับเส้นใยธรรมชาติที่กำลังขยาย 350 เท่า
ก) วัสดุเชิงประกอบที่ใช้เส้นใยฟางข้าวร้อยละ 5
ข) วัสดุเชิงประกอบที่ใช้เส้นใยผักตบชวาร้อยละ 5

จากรูปที่ 4.6 แสดงสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบที่ตรียมได้จากพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยธรรมชาติชนิดเส้นใยฟางข้าว และเส้นใยผักตบชวา ที่ปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของพอลิแลคติกแอซิด ที่กำลังขยาย 350 เท่า พบว่าเส้นใยฟางข้าวมีลักษณะจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อน ซึ่งการจับตัวเป็นกลุ่มก้อนมีผลต่อการส่งผ่านแรงที่ไม่สามารถกระจายแรงไปยังเนื้อพื้นพอลิเมอร์ ทำให้เกิดการสะสมแรงบริเวณรอยต่อระหว่างเส้นใยกับเนื้อพื้นพอลิเมอร์ โดยวัสดุเชิงประกอบที่ใช้เส้นใยฟางข้าวเกิดการแตกหักแบบยึดติด (Adhesive) กล่าวคือ เส้นใยกับพอลิเมอร์เป็นอนุภาคต่างชนิดกันมาผสมกัน แต่ไม่สามารถผสมเข้ากันได้จึงเกิดแรงยึดเหนี่ยวกันไว้

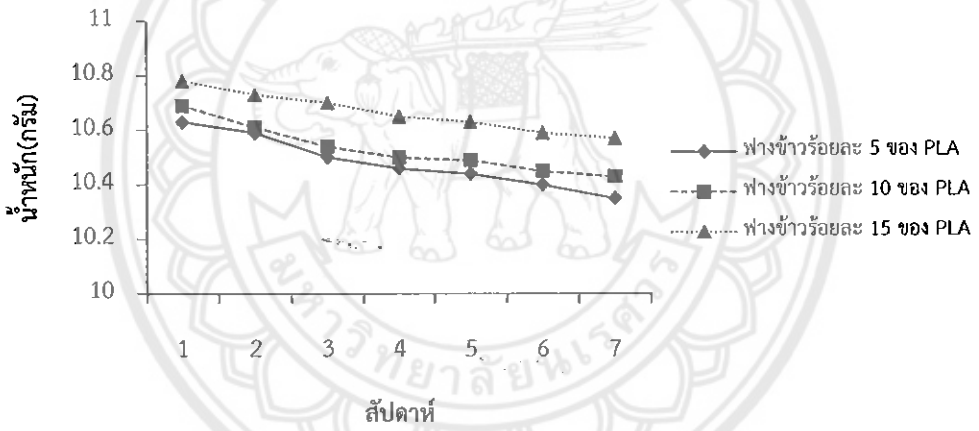
เมื่อเปรียบเทียบระหว่างวัสดุเชิงประกอบที่ใช้เส้นใยฟางข้าว และวัสดุเชิงประกอบที่ใช้เส้นใยผักตบชวา พบว่า ในปริมาณเส้นใยที่เท่ากันเส้นใยผักตบชวามีการจับตัว

เป็นกลุ่มก้อนที่น้อยกว่าเส้นใยฟางข้าวส่งผลให้การกระจายแรงจากเส้นใยไปยังเนื้อพื้นพอลิเมอร์สามารถส่งแรงได้ดีกว่า เพราะเส้นใยไม่จับตัวเป็นกลุ่มก้อนมากเหมือนเส้นใยฟางข้าว และเมื่อพิจารณาการแตกหักจะเห็นได้ว่าเกิดการแตกหักแบบยึดติด ทำให้เกิดรอยต่อระหว่างวัฏภาคของเส้นใยกับพอลิเมอร์ แต่เนื่องจากเส้นใยผักตบสามารถเข้ากันได้ดีกว่าเส้นใยฟางข้าว จึงสามารถทำให้รับแรงได้มากกว่าเส้นใยฟางข้าว

4.1.3 สมบัติการย่อยสลายทางชีวภาพโดยวิธีฝังกลบ

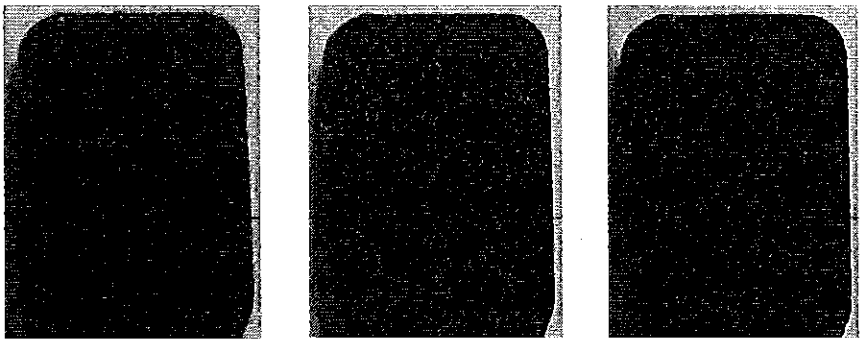
ศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพ ของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิแลคติกแอซิดกับเส้นใยธรรมชาติ ชนิดเส้นใยฟางข้าว และผักตบชวาโดยวิธีฝังกลบ ได้ผลดังต่อไปนี้

4.1.3.1 สมบัติการย่อยสลายของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิแลคติกแอซิด กับเส้นใยฟางข้าว



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนัก และระยะเวลาการย่อยสลายของฟางข้าวในปริมาณต่างๆ

จากรูปที่ 4.7 การทดสอบย่อยสลายของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิแลคติกแอซิดกับเส้นใยเส้นใยฟางข้าว ที่ปริมาณร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนักของพอลิแลคติกแอซิด ใช้ระยะเวลาการทดสอบ 7 สัปดาห์ จากการทดสอบพบว่า เมื่อระยะเวลาที่เปลี่ยนแปลงไปน้ำหนักของชิ้นงานมีแนวโน้มลดลงทุกๆ สัปดาห์ เนื่องจาก พอลิแลคติกแอซิดเป็นพลาสติกชีวภาพ อันเนื่องมาจากการทำงานของจุลินทรีย์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีในช่วงเวลาที่กำหนด จึงทำให้พลาสติกเกิดการย่อยสลาย โดยน้ำหนักที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยน้ำหนักของชิ้นงานที่ทำการทดสอบแต่ละสัปดาห์ การเปลี่ยนแปลงแสดงดังรูปที่ 4.8



ก) ข) ค)

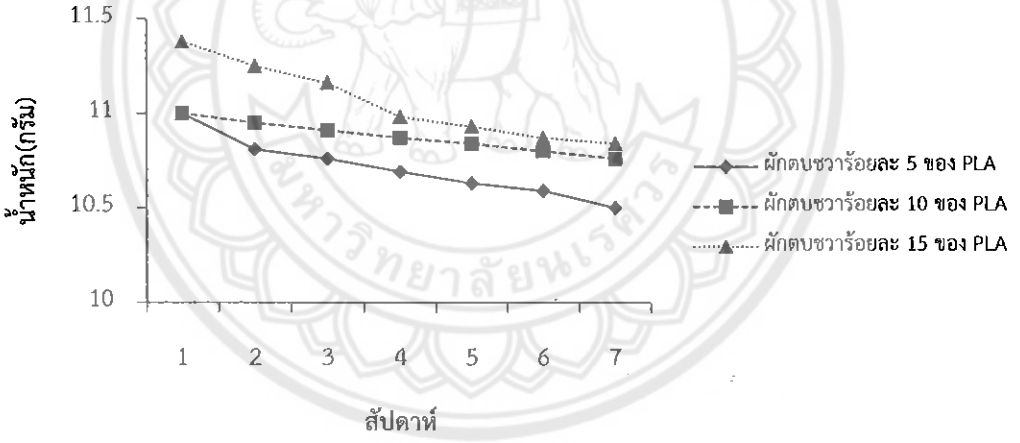
รูปที่ 4.8 การย่อยสลายของวัสดุเชิงประกอบที่ใช้เส้นใยฟางข้าวระยะเวลา 7 สัปดาห์

ก) วัสดุเชิงประกอบที่ใช้เส้นใยฟางข้าวร้อยละ 5

ข) วัสดุเชิงประกอบที่ใช้เส้นใยฟางข้าวร้อยละ 10

ค) วัสดุเชิงประกอบที่ใช้เส้นใยฟางข้าวร้อยละ 15

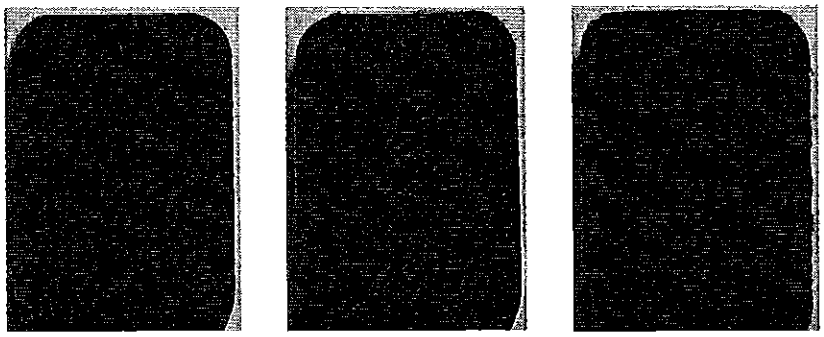
4.1.3.2 สมบัติการย่อยสลายของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียม**ได้จากพอลิ-แลคติกแอ**ซิด กับเส้นใยผักตบชวา



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนัก และระยะเวลาการย่อยสลายของผักตบชวา ในปริมาณต่างๆ

จากรูปที่ 4.9 การทดสอบย่อยสลายของของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิแลคติกแอซิดกับเส้นใยผักตบชวา ที่ปริมาณร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนักของพอลิแลคติกแอซิด ใช้ระยะเวลาการทดสอบ 7 สัปดาห์ จากการทดสอบพบว่า เมื่อระยะเวลาที่เปลี่ยนแปลงไปน้ำหนักของชิ้นงานมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากพอลิแลคติกแอซิดเป็นพลาสติกชีวภาพที่สามารถย่อยสลายได้เมื่อนำไปฝังกลบในดินเนื่องมาจากการทำงานของจุลินทรีย์ ที่ทำให้เกิดการ

เปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีในช่วงเวลาที่กำหนดโดยกระบวนการย่อยสลายจะได้น้ำ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และสารชีวมวลโดยการเปลี่ยนแปลงแสดงดังรูปที่ 4.10



ก) ข) ค)

รูปที่ 4.10 การย่อยสลายของวัสดุเชิงประกอบที่ใช้เส้นใยผักตบชวาระยะเวลา 7 สัปดาห์

ก) วัสดุเชิงประกอบที่ใช้เส้นใยผักตบชวาร้อยละ 5

ข) วัสดุเชิงประกอบที่ใช้เส้นใยผักตบชวาร้อยละ 10

ค) วัสดุเชิงประกอบที่ใช้เส้นใยผักตบชวาร้อยละ 15

4.2 การศึกษาสมบัติต่างๆ ของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิแลคติก-แอซิด กับเส้นใยผักตบชวา ที่ปริมาณต่างๆ ที่มีการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยธรรมชาติโดยใช้สารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137

