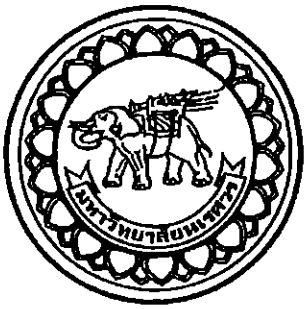


ผลของการใช้เส้นใยจากพืชต่อสมบัติของคอมโพสิตชีวภาพ

EFFECT OF NATURAL FIBERS ON PROPERTIES OF BIODEGRADABLE COMPOSITE

นางสาวจุฑามาส สานตะ รหัส 49360280

นางสาวมลีรัตน์ แซ่อ๋อง รหัส 49361508

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 14 ก.ค. 2553
เลขทะเบียน 150702722 e.2
เลขเรียกหนังสือ ปร. จ628ค 2552
มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2552

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน ผลของการใช้เส้นใยจากพืชต่อสมบัติของคอมโพสิตชีวภาพ

ผู้ดำเนินโครงงาน นางสาวจุฑามาส สานต๊ะ รหัส 49360280

นางสาวมลีรัตน์ แซ่อ๋อง รหัส 49361508

ที่ปรึกษาโครงงาน ดร. นพวรรณ โม้ทอง

ที่ปรึกษาร่วมโครงงาน ดร. อดิศักดิ์ ไสยสุข

อาจารย์วัฒนชัย เยาวรัตน์

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ปีการศึกษา 2552

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

.....ที่ปรึกษาโครงงาน
(ดร. นพวรรณ โม้ทอง)

.....กรรมการ
(รศ.ดร.กวิน สนธิเพิ่มพูน)

.....กรรมการ
(อาจารย์ธนา บุญฤทธิ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์ศรีสัจจา วิทยศักดิ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์เสาวลักษณ์ ตองกลิ่น)

.....กรรมการ
(อาจารย์วัฒนชัย เยาวรัตน์)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	ผลของการใช้เส้นใยจากพืชต่อสมบัติของคอมโพสิตชีวภาพ		
ผู้ดำเนินโครงงาน	นางสาวจุฑามาส	สานตะ	รหัส 49360280
	นางสาวมลีรัตน์	แซ่อ๋อง	รหัส 49361508
ที่ปรึกษาโครงงาน	ดร. นพวรรณ	ไม้ทอง	
ที่ปรึกษาร่วมโครงงาน	ดร. อดิศักดิ์	ไสยสุข	
	อาจารย์วัฒนชัย	เยาวรัตน์	
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ		
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ		
ปีการศึกษา	2552		

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษาถึงผลของชนิดและปริมาณเส้นใย จากกาบหมากแดง กาบกล้วยน้ำว้า ชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 และบวบเหลี่ยม ในอัตราส่วน 0.25 %wt, 0.50 %wt, 1 %wt และ 2 %wt ที่มีผลต่อคุณสมบัติการรับแรงดึง ความต้านทานต่อแรงกระแทก ความแข็ง และการดูดซับน้ำของคอมโพสิตชีวภาพที่มีพลาสติกชีวภาพ PLA เป็นวัสดุเนื้อหลัก

ผลจากการศึกษาพบว่า ชิ้นงานทดสอบที่ผ่านกระบวนการอัดขึ้นรูปโดยใช้เส้นใยพืชจาก กาบหมากแดง กาบกล้วยน้ำว้า ชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 และบวบเหลี่ยม ทำให้คุณสมบัติการรับแรงดึง และความต้านทานต่อแรงกระแทก มีค่าลดลง ส่วนคุณสมบัติความแข็งมีค่ามากขึ้น ที่มากที่สุด คือเส้นใยจากชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 ที่ปริมาณเส้นใย 2%wt และคุณสมบัติการดูดซับน้ำ มีค่ามากขึ้น ที่มากที่สุดคือเส้นใยจากกาบหมากที่ปริมาณเส้นใย 2%wt เมื่อเปรียบเทียบกับ พลาสติกชีวภาพ PLA บริสุทธิ์

เมื่อนำการทดลองมาวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยการตรวจสอบความแปรปรวน (ANOVA) ให้ผลว่าชนิดและปริมาณของเส้นใยมีผลต่อคุณสมบัติการรับแรงดึง คุณสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก คุณสมบัติความแข็ง และคุณสมบัติการดูดซับน้ำ ของคอมโพสิตชีวภาพที่มีพลาสติกชีวภาพ PLA เป็นวัสดุเนื้อหลัก

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้ดำเนินโครงงานวิศวกรรมขอแสดงความขอบคุณบุคคล หน่วยงาน และสถาบันที่มีส่วนสำคัญที่ทำให้การจัดทำโครงงานนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ทำให้ได้มีโอกาสในการดำเนินโครงงาน และภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ และอุปกรณ์ในการดำเนินโครงงานนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.นพวรรณ ไม้ทอง ดร.อดิศักดิ์ ไสยสุข อาจารย์วัฒนชัย เยาวรัตน์ และครูช่างทุกท่าน ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ดร.ช.วยากรณ์ เพ็ชญไพศิษฏ์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ ที่ได้ให้แนวความคิด คำแนะนำ อธิบาย แนวทางในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในการดำเนินโครงงาน และโอกาสที่ดีเสมอมา

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และเพื่อนๆ ที่คอยสนับสนุนและเป็นกำลังใจแก่คณะผู้ดำเนินโครงงานตลอดมา จึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

คณะผู้ดำเนินโครงงานวิศวกรรม
นางสาวจุฑามาส สานตั๊ะ
นางสาวมลีรัตน์ แซ่อ๋อง
เมษายน 2553

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์.....ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....ข
กิตติกรรมประกาศ.....ค
สารบัญ.....ง
สารบัญ (ต่อ).....จ
สารบัญตาราง.....ฉ
สารบัญรูป.....ช
สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ.....ซ
สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ (ต่อ).....ฌ

บทที่ 1 บทนำ.....1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน.....1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน.....2
1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน.....2
1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ.....2
1.5 ขอบเขตการดำเนินงานวิจัย.....3
1.6 สถานที่ในการดำเนินงานวิจัย.....3
1.7 ระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย.....3
1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน.....4

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี.....5
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....5
2.2 พอลิเมอร์.....7
2.3 พลาสติก.....8
2.4 พลาสติกชีวภาพ.....8
2.5 Polylactic Acid.....9
2.6 พืชเส้นใย.....11

สารบัญ (ต่อ)

2.7 คอมโพสิต.....12
2.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวน.....14

บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงงาน.....17
3.1 การแยกเส้นใยจากพืช.....17
3.2 การเตรียมชิ้นงานทดสอบ.....18
3.3 ทดสอบคุณสมบัติของชิ้นงานทดสอบที่ทำจากพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่าง พลาสติกชีวภาพ PLA และเส้นใยจากกาบหมากแดง กาบกล้วยน้ำว้า ชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 และบวบเหลี่ยม เมื่อเปรียบเทียบกับพลาสติกชีวภาพ PLA บริสุทธิ์.....19
3.4 วิเคราะห์ความแปรปรวน.....34
3.5 สรุปผลการทดสอบ.....34

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์.....35
4.1 ผลการทดสอบ.....35
4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล.....43

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....49
5.1 สรุปผลการทดลอง.....49
5.2 ข้อเสนอแนะ.....51

เอกสารอ้างอิง.....52

ภาคผนวก ก.....55

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน....4

2.1 Properties Of PLA....11

2.2 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)....16

3.1 ตารางบันทึกผลคุณสมบัติการรับแรงดึง....23

3.2 ตารางบันทึกผลคุณสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก....27

3.3 ตารางบันทึกผลคุณสมบัติความแข็ง....30

3.4 ตารางบันทึกผลคุณสมบัติการดูดซับน้ำ....33

4.1 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติการรับแรงดึง....43

4.2 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติความต้านทาน ต่อแรงกระแทก....44

4.3 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติความแข็ง....46

4.4 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติการดูดซับน้ำ....47

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 เม็ด PLA....9

2.2 ผลิตภัณฑ์จาก PLA....10

2.3 การย่อยสลายของผลิตภัณฑ์จาก PLA....10

3.1 รูปเครื่องทดสอบคุณสมบัติการรับแรงดึง....20

3.2 รูปชิ้นงานรูปดัมเบล....20

3.3 แบบชิ้นงานทดสอบคุณสมบัติการรับแรงดึง....21

3.4 รูปหน้าจอคำสั่ง....21

3.5 รูปการนำชิ้นงานทดสอบคุณสมบัติการรับแรงดึง....22

3.6 รูปค้อนตีขนาด 2.71 จูลล์....24

3.7 รูปเครื่องทดสอบคุณสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก....24

3.8 รูปชิ้นงานทดสอบรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีรอยบาก....25

3.9 แบบชิ้นงานทดสอบทดสอบรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีรอยบาก....25

3.10 รูปการนำชิ้นงานใส่เครื่องทดสอบคุณสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก....25

3.11 สเกลเครื่องทดสอบคุณสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก....26

3.12 รูปหัวทดสอบคุณสมบัติความแข็ง....28

3.13 รูปชิ้นงานทดสอบคุณสมบัติความแข็ง....29

3.14 รูปการทดสอบคุณสมบัติการดูดซับน้ำ....32

4.1 กราฟแสดงคุณสมบัติการรับแรงดึงที่เส้นใยแต่ละชนิด....36

4.2 กราฟแสดงคุณสมบัติการรับแรงดึงที่ปริมาณเส้นใยที่แตกต่างกัน....36

4.3 กราฟแสดงคุณสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทกที่เส้นใยแต่ละชนิด....37

4.4 กราฟแสดงคุณสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทกที่ปริมาณเส้นใยที่แตกต่างกัน....38

4.5 กราฟแสดงคุณสมบัติความแข็งที่เส้นใยแต่ละชนิด....40

4.6 กราฟแสดงคุณสมบัติความแข็งที่ปริมาณเส้นใยที่แตกต่างกัน....40

4.7 กราฟแสดงคุณสมบัติการดูดซับน้ำเมื่อระยะเวลาผ่านไป 1 วัน....41

4.8 กราฟแสดงคุณสมบัติการดูดซับน้ำเมื่อระยะเวลาผ่านไป 7 วัน....42

สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ

%wt	=	Percent by weight
PBS	=	polybutylene succinate
PCL	=	polycapolactone
PHA	=	polydroxyalkanoates
PLA	=	polylacticacid
ASTM D638	=	การทดสอบคุณสมบัติการรับแรงดึง
ASTM D256	=	การทดสอบคุณสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก
ASTM D2240	=	การทดสอบคุณสมบัติความแข็ง
ASTM D6400	=	การทดสอบคุณสมบัติการย่อยสลาย
NaOH	=	โซเดียมไฮดรอกไซด์
DMA	=	Dynamic mechanical analysis
T_g	=	Glass transition temperature
MCC	=	microcrystalline cellulose
DMTA	=	Dynamic Mechanical Thermal Analysis
SPE	=	สมาคมวิศวกรพลาสติก
SPI	=	สมาคมอุตสาหกรรมพลาสติก
GRAS	=	Generally recognized as safe
T_m	=	melting point temperature
$^{\circ}C$	=	องศาเซลเซียส
GPa	=	จิกกะปาสคาล
PP	=	Polypropylene
PET	=	Poly(ethylene terephthalate)
PS	=	Poystyrene
Kg	=	กิโลกรัม
kN	=	กิโลนิวตัน
mm.	=	มิลลิเมตร
min.	=	นาที
MPa	=	เมกกะปาสคาล
J	=	จูลล์
mm^2	=	ตารางมิลลิเมตร

สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ (ต่อ)

H_0	=	ค่ากลางของประชาชน (กระบวนการ) ไม่แตกต่างกัน
H_a	=	อย่างน้อย 2 ประชากร (กระบวนการ) มีความแตกต่างกัน
SS	=	Sum square
T	=	Total
A	=	Factor A
B	=	Factor B
AB	=	Interaction of Factor A and B
E	=	Error
a	=	Number of levels of factor A
b	=	Number of levels of factor B
n	=	Number of replication per cell

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

ในปัจจุบันพลาสติกเป็นวัสดุที่นำมาใช้อย่างกว้างขวาง เนื่องจากมีน้ำหนักที่เบา ราคาถูก ทนต่อความชื้นได้ดี และสามารถขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์รูปร่างต่างๆ ได้ง่ายกว่าวัสดุชนิดอื่น ผลิตภัณฑ์จากพลาสติกหลายชนิดถูกออกแบบสำหรับการใช้งานครั้งเดียว ด้วยเหตุนี้จึงเป็นปัจจัยเร่งให้เกิดขยะเป็นจำนวนมากในแต่ละปี และส่งผลกระทบในด้านการกำจัด และการนำกลับมาใช้ใหม่ แต่ก็ยังไม่สามารถทำได้อย่างเต็มที่ เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการจัดการขยะและการนำมาใช้ใหม่ค่อนข้างสูง