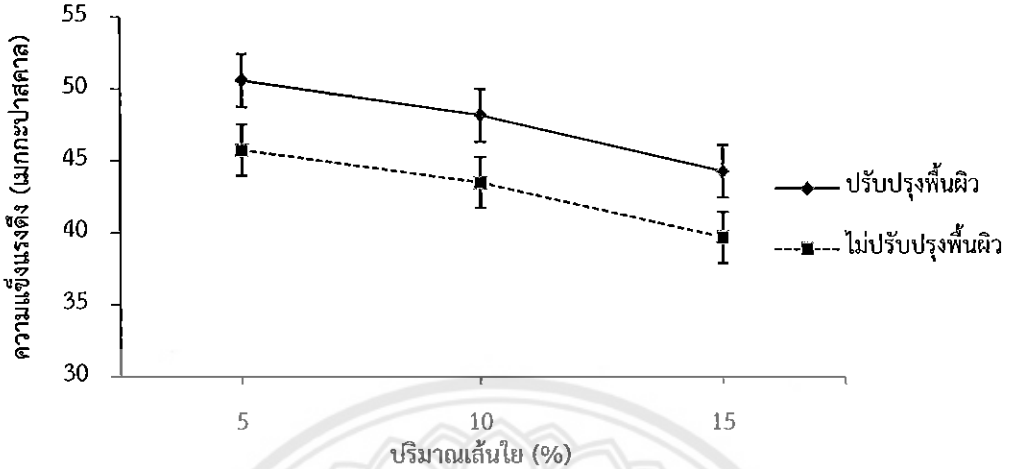
4.2.1 สมบัติเชิงกล

ในการศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบ ได้แบ่งการศึกษาออกดังนี้

ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติค่าความแข็งแรงดึง ค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด ค่ามอดูลัสของยังส์ ค่าความแข็งแรงกระแทก ค่าความแข็งแบบชอร์ดี ของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิแลคติกแอซิด กับเส้นใยผักตบชวา ที่ปริมาณร้อยละ 5 , 10 และ 15 โดยน้ำหนักของพอลิแลคติกแอซิด ที่ไม่ได้มีการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยธรรมชาติ ที่มีการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยธรรมชาติโดยใช้สารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 ที่ปริมาณร้อยละ 1 โดยน้ำหนักของเส้นใยธรรมชาติ

จากสมบัติเชิงกลต่างๆ ที่ศึกษาให้ผลการทดลองดังนี้

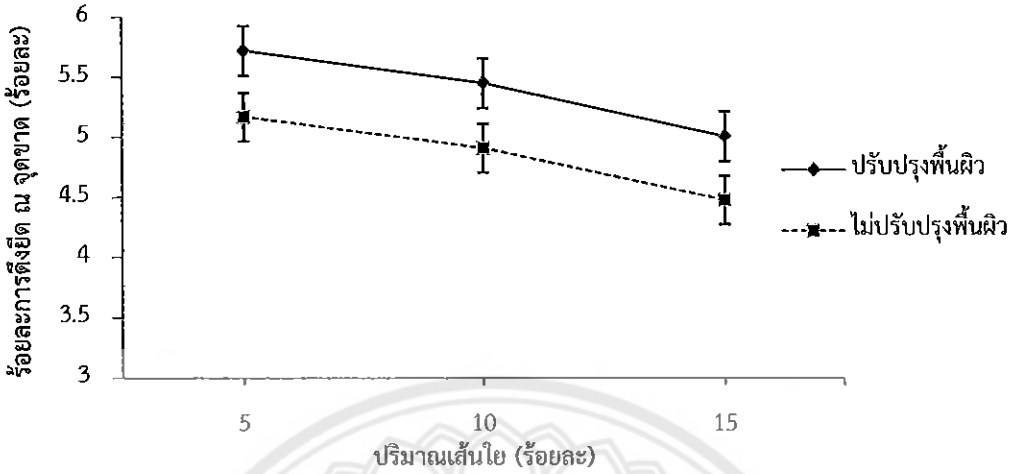
4.2.1.1 ความแข็งแรงดึง (Tensile Strength)



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึง และปริมาณเส้นใย เปรียบเทียบระหว่างเส้นใยผักตบชวาที่ทำการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยกับเส้นใยผักตบชวาที่ไม่ได้ทำการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใย

พบว่าเมื่อทำการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยผักตบชวาด้วยสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 ทำให้ค่าความแข็งแรงดึงมีแนวโน้มสูงกว่าวัสดุเชิงประกอบที่ไม่มีการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยในทุกปริมาณของเส้นใย เนื่องจากการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยทำให้รอยต่อระหว่างวัฏภาคของเส้นใย และเนื้อพื้นพอลิเมอร์เกิดการเชื่อมกันได้ดี ทำให้แรงสามารถส่งผ่านไปยังเนื้อพื้นพอลิเมอร์ เพื่อช่วยให้ชิ้นงานสามารถต้านทานการเสียรูป หรือการหลุดเลื่อนของสายโซ่พอลิเมอร์ เมื่อได้รับแรงดึงเนื่องจากสายโซ่มีการเกี่ยวพันกัน (Molecular Entanglement) ทำให้สายโซ่เคลื่อนที่ได้ยาก อธิบายได้จากโครงสร้างของสารคู่ควบไซเลนชนิด A-137 ซึ่งโครงสร้างประกอบด้วยส่วนที่มีขั้ว และส่วนที่ไม่มีขั้วโดยส่วนที่มีขั้วสามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่หมู่เอทอกซี ($-OCH_2CH_3$) ได้เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีหมู่ไซลานอล 3หมู่ (-SiO-) ซึ่งสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ไฮดรอกซิลของเส้นใยได้ และส่วนที่ไม่มีขั้วซึ่งมีโครงสร้างเป็นไฮโดรคาร์บอนไปยึดเหนี่ยวกับส่วนที่ไม่มีขั้วของวัสดุเชิงประกอบ ทำให้ช่วยเพิ่มความสามารถในการ ยึดเกาะระหว่างพื้นผิว ส่งผลให้รอยตำหนิของชิ้นงานลดลง ทำให้สามารถส่งผ่านแรงได้อย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงมีค่าสูงขึ้น เมื่อมีการปรับปรุงความแข็งแรงบริเวณรอยต่อระหว่างวัฏภาคโดยใช้สารคู่ควบไซเลนชนิด A-137 โดยที่ปริมาณเส้นใยที่เพิ่มมากขึ้นทำให้ค่าการรับแรงดึงลดลง

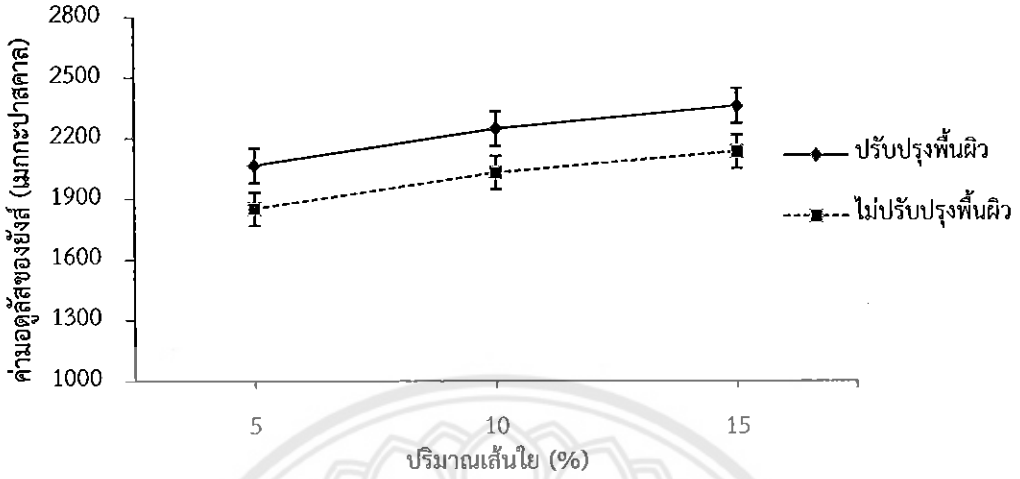
4.2.1.2 ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (% Elongation at Break)



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด และปริมาณเส้นใย **เปรียบเทียบ**ระหว่าง เส้นใยผักตบชวาที่ทำการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใย กับเส้นใยผัก**ตบชวาที่ไม่ได้**ทำการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใย

พบว่าเมื่อทำการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยผักตบชวา**ด้วยสารคู่ควบ**ไซเลน ชนิด A-137 ที่ปริมาณเส้นใยร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนักของพอลิ**แลคติกแอซิด** ทำให้ค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด มีแนวโน้มสูงกว่าวัสดุเชิงประกอบที่ไม่ได้มีการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยในทุกปริมาณของเส้นใย เนื่องจากมีการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยทำให้**ความแข็งแรง**บริเวณรอยต่อระหว่างวัฏภาคจะช่วยต้านทานการเสียรูป หรือการหลุดเลื่อนของสาย**โซ่พอลิเมอร์**เมื่อได้รับแรงดึงจึงมีระยะการดึงยืด ณ จุดขาดลดน้อยลง

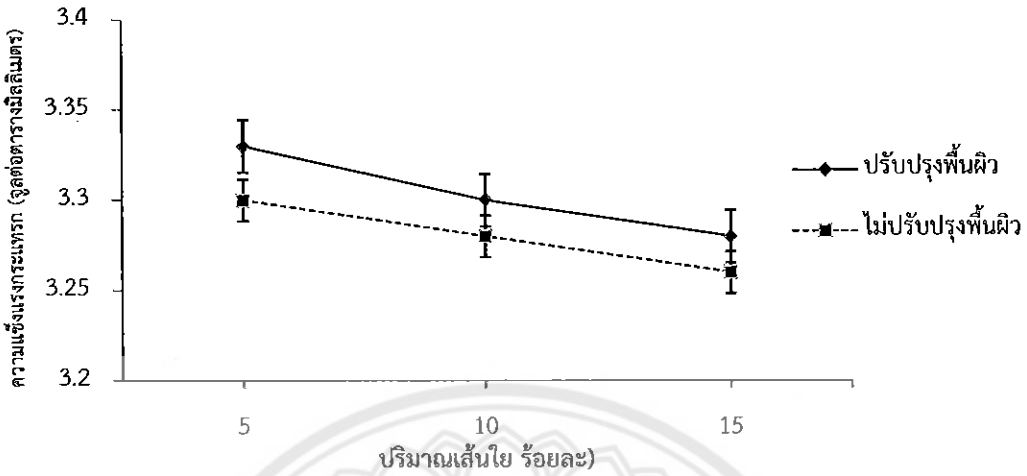
4.2.1.3 มอดูลัสของยังส์ (Young's Modulus)



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดูลัสของยังส์ และปริมาณเส้นใย เปรียบเทียบระหว่างเส้นใยผักตบชวาที่ทำการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใย กับเส้นใยผักตบชวาที่ไม่ได้ทำการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใย

พบว่าเมื่อทำการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยผักตบชวาด้วยสารคู่ควบไซเลนชนิด A-137 ทำให้ค่ามอดูลัสของยังส์มีแนวโน้มสูงกว่าวัสดุเชิงประกอบที่ไม่ได้มีการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยในทุกปริมาณของเส้นใย อธิบายได้จากโครงสร้างของสารคู่ควบไซเลนชนิด A-137 ซึ่งโครงสร้างประกอบด้วยส่วนที่มีขั้ว และส่วนที่ไม่มีขั้วโดยส่วนที่มีขั้วสามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่หมู่เอทอกซี ($-OCH_2CH_3$) ได้เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีหมู่ไซลานอล 3หมู่ (-SiO-) ซึ่งสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ไฮดรอกซิลของเส้นใยได้ และส่วนที่ไม่มีขั้วซึ่งมีโครงสร้างเป็นไฮโดรคาร์บอนไปยึดเหนี่ยวกับส่วนที่ไม่มีขั้วของวัสดุเชิงประกอบ ทำให้ช่วยเพิ่มความสามารถในการยึดเกาะระหว่างพื้นผิว ส่งผลให้รอยตำหนิของชิ้นงานลดลง ส่งผลให้เส้นใยมีความเข้ากันได้กับเนื้อพื้นพอลิเมอร์มากขึ้น และปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่ามอดูลัสของยังส์เพิ่มขึ้น เนื่องจากเส้นใยมีค่ามอดูลัสสูงกว่าเนื้อพื้นพอลิเมอร์ โดยเมื่อเติมเส้นใยเข้าไปทำให้ขัดขวางการเคลื่อนที่โมเลกุลของพอลิเมอร์ ทำให้ความสามารถในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเนื้อพื้นพอลิเมอร์ลดลง ค่ามอดูลัสของยังส์จึงเพิ่มขึ้น

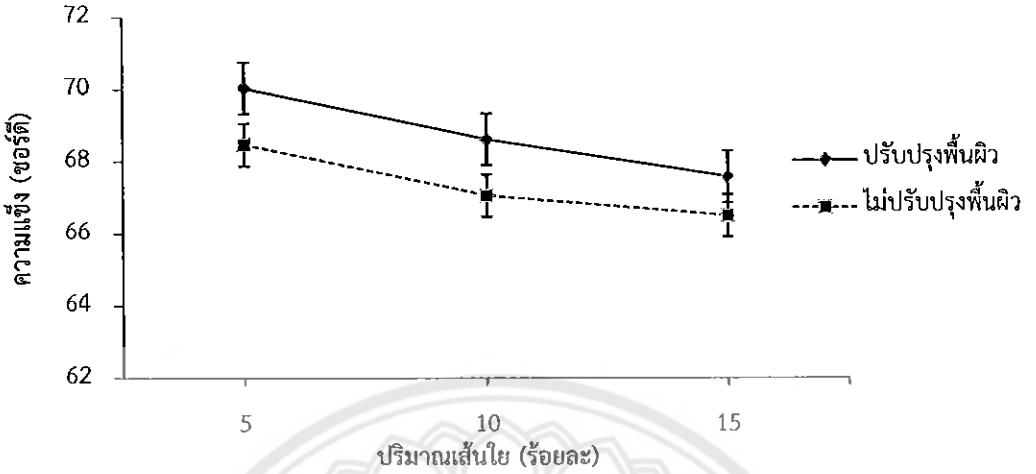
4.2.1.4 ความแข็งแรงกระแทก (Impact Strength)



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงกระแทก และปริมาณเส้นใย เปรียบเทียบระหว่างเส้นใยผักตบชวาที่ทำการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใย กับเส้นใยผักตบชวาที่ไม่ได้ทำการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใย

พบว่าเมื่อมีการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยด้วยสารคู่ควบไซเลน A-137 ทำให้ความแข็งแรงกระแทกมีแนวโน้มสูงกว่าวัสดุเชิงประกอบที่ไม่ได้มีการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยในทุกปริมาณของเส้นใย เนื่องจากค่าความแข็งแรงกระแทกเป็นการให้พลังงานแก่ชิ้นงานทันทีก่อนที่จะเกิดการแตกหักอย่างถาวร เกิดความเค้นบริเวณรอยบากชิ้นงานในวัสดุภายใต้แรงบริเวณที่มีความเค้นสูง สายโซ่โมเลกุลเริ่มแตกหลุดออกจากกันเกิดการแตกหักเริ่มต้น แล้วปลดปล่อยพลังงานออกมาเกิดการแตกหักต่อเนื่อง พบว่าการเติมสารคู่ควบไซเลนชนิด A-137 มีผลต่อค่าความแข็งแรงกระแทก อธิบายได้จากโครงสร้างของสารคู่ควบไซเลนชนิด A-137 ซึ่งโครงสร้างประกอบด้วยส่วนที่มีขั้ว และส่วนที่ไม่มีขั้วโดยส่วนที่มีขั้วสามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่หมู่เอทอกซี ($-OCH_2CH_3$) ได้เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีหมู่ไซลานอล 3 หมู่ (-SiO-) ซึ่งสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ไฮดรอกซิลของเส้นใยได้ และส่วนที่ไม่มีขั้วซึ่งมีโครงสร้างเป็นไฮโดรคาร์บอนไปยึดเหนี่ยวกับส่วนที่ไม่มีขั้วของวัสดุประกอบทำให้ช่วยเพิ่มความสามารถในการยึดเกาะระหว่างพื้นผิว มีผลให้รอยตำหนิของชิ้นงานลดลงทำให้การถ่ายเทความเค้น จากเนื้อพื้นพอลิเมอร์สู่เส้นใยข้ามผ่านบริเวณรอยต่อนี้ดีขึ้น สามารถต้านทานพลังงานกระแทกได้ดีขึ้น

4.2.1.5 ค่าความแข็งแบบชอร์ดี (Shore Durometer)



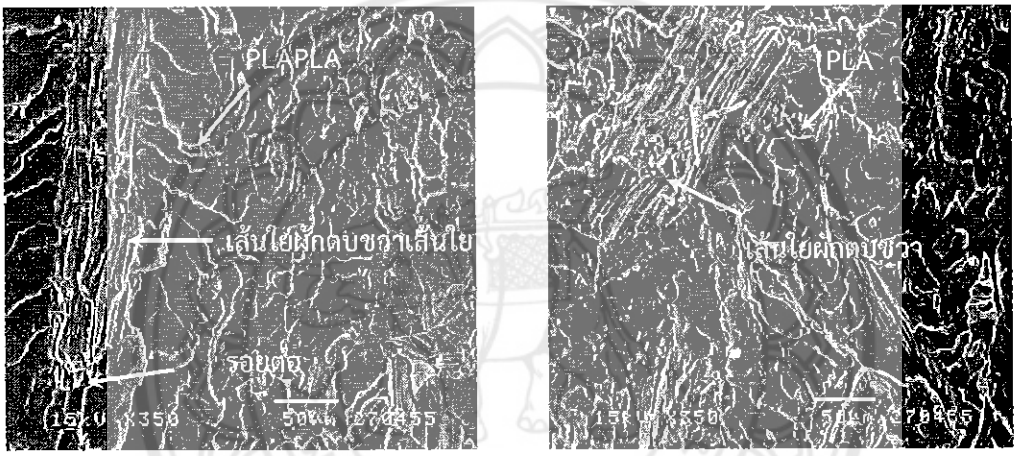
รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรง และปริมาณเส้นใยเปรียบเทียบระหว่างเส้นใยผักตบชวาที่ทำการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใย กับเส้นใยผักตบชวาที่**ไม่ได้**ทำการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใย

พบว่าเมื่อทำการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยด้วยสารคู่ควบ**ไซเลน ชนิด** A-137 **ทำ**ให้ค่าความแข็งแบบชอร์ดี มีแนวโน้มสูงกว่าวัสดุเชิงประกอบที่ไม่ได้มีการปรับปรุง**พื้นผิว**ของเส้นใยในทุกปริมาณของเส้นใย เนื่องจากเมื่อเติมสารคู่ควบไซเลนชนิด A-137 ส่ง**ผลให้ช่วยเพิ่ม**ความสา**มา**รถในการยึดเกาะระหว่างพื้นผิว อธิบายได้จากโครงสร้างของสารคู่ควบ**ไซเลนชนิด** A-137 ซึ่งโครงสร้างประกอบด้วยส่วนที่มีขั้ว และส่วนที่ไม่มีขั้วโดยส่วนที่มีขั้วสา**มา**ร**ถเกิดปฏิกิริยา**ไฮโดรไลซิสที่หมู่เอทอกซี ($-OCH_2CH_3$) ได้เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีหมู่ไซลานอล 3**หมู่** (-SiO-) ซึ่งสา**มา**ร**ถ**เกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ไฮดรอกซิลของเส้นใยได้ และส่วนที่ไม่มีขั้วซึ่งมี**โครงสร้าง**เป็นไฮโดรคาร์บอนไปยึดเหนี่ยวกับส่วนที่ไม่มีขั้วของวัสดุเชิงประกอบ ทำให้ช่วยเพิ่มความ**สามารถ**ในการยึดเกาะระหว่างพื้นผิว ส่งผลให้รอยตำหนิของชิ้นงานลดลง ทำให้รอยตำหนิของชิ้นงานลดลง การถ่ายเทความเค้น จาก**เนื้อ**พื้นพอลิเมอร์สู่เส้นใยข้ามผ่านบริเวณรอยต่อนี้ดีขึ้น สามารถต้านทานรอยกดได้มากขึ้น ทำให้เส้นใยที่ทำการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยมีค่าความแข็งแบบชอร์ดีที่มากกว่าเส้นใยที่ไม่ได้ทำการปรับปรุงพื้นผิว

4.2.2 สัณฐานวิทยา

จากการศึกษาสัณฐานวิทยาของเส้นใยที่ไม่ผ่านการปรับปรุงพบว่าเส้นใยผักตบชวามีความเข้ากันได้ดีกว่าพอลิแลคติกแอซิดที่ผสมเส้นใยฟางข้าว เนื่องจากการยึดเกาะระหว่างอนุภาคของพอลิเมอร์ และเส้นใยผักตบชวาเกิดรอยต่อระหว่างวัฏภาคน้อยกว่าพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยฟางข้าว เมื่อทำการปรับปรุงเส้นใยผักตบชวาโดยสารคู่ควบไซเลนชนิด A-137 ได้ผลดังต่อไปนี้

4.2.2.1 สัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิแลคติก-แอซิดกับเส้นใยผักตบชวา ที่มีการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยธรรมชาติโดยใช้สารคู่ควบไซเลนชนิด A - 137



ก) ข)

รูปที่ 4.16 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยธรรมชาติที่กำลังขยาย 350 เท่า
ก) เส้นใยผักตบชวาที่ไม่ได้ปรับปรุง
ข) เส้นใยผักตบชวาที่ผ่านการปรับปรุง

จากรูปที่ 4.16 ก) เป็นวัสดุเชิงประกอบที่ยังไม่ผ่านการปรับปรุงเส้นใย พบว่าเส้นใยมีการจับตัวเป็นกลุ่มก้อน และมีการแบ่งวัฏภาคระหว่างเส้นใยกับเนื้อพื้นพอลิเมอร์ โดยบริเวณรอยต่อจะเห็นได้ว่าเกิดการแตกหักแบบยึดติด (Adhesive) เนื่องจากเป็นอนุภาคต่างชนิดนำมาผสมกันจึงทำให้ความเข้ากันได้ของเส้นใยกับพอลิเมอร์ไม่ดี แต่เมื่อทำการปรับปรุงเส้นใยผักตบชวาด้วยไซเลน ชนิด A-137 พบว่าเส้นใยผักตบชวากับเนื้อพื้นพอลิเมอร์มีความเข้ากันได้ดี โดยเส้นใยจะถูกเนื้อพื้นของพอลิเมอร์ห่อหุ้มรอบเส้นใย แสดงดังรูปที่ 4.16 ข) ซึ่งการเข้ากันได้ดีเกิดเนื่องจากอนุภาคของพอลิเมอร์กับเส้นใยผักตบชวาที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 โดยสารคู่ควบจะทำหน้าที่ปรับสภาพพื้นผิวของเส้นใย ทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่