เมื่อพิจารณาด้านวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตพลาสติก นอกจากจะมีแนวโน้มของราคาสูงขึ้นตามราคาน้ำมันแล้วยังอาจเกิดวิกฤติด้านการขาดแคลนวัตถุดิบ รวมถึงปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมทั้งทางอากาศ ดิน และน้ำ ผลกระทบเหล่านี้จึงเป็นแรงผลักดันในการค้นหาแหล่งพลังงาน และแหล่งวัตถุดิบที่เกิดทดแทนใหม่ได้ (Renewable Resources) ที่มีวงจรการผลิตค่อนข้างสั้น เช่น ผลิตผลทางการเกษตร และมีคุณสมบัติที่สำคัญ คือ สามารถย่อยสลายได้โดยเรียก พอลิเมอร์ หรือ พลาสติกเพื่อวัตถุประสงค์นี้ว่า พลาสติกชีวภาพ (Biodegradable Polymer)

พลาสติกชีวภาพ คือพอลิเมอร์ที่สลายตัวได้โดยใช้เอนไซม์จากจุลินทรีย์ในการตัดสายโซ่แล้วได้ผลิตผลเป็นสารโมเลกุลเล็กที่มีตามธรรมชาติ เช่น น้ำ แอลกอฮอล์ คาร์บอนไดออกไซด์เป็นต้น ซึ่งมีการใช้พลาสติกชีวภาพที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันประกอบด้วยพอลิเมอร์ 4 ตระกูลใหญ่ คือ polybutylene succinate(PBS), polycapolactone(PCL), polydroxyalkanoates(PHA), polylactic acid(PLA) ซึ่งปัจจุบันนิยมใช้ PLA มากที่สุด

การย่อยสลายง่ายของพลาสติกชีวภาพที่ผลิตจากวัสดุธรรมชาติ ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากพลาสติกชีวภาพไม่แข็งแรง ไม่ทนทาน มีอายุการใช้งานสั้นกว่า และต้นทุนการผลิตก็สูงกว่า เมื่อเทียบกับพลาสติกสังเคราะห์ทั่วไปที่ผลิตจากสารปิโตรเคมี

เนื่องจากพลาสติกชีวภาพมีต้นทุนการผลิตค่อนข้างสูง ทำให้พลาสติกชีวภาพมีราคาแพงกว่าพลาสติกสังเคราะห์ที่ใช้กันทั่วไปอยู่ 2 – 3 เท่าจึงมีการประยุกต์ใช้เส้นใยธรรมชาติ (Natural Fibers) มาใช้ประโยชน์เป็นเส้นใยเสริมแรงในวัสดุคอมโพสิตเพื่อลดต้นทุนการผลิต อีกทั้งประเทศไทยยังมีเส้นใยธรรมชาติมากมาย บางชนิดเป็นเศษเหลือทิ้งจาก ภาคการเกษตรและอุตสาหกรรม เช่น เส้นใยอ้อยจากอุตสาหกรรมน้ำตาล ฯลฯ

จากการศึกษาแนวทางการนำเส้นใยธรรมชาติมาใช้เป็นวัสดุเสริมแรง ได้มีผู้ศึกษาโดยใช้เส้นใยจากกล้วยน้ำว้า และเส้นใยป่านศรนารายณ์ เสริมแรงให้กับพอลิโพรพิลีน จากการทดลองพบว่าเส้นใยทั้งสองชนิดทำให้ค่ามอดูลัสของพอลิเมอร์เชิงประกอบสูงกว่าพอลิโพรพิลีนเมทริกซ์ และ

สูงขึ้นตามปริมาณเส้นใยต่ำ (1 - 5 เปอร์เซ็นต์) แต่เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยมากขึ้น ค่าความแข็งแรงในเชิงการดึงลดลง พอลิเมอร์เชิงประกอบจากเส้นใยกล้วยน้ำว้าและเส้นใยป่านศรนารายณ์มีค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกใกล้เคียงกัน

งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาคุณสมบัติต่างๆ ของชิ้นงานทดสอบจากการใช้พลาสติกชีวภาพร่วมกับเส้นใยจากพืชซึ่งสามารถนำไปสู่ความเป็นไปได้ในการลดต้นทุนการผลิตบรรจุภัณฑ์จากพลาสติกชีวภาพที่มีราคาสูง

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

เพื่อศึกษาถึงผลของชนิดและปริมาณเส้นใยจากกาบหมากแดง กาบกล้วยน้ำว้า ชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 และบวบเหลี่ยม ที่มีผลต่อคุณสมบัติการรับแรงดึง ความต้านทานต่อแรงกระแทก ความแข็ง และการย่อยสลายของคอมโพสิตชีวภาพที่มีพลาสติกชีวภาพ PLA เป็นวัสดุเนื้อหลัก

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

ทราบถึงผลของชนิดและปริมาณเส้นใยจากกาบหมากแดง กาบกล้วยน้ำว้า ชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 และบวบเหลี่ยม ที่มีต่อคุณสมบัติการรับแรงดึง ความต้านทานต่อแรงกระแทก ความแข็ง และการย่อยสลายของคอมโพสิตชีวภาพที่มีพลาสติกชีวภาพ PLA เป็นวัสดุเนื้อหลัก

1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)

1.4.1 สภาวะในการขึ้นรูปของชิ้นงานทดสอบที่ทำจากคอมโพสิตชีวภาพระหว่างพลาสติกชีวภาพ PLA และเส้นใยจากกาบหมากแดง กาบกล้วยน้ำว้า ชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 และบวบเหลี่ยม

1.4.2 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติการรับแรงดึง ความต้านทานต่อแรงกระแทก ความแข็ง และการย่อยสลาย ของคอมโพสิตชีวภาพที่มีพลาสติกชีวภาพ PLA เป็นวัสดุเนื้อหลัก

1.5 ขอบเขตในการดำเนินงานวิจัย

1.5.1 ตัวแปรควบคุม

- วัสดุเนื้อหลัก คือพลาสติกชีวภาพ PLA เกรด 2002D

1.5.2 ตัวแปรที่ศึกษา

1.5.2.1 ชนิดของเส้นใย 4 ชนิด คือกาบหมากแดง กาบกล้วยน้ำว้า ชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 และบวบเหลี่ยม

1.5.2.2 ปริมาณของเส้นใยกาบหมากแดง กาบกล้วยน้ำว้า ชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 และบวบเหลี่ยม ที่นำมาทำคอมโพสิตชีวภาพ

1.5.2.3 สมบัติของคอมโพสิตชีวภาพ ได้แก่คุณสมบัติการรับแรงดึง ความต้านทานต่อแรงกระแทก ความแข็ง และการย่อยสลาย

1.5.3 เตรียมชิ้นงานทดสอบโดยวิธีอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน (Compression Molding)