ไฮดรอกซิลของเส้นใยผักตบชวา ทำให้เส้นใยผักตบชวาสามารถจับตัวกับเนื้อพื้นได้ดีกว่าเส้นใยผักตบชวาที่ไม่ได้ทำการปรับปรุงด้วยสารคู่ควบไซเลนซนิด A-137 การเข้ากันได้ดีทำให้รอยต่อระหว่างวัฏภาคลดน้อยลง ส่งผลให้การถ่ายเทแรงสามารถส่งผ่านไปยังบริเวณอื่นได้ไม่เกิดการสะสมแรงบริเวณรอยต่อระหว่างเส้นใยกับเนื้อพื้นพอลิเมอร์

บทที่ 5
บทสรุป และข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงบทสรุป ข้อเสนอแนะ และการพัฒนา ปัญหาที่พบ และแนวทางการแก้ไขปัญหา ของโครงงานวิจัย โดยมีรายละเอียดดังนี้

5.1 บทสรุป

5.1.1 การศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิแลคติกแอซิดกับเส้นใยธรรมชาติ ชนิดเส้นใยฟางข้าว และเส้นใยผักตบชวา ที่ปริมาณต่างๆ พบว่าวัสดุเชิงประกอบที่ใช้เส้นใยผักตบชวา ให้ค่าสมบัติเชิงกลดีกว่าวัสดุเชิงประกอบที่ใช้เส้นใยฟางข้าว

5.1.2 การศึกษาสมบัติการย่อยสลายโดยวิธีฝังกลบ พบว่าการย่อยสลายวัสดุเชิงประกอบที่ใช้เส้นใยผักตบชวา และวัสดุเชิงประกอบที่ใช้เส้นใยฟางข้าว เกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อนำไปฝังกลบดิน เมื่อระยะเวลาที่เปลี่ยนแปลงไปน้ำหนักของชิ้นงานมีแนวโน้มลดลงทุกๆ สัปดาห์

5.1.3 การศึกษาสัณฐานวิทยา พบว่าเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิแลคติกแอซิดกับเส้นใยธรรมชาติที่ไม่ได้ทำการปรับปรุงเส้นใย เกิดรอยต่อระหว่างวัฏภาคของเส้นใยกับเนื้อพื้นพอลิเมอร์อย่างชัดเจน แต่เมื่อทำการปรับปรุงเส้นใยก่อนการผสมพอลิเมอร์ทำให้เส้นใยกับพอลิเมอร์สามารถเข้ากันได้ดี ทำให้รอยต่อระหว่างวัฏภาคลดน้อยลง ส่งผลให้การถ่ายเทแรงสามารถส่งผ่านไปยังบริเวณอื่นได้ไม่เกิดการสะสมแรงบริเวณรอยต่อระหว่างเส้นใยกับเนื้อพื้นพอลิเมอร์

5.1.4 การศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิแลคติกแอซิดกับเส้นใยผักตบชวา ที่ทำการปรับปรุงเส้นใยโดยใช้สารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137 พบว่า ให้ค่าสมบัติเชิงกลที่ดีกว่าวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิแลคติกแอซิดกับเส้นใยผักตบชวาที่ไม่ได้ทำการปรับปรุงเส้นใยโดยสารคู่ควบไซเลน ชนิด A-137

5.2 ข้อเสนอแนะ และการพัฒนา

5.2.1 สำหรับปริมาณเส้นใยในวัสดุเชิงประกอบ สามารถลด หรือ เพิ่มปริมาณเส้นใยเพื่อศึกษาสมบัติเชิงกลได้

5.2.2 การเติมสารคู่ควบ สามารถเติมสารคู่ควบชนิดอื่นเพื่อปรับปรุงเส้นใยก่อนการขึ้นรูปได้

5.3 ปัญหาที่พบ และแนวทางการแก้ปัญหา

5.3.1 ในขั้นตอนการบดเส้นใยฟางข้าว และเส้นใยผักตบชวา ถ้าบดไม่ละเอียดจะทำให้ตอนร่อนด้วยตะแกรงร่อน เส้นใยฟางข้าว และเส้นใยผักตบชวา จะมีลักษณะที่ได้ออกมาเป็นเส้นๆ ขนาดเล็ก ซึ่งเป็นผลทำให้ตอนขึ้นรูปชิ้นงาน เกิดความไม่สม่ำเสมอในชิ้นงาน จึงควรบดเส้นใยให้ละเอียดมากขึ้น โดยการเพิ่มจำนวนรอบในการบด

5.3.2 อุปกรณ์ และเครื่องมือในห้องปฏิบัติการไม่เพียงพอต่อความต้องการทำให้เกิดความล่าช้าในการปฏิบัติงาน

5.3.3 เกิดความล่าช้าในการปฏิบัติงาน เนื่องจากต้องใช้เวลาในการหาวัตถุดิบ เพราะต้องสั่งวัตถุดิบจากต่างจังหวัด

เอกสารอ้างอิง

กรมปศุสัตว์ กองอาหารสัตว์. **การใช้วัสดุเหลือใช้ของฟางข้าวเป็นอาหารสัตว์,** สืบค้นเมื่อวันที่ 8 กันยายน2554,จาก http://www.dld.go.th/nutrition/exhibision/feed_stuff/hay.htm

แคลเชิร์ฟ. (2553). **Two Roll Mill Machine.** สืบค้นเมื่อวันที่ 10 กันยายน 2554, จาก http://www.talad2you.com/automobile/viewitem.php?id=133231

จิราวรรณ หาญวัฒนกุล. (2549). **ความต้านทานแรงกระแทกของพลาสติกแบบไอซอด.** สืบค้นเมื่อวันที่ 9 กันยายน 2554, จาก http://www.dss.go.th/dssweb/st-articles/files/la_12_2549_izod.pdf

จุฑามาส สานต้ะ และมณีรัตน์ แซ่อ่อง. (2552). **ผลของการใช้เส้นใยจากพืชต่อสมบัติของคอมโพสิตชีวภาพ.** : ปริญญานิพนธ์ วศบ.,มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก

เจริญ นาคะสรรค์. (2542). **กระบวนการแปรรูปพลาสติก.** (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ : นิติธรรม

ดวงแข บุตรกูล. (2554). **การศึกษาการเตรียมเม็ดคอมพาวด์วัสดุผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกกับเส้นใยธรรมชาติ.** สืบค้นเมื่อวันที่ 10 กันยายน 2554, จาก http://www.science.swu.ac.th

ธนาวดี ลี้จากภัย. (2549). **พลาสติกย่อยสลายได้.** พิมพ์ครั้งที่ 1. ปทุมธานี : ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2549

ธนาวดี ลี้จากภัย. (2551). **พลาสติกย่อยสลายได้.** วิชาการ.คอม. สืบค้นเมื่อ 5 กันยายน 2554, จาก http://www.vcharkarn.com/varticle/38245

บริษัท พีทีที โพลีเมอร์มาร์เก็ตติ้ง จำกัด. (2553). Polymers place. PTT Group.10(1), 6-7

นิลุบล เผือกบัวขาว. (2550). **สมบัติเชิงกลและสัณฐานวิทยาของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปใหม่โดยมีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารเติมแต่ง.** วิทยานิพนธ์ วศบ.มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ.

ปรีชา พหลเทพ. (2533). **พอลิเมอร์.** (พิมพ์ครั้งที่ 4). กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง

มงคล กาศมณี และสมภพ โนติ๊บ. (2553). **ศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิแลคติกแอซิดคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยธรรมชาติ.** : ปริญญานิพนธ์ วศบ.,มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก

มหาวิทยาลัยสยาม. ใบความรู้. **เอกสารประกอบการสอน.** สืบค้นเมื่อวันที่ 5 กันยายน 2554, จาก http://www.eng.siamu.ac.th/eng_doc/course_156323_1.pdf

รัฐภูมิ สันตยานนท์. (2544). **การศึกษาปรับปรุงสมบัติด้านการทนความชื้นของแป้งมันสำปะหลังเพื่อใช้งานเป็นบรรจุภัณฑ์ที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ.** วิทยานิพนธ์ วศบ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

วิชาการดอทคอม. (2550). **ผักพื้นบ้านดั้งเดิมที่ถูกลืม.** สืบค้นเมื่อวันที่ 9 กันยายน 2554, จาก http://www.vcharkarn.com/varticle/39471#

สิริพร วาสนาประเสริฐ. (2550). **การพัฒนาผนังซีเมนต์เส้นใยพืชสำหรับอาคารไม่ปรับอากาศ.** วิทยานิพนธ์สศบ., มหาวิทยาลัยศิลปากร, นนทบุรี.

สุรชัย พิพัฒน์วุฒิวงศ์ และธนากร กลิ่นจันทร์. (2539). **การศึกษาเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของพลาสติก HDPE (เกรด N3260) โดยการเสริมแรงด้วยเส้นใยจากผักตบชวา.** ปริญญานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ.

สถาบันนวัตกรรม และพัฒนากระบวนการเรียนรู้. (2552). **กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน.** สืบค้นเมื่อวันที่ 10 กันยายน 2554, http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/nano/Page/Unit4-5.html

สถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย. เกร็ดความรู้. ศูนย์เทคโนโลยีและวัสดุแห่งชาติ. สืบค้นเมื่อวันที่ 4 กันยายน 2554, จากhttp://www.mtec.or.th/laboratory/mech/index.php/knowlegde/45--toughness-impact-test

สมเกียรติ ศรีภัทรานุสรณ์. (2553), งานพลาสติก. สืบค้นเมื่อ 13 กันยายน 2554, จาก http://mold.net46.net/index.php?option=com_content&task=blogsection&id=3&Itemid=15

สุรชัย ศรีชินราช. (2554). **องค์ประกอบทางเคมีของไม้.** บูรณาพากรุ๊ป. สืบค้นเมื่อ 5 กันยายน 2554, จาก http://buranapagroup.com/knowledge_chemical.php

อโณทัย ผลสุวรรณ. (2548). **แผ่นวัสดุผสมจากพอลิเอททิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ และผงขี้เลื่อยไม้ยางพารา.** สืบค้นเมื่อ 11 กันยายน 2554, จาก www3.eng.psu.ac.th/pec/5/pec5/paper/PEC5024.pdf

อิทธิพล แจ้งชัด. (2544). **พอลิเมอร์คอมโพสิต,** (กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง), 75-80.

อิโตคิน เทคโนโลยี. (2551). **เครื่องวัดความแข็ง.** สืบค้นเมื่อ 10 กันยายน 2554, จาก http://www.itokin2000.com/index.php?lay=show&ac=article&Id=538807154&Ntype=23

แอสโทร อินสทรูเม้นท์. (2552). **Tensile and Compression Testing Machine.** สืบค้นเมื่อ 12 กันยายน 2554, จาก http://www.astroinstrument.com/tensile.html

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Davis, G. (2003). "Characterization and characteristics of degradable polymer sacks."Journal of Materials Characterization.51 : 147 – 157.

J. A. Manson and L. H. Sperling.(1976). **Polymer Blend and Composite.** New York : Plenum Press, Inc. : 38-41.

K. Oksman, M. Skrifvars and J.-F. Selin.(2003). **Natural fibres as reinforcement in polylacticacid (PLA) composites.** Composites Science and Technology 63, 1317–1324.

R. P. Brown. (1988) **Handbook of Plastic Test Method.** New York : [n.p.], : 148-160.

ภาคผนวก ก

ตารางแสดงสมบัติเชิงกลของพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยธรรมชาติที่ไม่มีการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใย และพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยธรรมชาติที่มีการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใย

ตารางที่ ก.1 สมบัติเชิงกลของพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยธรรมชาติที่ไม่มีการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใย

ชิ้นงานทดสอบ	Young's modulus (MPa)	Tensile Strength (MPa)	% Elongation at break	Impact Strength (J/m^2)	Hardness (Shore D)
PLA 100 : ฟางข้าว 5	1791.70±29.59	43.59±0.56	5.17±0.08	3.28±0.09	67.62±1.46
PLA 100 : ฟางข้าว 10	1895.82±25.68	40.62±0.55	4.91±0.08	3.24±0.05	66.39±0.78
PLA 100 : ฟางข้าว 15	2034.48±26.58	38.39±0.63	4.48±0.06	3.22±0.05	65.00±0.97
PLA 100 : ผักตบชวา 5	1852.02±025.43	45.76±0.72	4.93±0.06	3.30±0.05	68.47±0.58
PLA 100 : ผักตบชวา 10	2030.28±33.98	43.50±0.72	4.59±0.06	3.28±0.06	67.06±0.66
PLA 100 : ผักตบชวา 15	2135.46±33.75	39.68±0.54	4.34±0.07	3.26±0.07	66.50±0.01

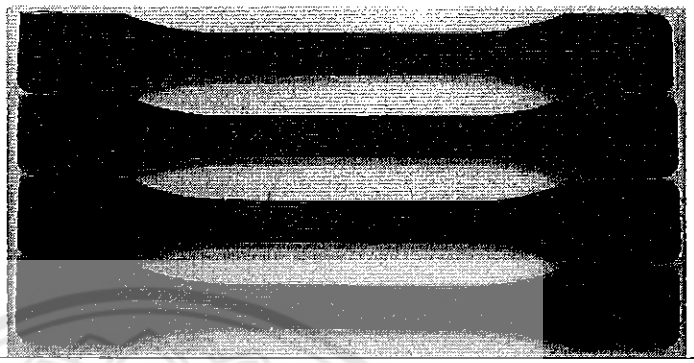
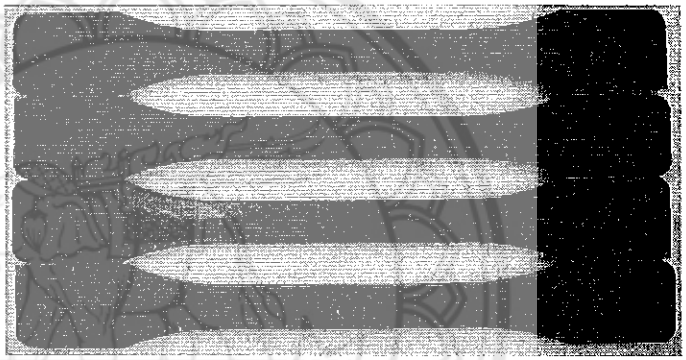
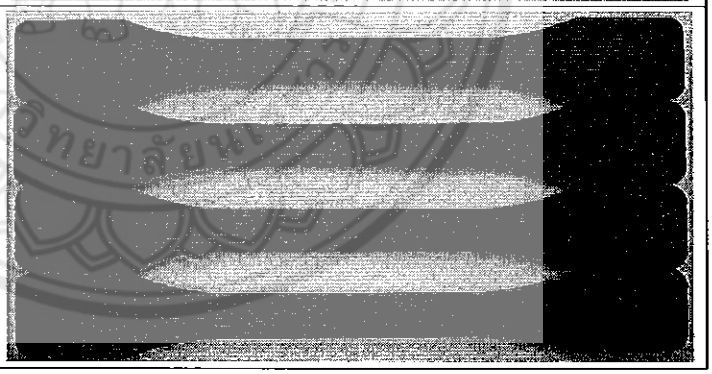
ตารางที่ ก.2 สมบัติเชิงกลของพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยธรรมชาติที่มีการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใย

ชิ้นงานทดสอบ	Young's modulus (MPa)	Tensile Strength (MPa)	% Elongation at break	Impact Strength (J/m^2)	Hardness (Shore D)
PLA 100 : ผักตบชวา 5: 1% A-137	2066.51±36.63	50.59±103	5.72±0.11	3.33±0.02	70.04±0.60
PLA 100 : ผักตบชวา 10: 1% A-137	2248.33±28.78	48.17±0.61	5.45±0.08	3.30±0.03	68.62±0.60
PLA 100 : ผักตบชวา 15: 1% A-137	2361.26±51.84	44.28±0.78	5.01±0.08	3.28±0.11	67.58±2.85

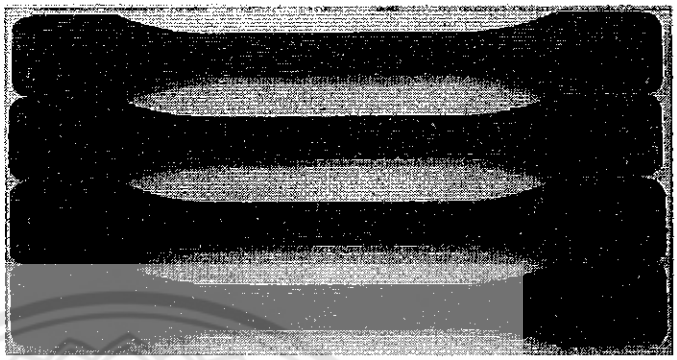
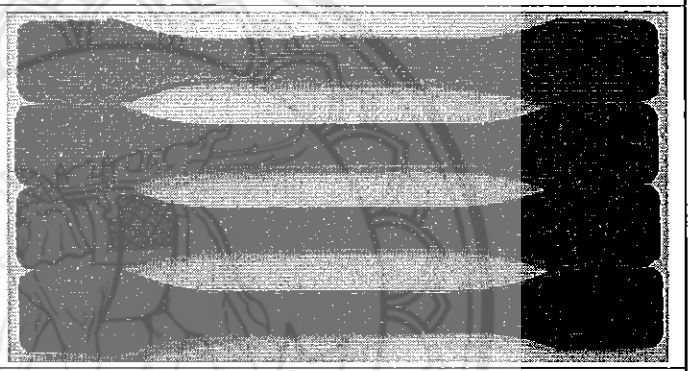
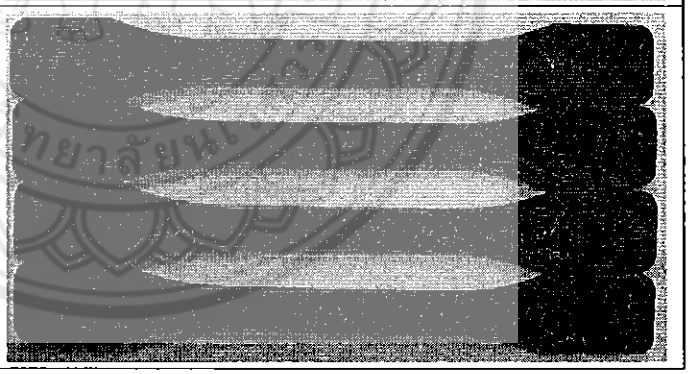
ภาคผนวก ข

การย่อยสลายของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิแลคติกแอซิด กับเส้นใยฟางข้าว

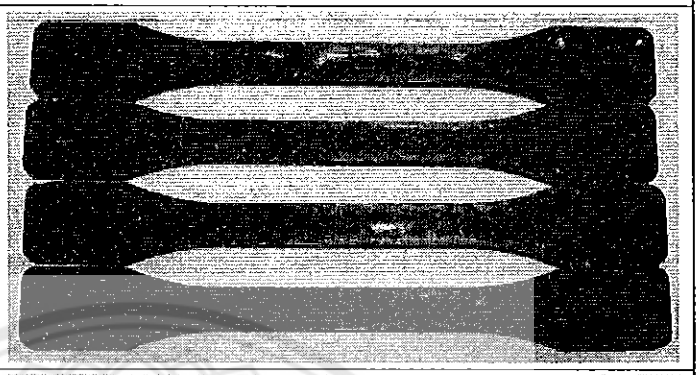
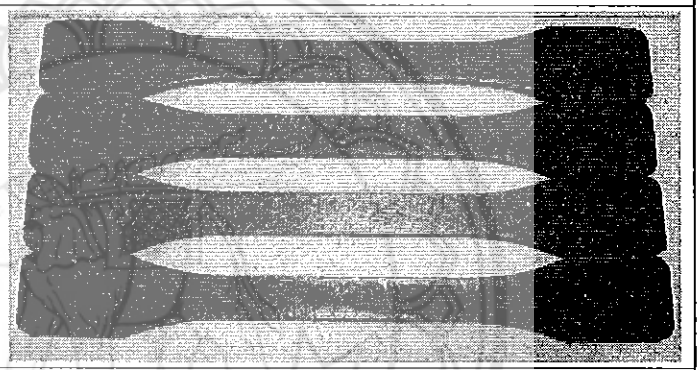
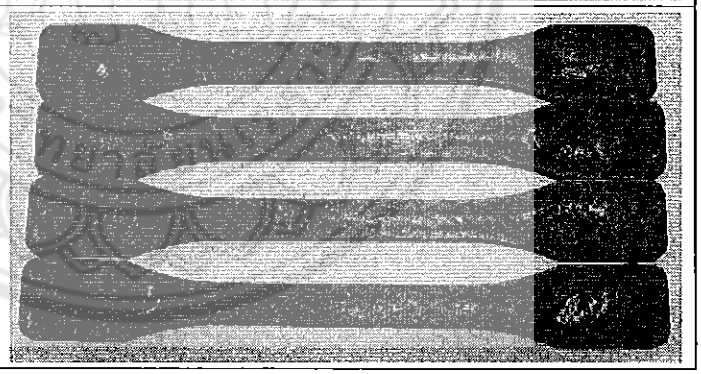
ตารางที่ ข.1 การย่อยสลายของพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยฟางข้าวสัปดาห์ที่ 1

ปริมาณเส้นใย	น้ำหนัก (กรัม)	ค่าเฉลี่ย	รูปภาพชิ้นงานย่อยสลาย
ร้อยละ 5	10.60	10.63	
	10.65		
	10.64		
	10.62		
ร้อยละ 10	10.68	10.69	
	10.71		
	10.69		
	10.68		
ร้อยละ 15	10.75	10.78	
	10.79		
	10.77		
	10.79		