1.5.4 ทดสอบคุณสมบัติการรับแรงดึงโดยใช้มาตรฐาน ASTM D638

1.5.5 ทดสอบคุณสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทกโดยใช้มาตรฐาน ASTM D256

1.5.6 ทดสอบคุณสมบัติความแข็งตามมาตรฐาน ASTM D2240

1.5.7 ทดสอบคุณสมบัติการย่อยสลายตามมาตรฐาน ASTM D6400

1.6 สถานที่ในการดำเนินงานวิจัย

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.7 ระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย

ตั้งแต่วันที่ 1 กรกฎาคม 2552 – 23 เมษายน 2553 เป็นระยะเวลา 10 เดือน

1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน (Gantt Chart)

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน

ลำดับ	การดำเนินงาน	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1.	วางแผนการดำเนินงาน										
2.	ค้นคว้าข้อมูลประกอบโครงงาน										
3.	หาแหล่งวัตถุดิบ และเครื่องมือในการทดลอง										
4.	ขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบตามสัดส่วนของวัสดุเสริมแรงที่กำหนด										
5.	ทดสอบคุณสมบัติด้านต่างๆของชิ้นงานทดสอบ										
6.	วิเคราะห์ผลของชนิดและปริมาณของเส้นใย										
7.	สรุปผล และทำรายงานการวิจัย										

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎี

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สมเกียรติ ปฐมาภินันท์ และคณะ (2545) ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการแยกเส้นใยจากกาบหมากนวลนี้สามารถแบ่งแยกกรรมวิธีการแยกเส้นใยได้ 2 กรรมวิธี คือ 1. การขูดสด 2. การต้มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ความเข้มข้นและเวลาต่างกัน เพื่อต้องการหาว่าวิธีใดสามารถแยกเส้นใยจากกาบหมากนวลได้ดีที่สุดจากการทดลองทราบว่าวิธีที่สามารถแยกเส้นใยจากกาบหมากนวลปริมาณมากที่สุด คือวิธีแยกโดยใช้ต้มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เข้มข้น 16 เปอร์เซ็นต์ ที่ใช้เวลา 90 นาทีได้จำนวนเส้นใย 4.32 กรัมต่อกาบ 500 กรัม โดยใช้เวลาแยก 60 นาที ลักษณะภาคตัดขวางเหมือนเส้นใยลินินและภาคตามยาวเป็นทรงกระบอกมีเส้นตรงสีดำอยู่ภายในเส้นใย ความแข็งแรงของเส้นใยที่ได้จากการขูดสด มีความแข็งแรงเท่ากับ 83.847 gf. ความยาวเส้นใยมีความยาวมากที่สุดคือวิธีการแยกแบบขูดสดมีความยาว 212 มิลลิเมตรและมีขนาดเส้นใย 42 Dtex

ปราณี ชุมสำโรง (2547) จากการศึกษาวิจัยของคณะผู้ศึกษาการนำเส้นใยกล้วยมาเป็นวัสดุเสริมแรงสำหรับพอลิเมอร์ประเภทเทอร์โมเซต ซึ่งได้แก่ฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน และพอลิเอสเทอร์ เปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์เชิงประกอบของฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์เรซินที่ใช้เส้นใยกล้วยกับเส้นใยแก้วเป็นวัสดุเสริมแรง จากข้อมูลวิจัยพบว่าความยาวของเส้นใยที่ให้ค่าความแข็งแรงในเชิงการดึงมากที่สุดคือ 30 มิลลิเมตร สำหรับเส้นใยกล้วยและ 40 มิลลิเมตรสำหรับเส้นใยแก้วค่ามอดูลัสและความแข็งแรงในเชิงการดึงของพอลิเมอร์เชิงประกอบทั้งสองชนิดเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มปริมาณของเส้นใย เมื่อคำนวณหาค่าความแข็งแรงของโมดูลัสจำเพาะ (Strength or Modulus/Density) ของพอลิเมอร์เชิงประกอบ ในงานวิจัยนี้พบว่าพอลิเมอร์เชิงประกบจากเส้นใยกล้วยมีค่าสูงกว่ากรณีใช้เส้นใยแก้ว และค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์เชิงประกอบทั้งสองชนิดมีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณเส้นใย จะเห็นได้ว่าพอลิเมอร์เชิงประกอบจากเส้นใยกล้วยมีคุณสมบัติเชิงกลจำเพาะที่ดีเทียบท่ากับพอลิเมอร์เชิงประกอบจากเส้นใยแก้ว ดังนั้นจึงเป็นไปได้ที่จะใช้พอลิเมอร์เชิงประกอบจากเส้นใยกล้วยสำหรับผลิตวัสดุโครงสร้าง (Structural Materials) ศึกษาถึงผลของอุณหภูมิ ความถี่ และปริมาณเส้นใยที่มีต่อคุณสมบัติความยืดหยุ่นหนืด (Visco-elastic Properties) ของพอลิเมอร์เชิงประกอบระหว่างพอลิเอสเทอร์และเส้นใยกล้วยโดยใช้ดีเอมเอ (Dynamic Mechanical Analysis, DMA) และที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิทรานซิชันแก้ว (Glass Transition Temperature, T_g) ของพอลิเมอร์แมทริกซ์ค่าไดนามิกมอดูลัสของพอลิเมอร์เชิงประกอบมีค่าเพิ่มตามการเพิ่มปริมาณเส้นใย และที่ปริมาณเส้นใยเท่ากับ 40 เปอร์เซ็นต์ ค่า T_g ของพอลิเมอร์

เชิงประกอบเคลื่อนไปทางด้านที่อุณหภูมิสูงขึ้นเมื่อเพิ่มความถี่ที่ใช้ในการทดสอบสิ่งนี้แสดงให้เห็นว่าเส้นใยกับพอลิเมอร์เมทริซ์ยึดเหนี่ยวกันดีขึ้นที่สัดส่วนของเส้นใยสูงและจากงานวิจัยดังกล่าวจึงมีการศึกษาวิจัยถึงคุณสมบัติเชิงกลของพลาสติกเสริมแรงด้วยเส้นใยธรรมชาติที่มีในประเทศไทยหรือพอลิเมอร์เชิงประกอบจากเส้นใยธรรมชาติ โดยเส้นใยธรรมชาติที่เลือกใช้ ได้แก่ เส้นใยกล้วยน้ำว้าและเส้นใยป่านศรนารายณ์ จากผลการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลซึ่งประกอบด้วย การทดสอบคุณสมบัติการดึงและการทดสอบค่าความต้านทานต่อแรงกระแทก พบว่าค่ามอดูลัสของพอลิเมอร์เชิงประกอบจากเส้นใยทั้งสองชนิดมีค่าสูงกว่าพอลิโพรพิลีนเมทริกซ์ และมีค่าสูงขึ้นตามปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้น ค่าความแข็งแรงในเชิงการดึงมีค่าสูงกว่าพอลิโพรพิลีนเมื่อใช้ปริมาณเส้นใยต่ำ (1-5 %) แต่เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยมากขึ้นค่าความแข็งแรงในเชิงการดึงลดลง ที่เปอร์เซ็นต์เส้นใยเท่ากัน พอลิเมอร์เชิงประกอบจากเส้นใยกล้วยน้ำว้ามีค่ามอดูลัส และค่าความแข็งแรงในการดึงสูงกว่าพอลิเมอร์เชิงประกอบจากเส้นใยป่านศรนารายณ์เล็กน้อย ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์เชิงประกอบจากเส้นใยทั้งสองชนิดมีค่าใกล้เคียงกันและมีค่าลดลงตามปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้น จากการตรวจสอบลักษณะโครงสร้างของพอลิเมอร์เชิงประกอบด้วยกล้องจุลทรรศน์พบว่า พอลิเมอร์เชิงประกอบที่ใช้ปริมาณเส้นใยสูงมีแนวโน้มที่จะเกิดรอยโหว่ภายในชิ้นงาน