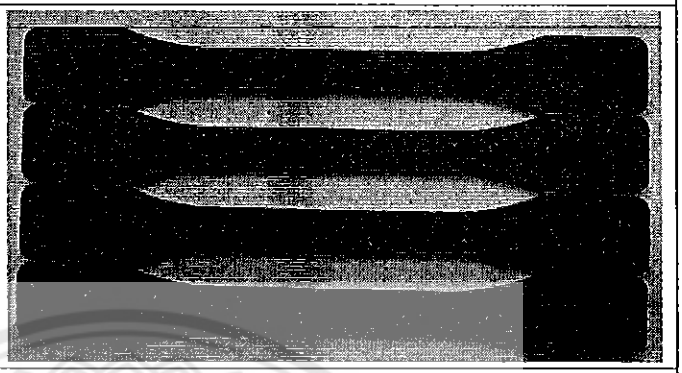
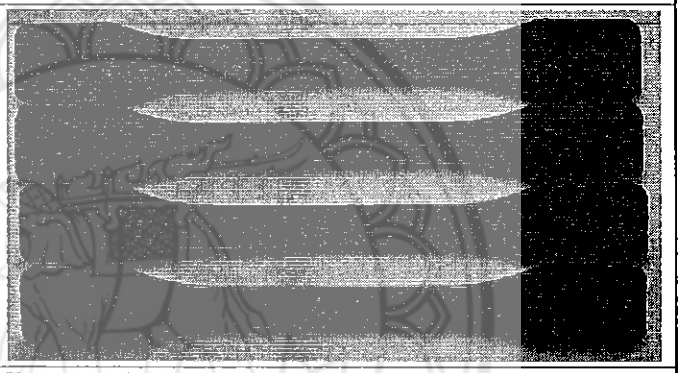
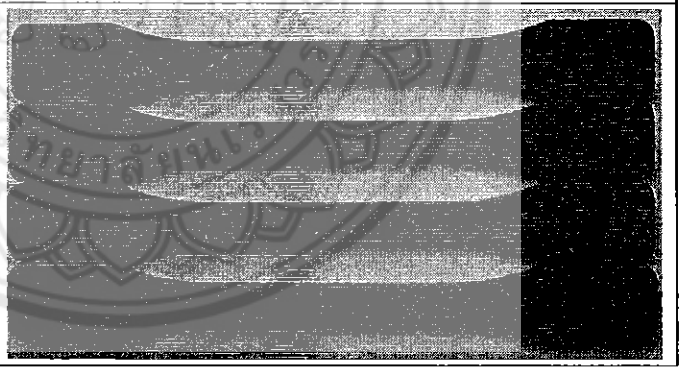
ตารางที่ ข.2 การย่อยสลายของพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยฟางข้าวสัปดาห์ที่ 2

ปริมาณเส้นใย	น้ำหนัก (กรัม)	ค่าเฉลี่ย	รูปภาพขึ้นงานย่อยสลาย
ร้อยละ 5	10.62	10.59	
	10.60		
	10.58		
	10.57		
ร้อยละ 10	10.63	10.61	
	10.58		
	10.63		
	10.60		
ร้อยละ 15	10.70	10.73	
	10.75		
	10.71		
	10.74		

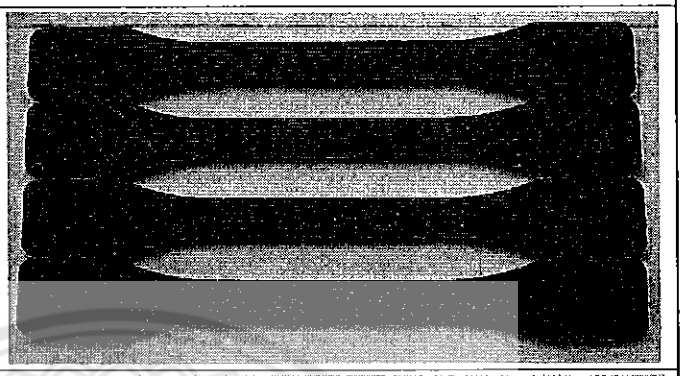
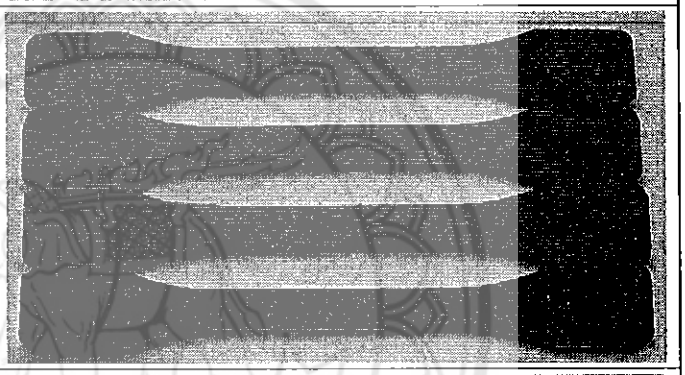
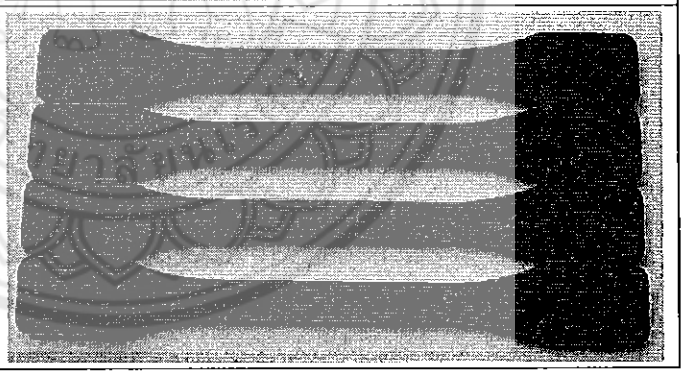
ตารางที่ ข.3 การย่อยสลายของพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยฟางข้าวสัปดาห์ที่ 3

ปริมาณเส้นใย	น้ำหนัก (กรัม)	ค่าเฉลี่ย	รูปภาพชิ้นงานย่อยสลาย
ร้อยละ 5	10.49	10.50	
	10.53		
	10.51		
	10.48		
ร้อยละ 10	10.5	10.54	
	10.52		
	10.57		
	10.55		
ร้อยละ 15	10.68	10.70	
	10.69		
	10.73		
	10.71		

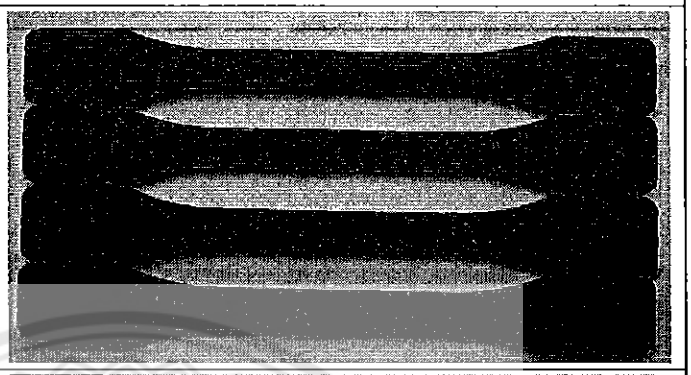
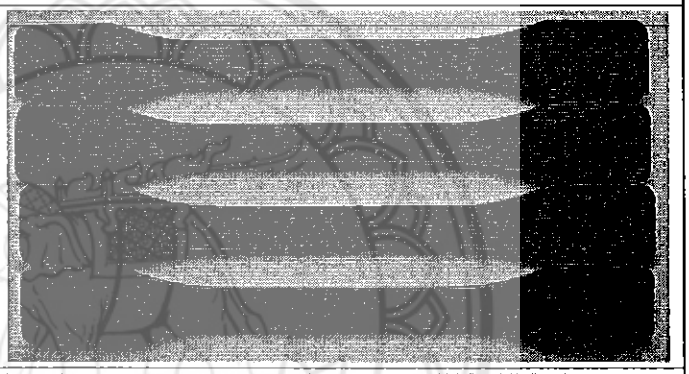
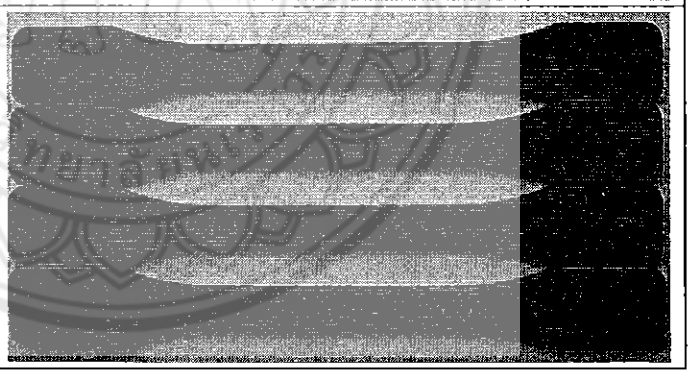
ตารางที่ ข.4 การย่อยสลายของพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยฟางข้าวสัปดาห์ที่ 4

ปริมาณเส้นใย	น้ำหนัก (กรัม)	ค่าเฉลี่ย	รูปภาพชิ้นงานย่อยสลาย
ร้อยละ 5	10.44	10.46	
	10.45		
	10.47		
	10.45		
ร้อยละ 10	10.48	10.50	
	10.49		
	10.51		
	10.51		
ร้อยละ 15	10.65	10.65	
	10.67		
	10.66		
	10.64		

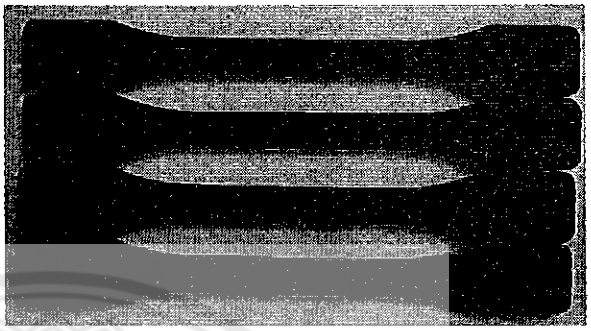
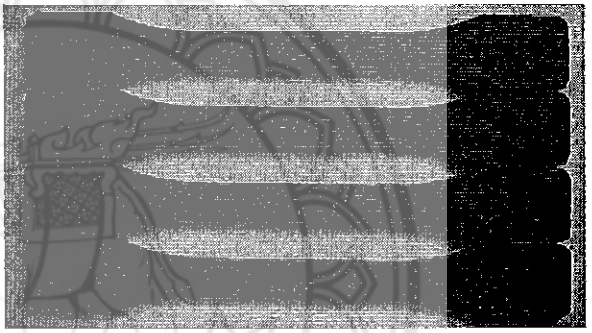
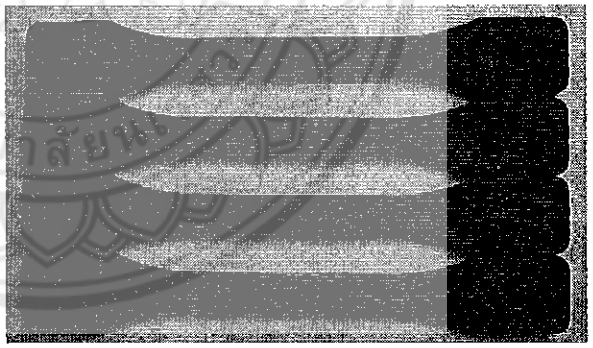
ตารางที่ ข.5 การย่อยสลายของพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยฟางข้าวสัปดาห์ที่ 5