K.Oksman และ L.Peterson (2549) ได้ศึกษาการเปรียบเทียบสมบัติทางกลและสมบัติทางความร้อนของคอมโพสิตพอลิเมอร์ชีวภาพ โดยพอลิเมอร์ชีวภาพที่ศึกษา คือพอลิแลคติกแอซิด (PLA) ทำให้เป็นคอมโพสิตกับวัสดุเสริมแรงสองชนิด คือเบนโทไนท์ (Bentonite) และmicrocrystalline cellulose(MCC) ที่ความเข้มข้นของวัสดุเสริมแรง 5 wt% ด้วยวิธีหล่อขึ้นรูปจากสารละลาย (Solution Casting) จากผลการทดลองพบว่า คอมโพสิตของเบนโทไนท์ให้ค่า Tensile Modulus และค่าความเข็งแรงเพิ่มขึ้นมาก แต่การยืดตัวของคอมโพสิตลดต่ำลงมากเมื่อเปรียบเทียบกับ PLA ในขณะคอมโพสิตของ MCC สามารถเพิ่มค่าความแข็งแรงได้พอสมควร แต่คอมโพสิตของ MCC ไม่ทำให้สมบัติการยืดตัวของคอมโพสิตต่างจากของ PLA นอกจากนั้นผลการทดลองที่ได้จากเครื่อง Dynamic Mechanical Thermal Analysis (DMTA) แสดงว่าคอมโพสิตทั้งคู่มีค่า T_g สูงขึ้นจาก PLA ประมาณ 2 องศาเซลเซียส

S.B.Mishra และคณะ (2550) ได้ศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์ระหว่างพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) และพอลิเมอร์ชีวภาพที่ได้จากลิกนิน โดยทำการเตรียมพอลิเมอร์ ผสมด้วยวิธีหล่อขึ้นรูปจากสารละลาย และนำฟิล์มพอลิเมอร์ที่ได้ไปทดสอบ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าพอลิเมอร์ทั้งสองผสมเข้ากันได้ และพอลิเมอร์ผสมมีความสามารถในการโค้งงอ (Flexcibility) ได้มากขึ้น แต่ค่า T_g มีค่าต่ำลงเนื่องจากผลของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลที่ต่ำลง จากการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าสามารถปรับปรุงสมบัติบางประการของพอลิเมอร์ผสมได้ เมื่อนำมาผสมกับพอลิเมอร์อีกชนิดหรือสารเติมแต่งที่มีสมบัติที่ต้องการ

วรวดี สุชัยยะ (2551) จากการศึกษางานวิจัยการเตรียมฟิล์มไบโอคอมโพสิตของแป้งมันสำปะหลังที่เสริมแรงด้วยคริสตัลลีนเซลลูโลสที่เตรียมจากวัตถุดิบทางการเกษตร คือชานอ้อย และกาบกล้วย ด้วยวิธีการไฮโดรไลซิสด้วยกรดซัลฟิวริกและกรดไฮโดรคลอริก พบว่าฟิล์มที่เสริมแรงด้วยไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสจะมีความใสน้อยกว่าฟิล์มที่ไม่ถูกเสริมแรงด้วย ไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส ความขุ่นของฟิล์มไบโอคอมโพสิตเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การเติมไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสลงในฟิล์มแป้ง สามารถปรับปรุงค่าความทนต่อแรงดึงและค่ายังมอดูลัสของฟิล์มแป้งที่เติมพลาสติไซเซอร์ ค่าความทนต่อแรงดึง และค่ายังมอดูลัสสูงสุดของฟิล์มไบโอคอมโพสิตที่เตรียมได้มีค่าในช่วง 10-15 เมกะปาสคาล และ 600 - 800 เมกกะปาสคาล ตามลำดับ ฟิล์มไบโอคอมโพสิตมีความสามารถในการย่อยสลายมากกว่าฟิล์มแป้งที่เติมพลาสติไซเซอร์ อีกทั้งความสามารถในการย่อยสลายของฟิล์มเพิ่มมากขึ้นเมื่อขนาดและปริมาณของไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสเพิ่มมากขึ้น ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับผลของการดูดซึมน้ำของฟิล์มไบโอคอมโพสิต ฟิล์มไบโอคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสของชานอ้อยที่เตรียมจากกรดไฮโดรคลอริก มีเสถียรภาพทางความร้อน สมบัติเชิงกล และความสามารถในการย่อยสลายที่ดีกว่าฟิล์มไบโอคอมโพสิตอื่น ๆ ที่เตรียมได้รวมทั้งฟิล์มแป้งที่เติมพลาสติไซเซอร์

2.2 พอลิเมอร์ (Polymer)

พอลิเมอร์มาจากคำกรีก 2 คำ คือ POLY แปลว่าหลายๆ หรือมาก และ MER แปลว่า หน่วย หรือส่วน ดังนั้นพอลิเมอร์จึงเป็นสารที่มีโมเลกุลยาวมาก มีน้ำหนักโมเลกุลสูงมาก และโมเลกุลเหล่านี้ประกอบด้วยหน่วยที่ซ้ำๆ กันเป็นจำนวนมาก

พอลิเมอร์เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (High Molecular Weight) เกิดขึ้นในธรรมชาติ หรือสังเคราะห์ขึ้นมา ประกอบด้วยหน่วยเคมีเล็กๆ ซึ่งเหมือนกันที่เรียกว่าโมโนเมอร์ (Monomer) มาต่อกันด้วยพันธะเคมี (Chemical Bond)

พอลิเมอร์ คือ สารเคมีที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง 5000 ขึ้นไป ได้จากการรวมตัวของพอลิเมอร์ชนิดเดียวกันหรือต่างกัน เช่น พอลิเอทิลีน ยาง เซลลูโลส

โมโนเมอร์ คือ สารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์

พอลิเมอร์แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

2.2.1 พอลิเมอร์ในธรรมชาติ (Natural Polymers) คือ ไม้ ฝ้าย เส้นใยธรรมชาติ ยาง หนัง ขนสัตว์ ฯลฯ

2.2.2 พอลิเมอร์สังเคราะห์ (Synthetic Polymers) คือ พลาสติก

พอลิเมอร์สังเคราะห์ หรือพลาสติกเป็นส่วนหนึ่งของเคมีอินทรีย์ที่เกิดจากการรวมตัว (Union) ของโมเลกุลง่ายๆ หรือโมเลกุลอิสระ โดยผ่านขบวนการสังเคราะห์ทางเคมีที่เรียกว่าพอลิเมอไรเซชั่น (Polymerization)

2.3 พลาสติก

พลาสติกคือสารสังเคราะห์ (Synthetic Materials) ที่มนุษย์คิดค้นขึ้นมามีโครงสร้างโมเลกุลขนาดใหญ่มาก (Macromolecule) ประกอบด้วยธาตุสำคัญ คือคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน คลอรีน ฟลูออรีน ฯลฯ

สมาคมวิศวกรพลาสติก (SPE) และสมาคมอุตสาหกรรมพลาสติก (SPI) แห่งสหรัฐอเมริกาได้ให้คำจำกัดความของพลาสติกไว้ดังนี้

พลาสติก คือ วัสดุที่ประกอบด้วยสารหลายอย่าง มีน้ำหนักโมเลกุลสูง คงรูปเมื่อผ่านกรรมวิธีการผลิต ลักษณะอ่อนตัวขณะทำการผลิต ซึ่งโดยมากใช้กรรมวิธีการผลิตด้วยความร้อน หรือแรงอัด หรือทั้งสองอย่าง

พลาสติกเป็นสารประกอบพวกไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) ชนิดหนึ่ง ทั้งนี้เพราะพลาสติกส่วนมากมีแหล่งกำเนิดจากน้ำมันและก๊าซธรรมชาติ มีพลาสติกหลายชนิดที่มีเฉพาะธาตุไฮโดรเจนและคาร์บอนล้วนๆ ผสมอยู่ แต่พลาสติกส่วนมากยังประกอบด้วยธาตุชนิดอื่นๆ อีก เช่นออกซิเจน ไนโตรเจน คลอรีน ฟลูออรีน ฟอสฟอรัส กำมะถัน ฯลฯ

2.4 พลาสติกชีวภาพ (Bioplastic)

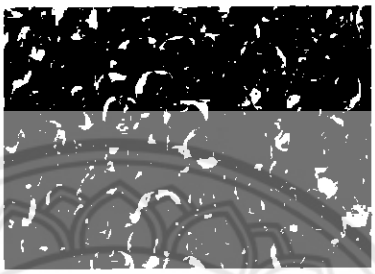
พลาสติกชีวภาพ หรือ พลาสติกชีวภาพย่อยสลายได้ (Biodegradable Plastic) หมายถึงพลาสติกที่ผลิตขึ้นจากวัสดุธรรมชาติส่วนใหญ่เป็นพืช สามารถย่อยสลายได้ในธรรมชาติ(Biodegradable) ช่วยลดปัญหามลพิษในสิ่งแวดล้อม

วัสดุธรรมชาติที่สามารถนำมาผลิตเป็นพลาสติกชีวภาพมีหลายชนิด เช่นCellulose Collagen Casein Polyester แป้ง (Starch) โปรตีนจากถั่ว และข้าวโพด เป็นต้น และในบรรดาวัสดุธรรมชาติทั้งหลาย แป้ง นับว่าเหมาะสมที่สุดเพราะมีจำนวนมากและราคาถูก เนื่องจากสามารถหาได้จากพืชชนิดต่างๆ เช่นข้าวโพด ข้าวสาลี มันฝรั่ง มันเทศ มันสำปะหลัง เป็นต้น

พลาสติกชีวภาพที่ผลิตจากแป้งโดยตรงจะมีขีดจำกัด เพราะจะเกิดการพองตัวและเสียรูปร่างเมื่อได้รับความชื้น จึงได้มีการใช้เชื้อจุลินทรีย์เข้าไปย่อยสลายแป้ง แล้วเปลี่ยนแป้งให้กลายเป็นโมโนเมอร์ ที่เรียกว่ากรดแลคติก (Lactic Acid) จากนั้นนำไปผ่านกระบวนการ พอลิเมอไรเซชั่น ทำให้กรดแลคติกเชื่อมกันเป็นสายยาวที่เรียกว่า พอลิเมอร์

2.5 Polylactic acid (PLA)

Polylactic acid หรือ Polylactide เป็นพลาสติกที่ผลิตจากข้าวโพดหรือถ้อย แต่ส่วนใหญ่นิยมผลิตจากข้าวโพด กระบวนการผลิตคือจะนำเมล็ดข้าวโพดไปทำเป็นแป้งแล้วนำแป้งที่ได้ไปผ่านกระบวนการหมัก (Fermentation) โดยใช้แบคทีเรีย Lactobacillus Brevis ได้ผลผลิตเป็นกรดแลคติก ซึ่งกรดแลคติกนี้เป็นโมโนเมอร์ที่จะนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตเป็นพลาสติก โดยนำไปผ่านกระบวนการพอลิเมอไรเซชั่น ได้เป็นพอลิเมอร์ที่เรียกว่า PLA



รูปที่ 2.1 เม็ด PLA

ที่มา : http://www.purac.com/urc/file2/purac_sites/jose/26fff7b2613f7b8104784b289c62bc6f/pu/PLA_materials.JPG.jpg

2.5.1 ข้อได้เปรียบของ PLA

2.5.1.1 ไม่ต้องใช้ปิโตรเลียมเป็นวัตถุดิบ แต่สามารถผลิตได้จากผลิตผลทางการเกษตร (ซึ่งใช้เวลาในการผลิตที่ไม่ยาวนาน ดังนั้นจึงสามารถขจัดปัญหาการขาดแคลนวัตถุดิบออกไปได้)

2.5.1.2 สามารถควบคุมราคาและต้นทุนการผลิตได้ง่ายกว่าผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียม

2.5.1.3 ถึงแม้ว่าในขณะนี้เทคโนโลยีในการผลิตยังคงถูกจำกัดอยู่ในวงแคบ ทำให้ต้นทุนการผลิตยังคงสูงกว่าพลาสติกทั่วๆไปอยู่เล็กน้อย แต่คาดว่าแนวโน้มราคาจะลดลงเมื่อมีผู้ผลิตเข้าสู่ตลาดมากขึ้น

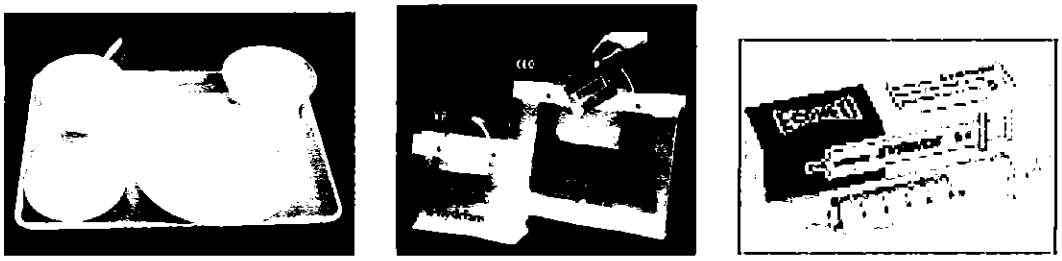
2.5.1.4 เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม การลดอัตราการปลดปล่อยของเสียสู่สิ่งแวดล้อม

2.5.1.5 นอกจากจะสามารถลดอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระหว่างกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

2.5.1.6 สมบัติการย่อยสลายได้เองทางชีวภาพ ผลจากการย่อยสลาย โดยทำให้เกิดการแตกตัวของสายโซ่ยาว ได้เป็นกรดแลคติกกลับมาดังเดิม ซึ่งกระบวนการย่อยสลายนี้เกิดขึ้นได้ทั้งในร่างกายของสิ่งมีชีวิต หรือในสภาวะนอกร่างกาย เช่นในดิน

2.5.2 ผลิตภัณฑ์จาก PLA

ผลิตเป็นอุปกรณ์ใช้แล้วทิ้ง เช่น จานอาหาร แก้วพลาสติก ถุงพลาสติก เข็มฉีดยา ช้อน ส้อม อุปกรณ์ทางการเกษตร(ภาชนะปลูกพืชที่ย่อยสลายได้) แผ่นซีดี เป็นต้น



รูปที่ 2.2 ผลิตภัณฑ์จาก PLA

ที่มา : http://www.mwit.ac.th/~sasinee/studentwork/work/105_mwit13/room3/plas_corn.pps

ผลิตภัณฑ์จาก PLA มีคุณสมบัติพิเศษ คือเป็นสารที่ทนทานต่อการซึมผ่านของน้ำ มีความใส ไม่ย่อยสลายในสภาพแวดล้อมทั่วไป แต่สามารถย่อยสลายได้เอง เมื่อนำไปฝังกลบในดิน ในระยะเวลาอันสั้น และยังนำไปเป็นปุ๋ยหมักโดยไม่ทำลายธรรมชาติ และสามารถย่อยสลายได้ภายใน 4-5 สัปดาห์ โดยความร้อน ความชื้นและเชื้อจุลินทรีย์

รูปที่ 2.3 การย่อยสลายของผลิตภัณฑ์จาก PLA

ที่มา : http://mail.vcharkarn.com/varticle/38245

รูปที่ 2.3 แสดงการย่อยสลายของผลิตภัณฑ์จาก PLA เมื่อนำไปฝังดิน พบว่าผลิตภัณฑ์จาก PLA สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ภายในระยะเวลาอันสั้น

สาร PLA ที่เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของวัสดุที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพแนวทางหนึ่งที่ได้พัฒนาจนประสบความสำเร็จและได้สาร PLA ในปริมาณที่เหมาะสมแก่การลงทุน คือ การใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้จากข้าวโพดโดยการแยกส่วนของแป้งและน้ำตาลที่หลงเหลือในเศษข้าวโพด น้ำตาลที่สกัดได้จะนำไปเข้ากระบวนการหมักจนกระทั่งได้ผลผลิต คือ กรดแลคติก แล้วจึงนำไปเข้ากระบวนการอื่นๆ ต่อไป ความปลอดภัยของสาร PLA ถูกจัดให้เป็น GRAS (Generally Recognized As Safe) โดยสำนักงานอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา

ตารางที่ 2.1 Properties Of PLA

	Physical			Mechanical			Cost (baht/kg)
	Tg (°C)	Tm (°C)	% Crystallinity	Tensile stress (MPa)	%Elongation at break	Modulus (GPa)	
PP	-10	175	70	130-300	>50	2.2-4.2	~50
PET	80	245	38	275	60-165	2.8-4.1	~50
PS (Atactic)	100	-	-	55-82	3-40	3.2	~50
PLA	71.4	163.4	40	72	11	2.11	~120

ที่มา : สุวบุญ จิรชาญ (ผู้บรรยาย). (21 กันยายน 2549). ทิศทางและแนวโน้มในอุตสาหกรรมด้านพลาสติกชีวภาพไทย.อาคารสยามพารากอน: สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ.

2.6 พืชเส้นใย

พืชเส้นใย (Fiber Plants) หมายถึง พืชที่มีเซลล์ที่เรียกว่า Fiber จำนวนมาก พอที่จะนำไปใช้ประโยชน์ได้ โดยไม่คำนึงว่าเส้นใยจะเกิดจากส่วนใดของพืช พืชแต่ละชนิดมีเส้นใยในส่วนต่าง ๆ ต่างกัน และมีปริมาณไม่เท่ากัน เช่น ชบามีเส้นใยมากที่ลำต้นและกิ่ง ส่วนสับปะรดมีเส้นใยมากที่ใบ

พืชเส้นใยในโลกมีจำนวนมากประมาณมากกว่า 2,000 ชนิด ที่นำมาใช้ และประมาณ 750 ชนิด พบเฉพาะที่ประเทศฟิลิปปินส์ ส่วนมากมีการปลูกพืชเส้นใยในเขตร้อน พื้นที่ให้เส้นใยมาก ได้แก่ วงศ์ Bombacaceae, Leguminosae, Linaceae, Moraceae, Tiliaceae, Urticaceae, Agavaceae, Bromeliacae, Gramineae, Palmae และ Musaceae

ลักษณะของเซลล์ไฟเบอร์ เป็นเซลล์ยาว หัวแหลมท้ายแหลม มีผนังหนา เนื่องจากมีลิกนิน (Lignin) และเซลลูโลส มาพอกภายในเซลล์มีรู (Lumen) ขนาดเล็ก เซลล์ไฟเบอร์อาจจะอยู่เป็นเซลล์เดี่ยว หรือเป็นกลุ่มส่วนใหญ่เกิดประสานกันเป็นแผ่น