ปริมาณเส้นใย	น้ำหนัก (กรัม)	ค่าเฉลี่ย	รูปภาพชิ้นงานย่อยสลาย
ร้อยละ 5	10.42	10.44	
	10.44		
	10.45		
	10.45		
ร้อยละ 10	10.47	10.49	
	10.48		
	10.5		
	10.49		
ร้อยละ 15	10.61	10.63	
	10.65		
	10.64		
	10.62		

ตารางที่ ข.6 การย่อยสลายของพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยฟางข้าวสัปดาห์ที่ 6

ปริมาณเส้นใย	น้ำหนัก (กรัม)	ค่าเฉลี่ย	รูปภาพชิ้นงานย่อยสลาย
ร้อยละ 5	10.37	10.40	
	10.40		
	10.40		
	10.43		
ร้อยละ 10	10.48	10.45	
	10.45		
	10.46		
	10.44		
ร้อยละ 15	10.6	10.59	
	10.58		
	10.59		
	10.59		

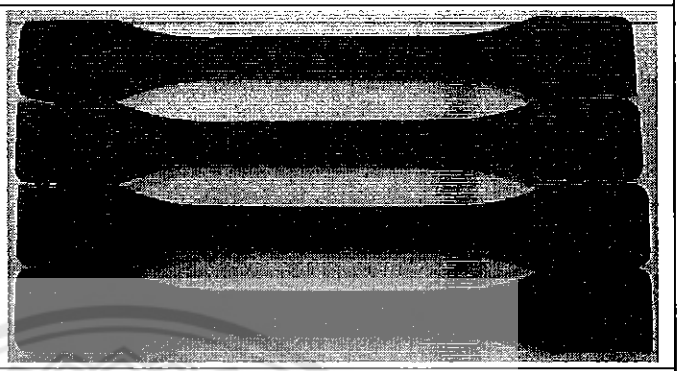
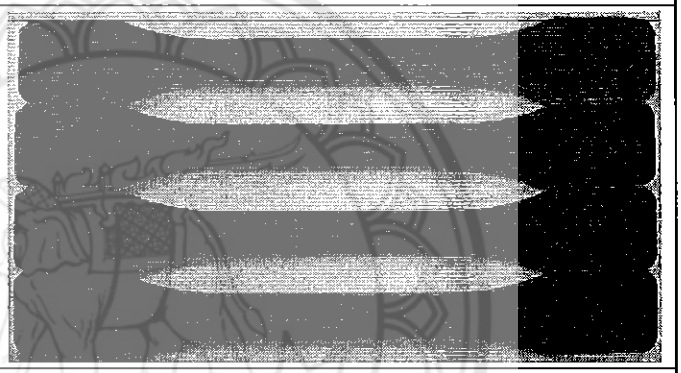
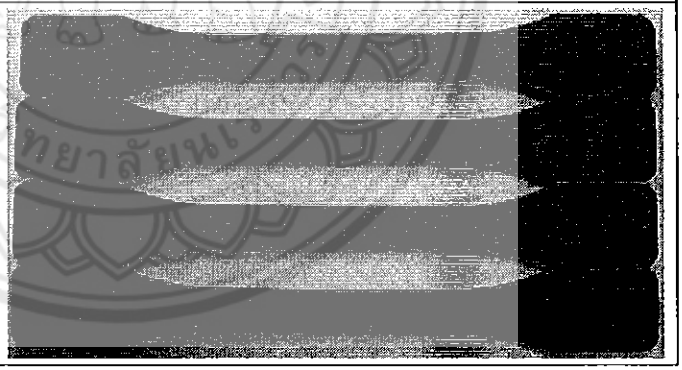
ตารางที่ ข.7 การย่อยสลายของพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยฟางข้าวสัปดาห์ที่ 7

ปริมาณเส้นใย	น้ำหนัก (กรัม)	ค่าเฉลี่ย	รูปภาพชิ้นงานย่อยสลาย
ร้อยละ 5	10.36	10.35	
	10.34		
	10.37		
	10.34		
ร้อยละ 10	10.44	10.43	
	10.41		
	10.45		
	10.43		
ร้อยละ 15	10.56	10.57	
	10.58		
	10.59		
	10.55		

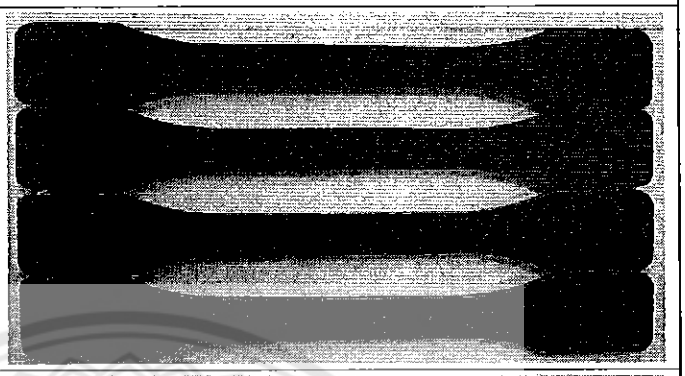
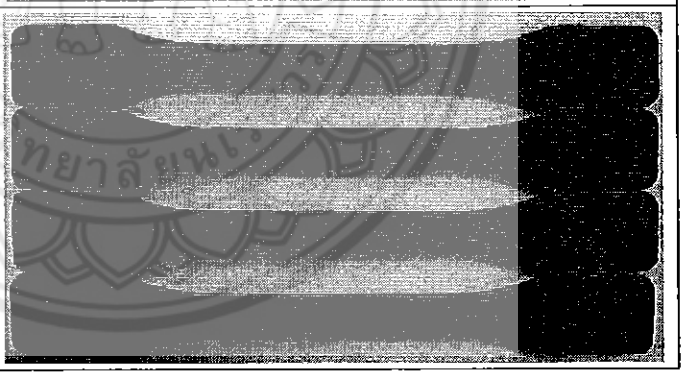
ภาคผนวก ค

การย่อยสลายของพอลิวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิแลคติกแอซิด กับเส้นใยผักตบชวา

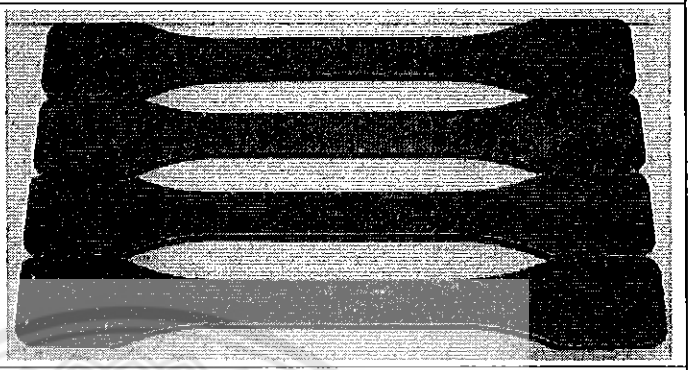
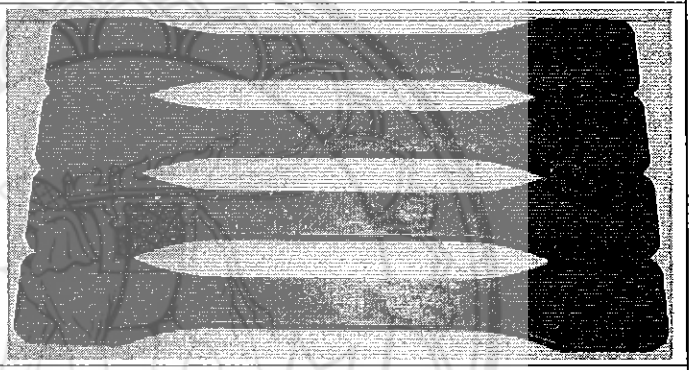
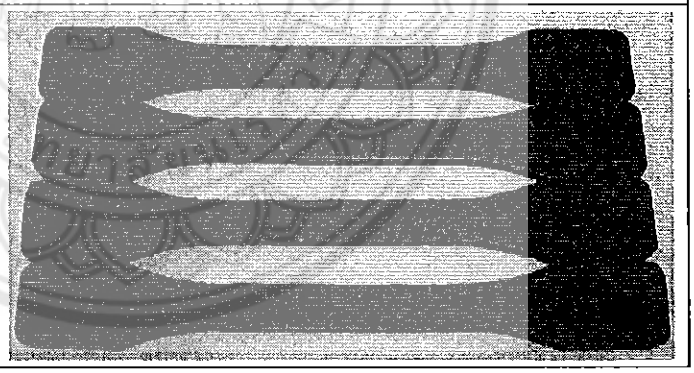
ตารางที่ ค.1 การย่อยสลายของพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยผักตบชวาสัปดาห์ที่ 1

ปริมาณเส้นใย	น้ำหนัก (กรัม)	ค่าเฉลี่ย	รูปภาพชิ้นงานย่อยสลาย
ร้อยละ 5	11	11	
	11		
	11		
	11		
ร้อยละ 10	11	11	
	10.9		
	11		
	11		
ร้อยละ 15	11.36	11.38	
	11.38		
	11.37		
	11.38		

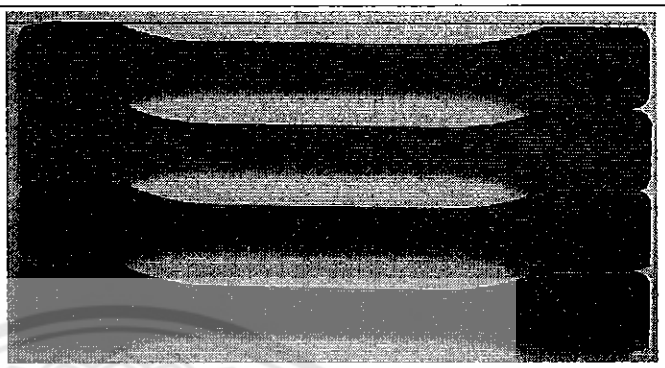
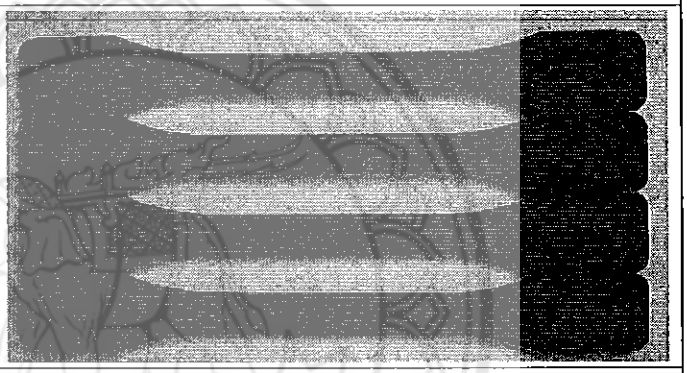
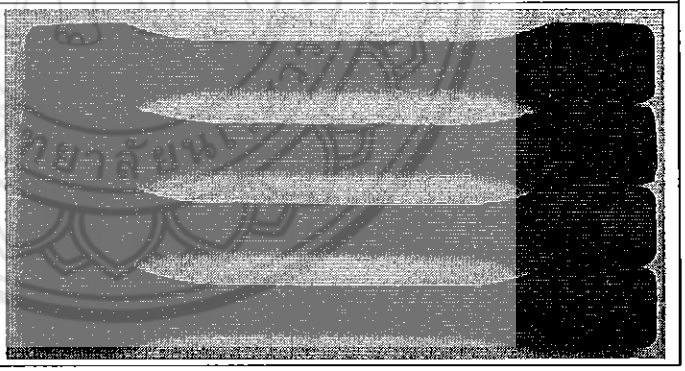
ตารางที่ ค.2 การย่อยสลายของพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยผักตบชวาสัปดาห์ที่ 2

ปริมาณเส้นใย	น้ำหนัก (กรัม)	ค่าเฉลี่ย	รูปภาพชิ้นงานย่อยสลาย
ร้อยละ 5	10.83	10.81	
	10.80		
	10.81		
	10.82		
ร้อยละ 10	10.97	10.95	
	10.95		
	10.95		
	10.93		
ร้อยละ 15	11.27	11.25	
	11.24		
	11.25		
	11.24		

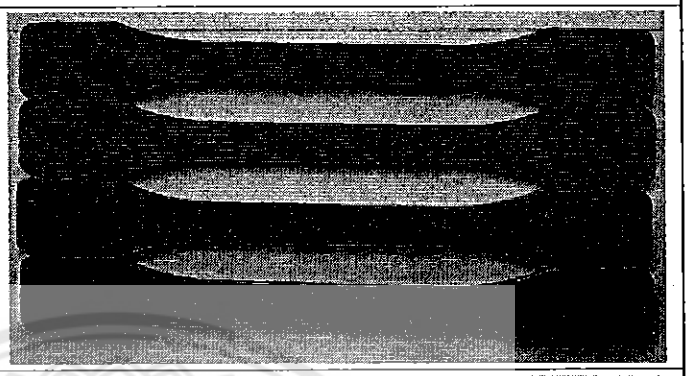
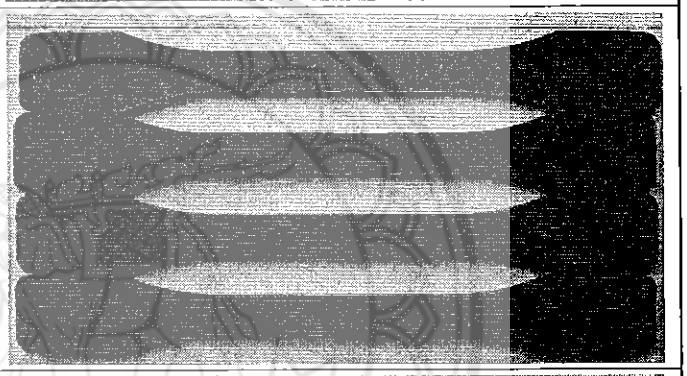
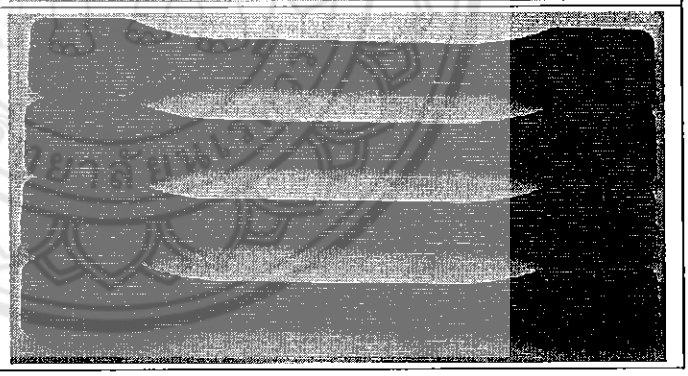
ตารางที่ ค.3 การย่อยสลายของพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยผักตบชวาสัปดาห์ที่ 3

ปริมาณเส้นใย	น้ำหนัก (กรัม)	ค่าเฉลี่ย	รูปภาพชิ้นงานย่อยสลาย
ร้อยละ 5	10.78	10.76	
	10.75		
	10.76		
	10.76		
ร้อยละ 10	10.93	10.91	
	10.90		
	10.91		
	10.92		
ร้อยละ 15	11.16	11.16	
	11.14		
	11.15		
	11.16		

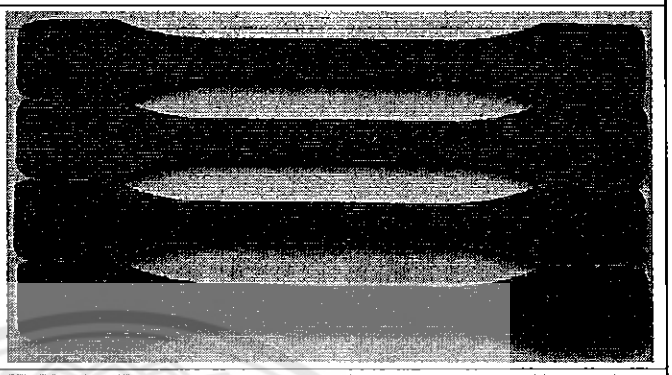
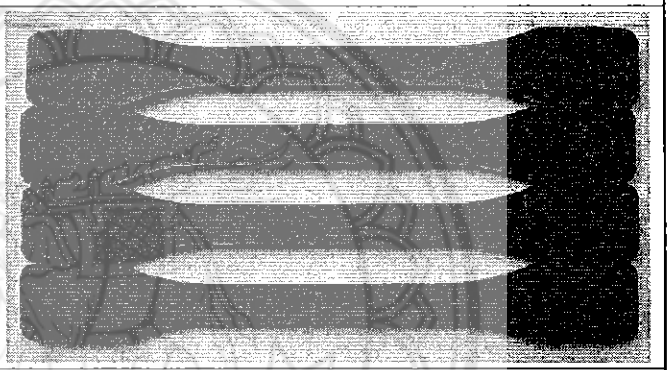
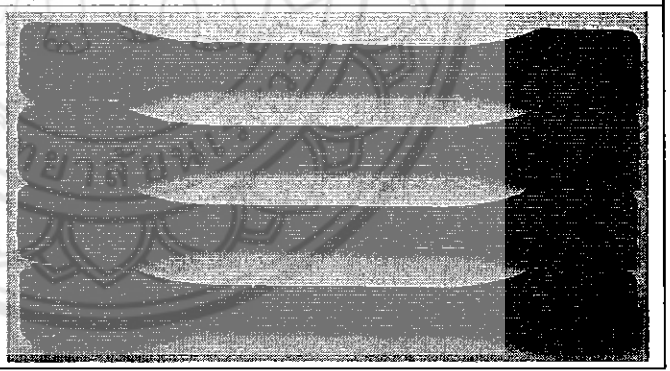
ตารางที่ ค.4 การย่อยสลายของพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยผักตบชวาสัปดาห์ที่ 4

ปริมาณเส้นใย	น้ำหนัก (กรัม)	ค่าเฉลี่ย	รูปภาพชิ้นงานย่อยสลาย
ร้อยละ 5	10.68	10.69	
	10.70		
	10.69		
	10.69		
ร้อยละ 10	10.88	10.87	
	10.86		
	10.89		
	10.87		
ร้อยละ 15	10.99	10.98	
	10.97		
	10.98		
	10.98		

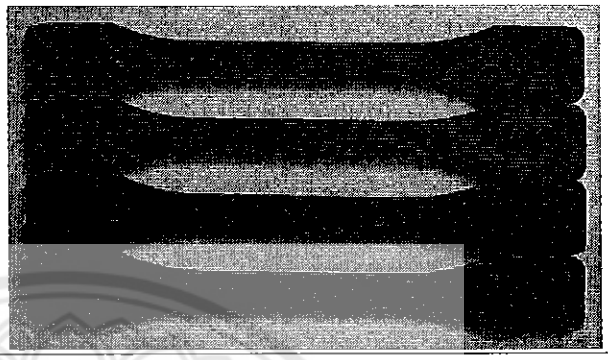
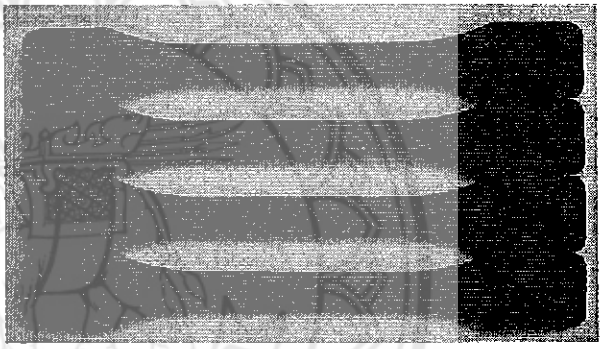
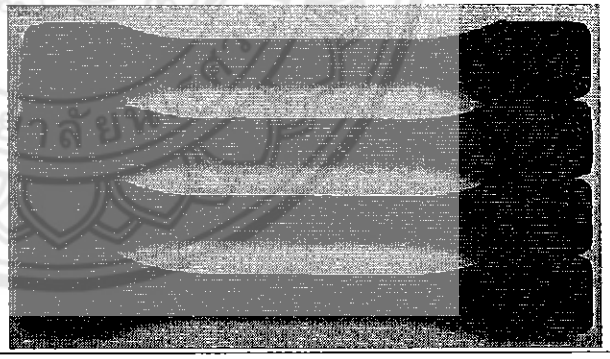
ตารางที่ ค.5 การย่อยสลายของพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยผักตบชวาสัปดาห์ที่ 5

ปริมาณเส้นใย	น้ำหนัก (กรัม)	ค่าเฉลี่ย	รูปภาพชิ้นงานย่อยสลาย
ร้อยละ 5	10.64	10.63	
	10.63		
	10.62		
	10.64		
ร้อยละ 10	10.83	10.84	
	10.85		
	10.84		
	10.84		
ร้อยละ 15	10.95	10.93	
	10.93		
	10.94		
	10.92		

ตารางที่ ค.6 การย่อยสลายของพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยผักตบชวาสัปดาห์ที่ 6

ปริมาณเส้นใย	น้ำหนัก (กรัม)	ค่าเฉลี่ย	รูปภาพชิ้นงานย่อยสลาย
ร้อยละ 5	10.59	10.59	
	10.57		
	10.58		
	10.59		
ร้อยละ 10	10.80	10.8	
	10.82		
	10.79		
	10.79		
ร้อยละ 15	10.86	10.87	
	10.88		
	10.85		
	10.87		

ตารางที่ ค.7 การย่อยสลายของพอลิแลคติกแอซิดผสมเส้นใยผักตบชวาสัปดาห์ที่ 7

ปริมาณเส้นใย	น้ำหนัก (กรัม)	ค่าเฉลี่ย	รูปภาพชิ้นงานย่อยสลาย
ร้อยละ 5	10.51	10.50	
	10.49		
	10.50		
	10.48		
ร้อยละ 10	10.75	10.76	
	10.78		
	10.79		
	10.74		
ร้อยละ 15	10.87	10.84	
	10.80		
	10.85		
	10.84		

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน

ชื่อ นางสาวนิรมล วรอินทร์

ภูมิลำเนา 351/60 ต.ในเมือง อ.เมือง จ.พิษณุโลก 65000

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนวชิรบารมี พิทยาคม จ.พิจิตร
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: ninrapat_13@hotmail.com

ชื่อ นายจักราวุธ ราษี

ภูมิลำเนา 28/1 หมู่ 2 ต.เจดีย์คำ อ.เชียงคำ จ.พะเยา 56110

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนเชียงคำวิทยาคม จ.พะเยา
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: killua_off@hotmail.com

ชื่อ นางสาวภาวินี เนรมัติ

ภูมิลำเนา 26 หมู่ 3 ต.วังทอง อ.วังทอง จ.พิษณุโลก 65000

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนเฉลิมขวัญสตรี จ.พิษณุโลก
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: wariopar@gmail.com