ลักษณะของเซลล์ไฟเบอร์ เป็นเซลล์ยาว หัวแหลมท้ายแหลม มีผนังหนา เนื่องจากมีลิกนิน (Lignin) และเซลลูโลส มาพอกภายในเซลล์มีรู (Lumen) ขนาดเล็ก เซลล์ไฟเบอร์อาจจะอยู่เป็นเซลล์เดี่ยว หรือเป็นกลุ่มส่วนใหญ่เกิดประสานกันเป็นแผ่น

การจำแนกประเภทไฟเบอร์ นิยมจำแนกเป็น 2 ประเภท

1) การจำแนกประเภทไฟเบอร์โดยอาศัยตำแหน่งที่เกิด (Classification Based On Their Origin)

2) การจำแนกประเภทไฟเบอร์ในทางการค้า โดยดูจากประโยชน์ที่ใช้เป็นหลัก (Classification Based On Their Utilization)

2.7 คอมโพสิต

คอมโพสิต เป็นวัสดุที่ประกอบด้วยการรวมวัสดุมากกว่า 2 ประเภทเข้าด้วยกัน โดยทั่วไปคอมโพสิตจะมีวัสดุที่เป็นเนื้อหลัก (Matrix) และวัสดุเสริมแรง (Reinforcement Materials) ที่กระจายตัวอยู่ในเนื้อหลักนั้น วัสดุที่เป็นเนื้อหลักจะรองรับวัสดุเสริมแรงให้อยู่ในรูปร่างที่กำหนด ขณะที่วัสดุเสริมแรงจะช่วยเพิ่มหรือปรับปรุงสมบัติเชิงกลของวัสดุเนื้อหลักให้สูงขึ้น ซึ่งวัสดุเสริมแรงอาจมีลักษณะเป็นเส้น ก้อน อนุภาค หรือเกล็ดก็ได้ แทรกอยู่ในวัสดุเนื้อหลัก (Base Materials) อย่างโลหะ เซรามิกส์ หรือพอลิเมอร์ ผลของการรวมวัสดุต่างกัน 2 ประเภทเข้าด้วยกันทำให้คอมโพสิตมีความแข็งแรงโดยรวมมากกว่าเมื่อเทียบกับความแข็งแรงของวัสดุแต่ละประเภทโดยลำพัง ปัจจุบันวัสดุคอมโพสิตแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

2.7.1 วัสดุคอมโพสิต

2.7.1.1 พอลิเมอร์คอมโพสิต (Polymer Matrix Composites - PMC's) ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่พบเห็นได้ง่ายของคอมโพสิตกลุ่มนี้ คือผลิตภัณฑ์ที่ทำจาก ไฟเบอร์กลาส ต่าง ๆ พอลิเมอร์คอมโพสิตมีพอลิเมอร์ซึ่งอาจจะเป็นพลาสติก หรือยางเป็นเนื้อหลัก และใช้วัสดุเสริมแรงได้หลายชนิด เช่น เส้นใยแก้ว เส้นใยคาร์บอน เส้นลวดโลหะ เป็นต้น

2.7.1.2 เซรามิกคอมโพสิต (Ceramic Matrix Composites - CMC's) เรารู้จักและคุ้นเคยกับคอมโพสิตกลุ่มนี้ดี คอนกรีตและคอนกรีตเสริมเหล็ก (ปูน กรวด ทราย เหล็กเส้น) เป็นตัวแทนที่พบเห็นได้ทั่วไปของวัสดุกลุ่มนี้ ขณะที่วัสดุเซรามิกคอมโพสิตรุดหน้า (Advanced Composite) มีเนื้อหลักเป็นเซรามิก และใช้วัสดุเสริมแรงเป็นเส้นใย คอมโพสิตกลุ่มนี้มักนำมาใช้งานในสภาวะแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูง เช่น กังหันใบพัดของเครื่องยนต์ไอพ่น เป็นต้น

2.7.1.3 เมทัลคอมโพสิต (Metal Matrix Composites - MMC's) คอมโพสิตกลุ่มนี้พบมากในผลิตภัณฑ์กลุ่มอุตสาหกรรมยานยนต์ เมทัลคอมโพสิตมีโลหะเป็นเนื้อหลัก เช่น อะลูมิเนียม เป็นต้น สำหรับวัสดุเสริมแรงของคอมโพสิตกลุ่มนี้เป็นวัสดุเซรามิกส์ เช่น กลุ่มคาร์ไบด์ กลุ่มไนไตรด์ เป็นต้น

พอลิเมอร์บางชนิด เช่น อีพ็อกซี่และพอลิเอสเทอร์ มักมีข้อจำกัดในการใช้งาน เนื่องจากพอลิเมอร์เหล่านี้มีความแข็งแรงเชิงกลต่ำเมื่อเทียบกับวัสดุอื่น เช่น โลหะ เป็นต้น แต่พอลิเมอร์มีจุดเด่นเรื่องขึ้นรูปง่าย สามารถขึ้นรูปทรงที่มีรายละเอียดซับซ้อนได้ง่าย และมีน้ำหนักเบา (ความหนาแน่นต่ำ) ขณะที่วัสดุเช่น แก้ว อะรามีด (Aramide) และโบรอน (Boron) มีจุดเด่นเรื่องความแข็งแรงต่อแรงดึง (Tensile Strength) และความแข็งแรงต่อแรงกด (Compressive Strength) สูง แต่ว่าวัสดุที่กล่าวมานั้นเมื่อปรากฏในรูปของ ของแข็ง แล้วสมบัติเด่นเหล่านี้ปรากฏออกมาได้ไม่ชัดเจนเนื่องจากวัสดุสามารถแตกหักจากความเค้น (Stress) ได้ง่ายเพียงแค่ผิวของวัสดุมีรอยตำหนิขนาดเล็กเท่านั้น

ดังนั้นการผสมพอลิเมอร์กับเส้นใยเสริมแรง เช่น เส้นใยแก้ว เส้นใยคาร์บอนจะทำให้วัสดุมีสมบัติดีขึ้น เพราะเป็นการรวมเอาจุดเด่นของวัสดุพอลิเมอร์กับจุดเด่นของเส้นใยเสริมแรงเข้าไว้ด้วยกัน โดยเนื้อหลักของพอลิเมอร์ทำหน้าที่กระจายแรงที่กระทำต่อวัสดุลงไประหว่างเส้นใยแต่ละเส้น และพอลิเมอร์ยังทำหน้าที่ปกป้องเส้นใยไม่ให้เสียหายเนื่องจากการเสียดสีและการกระแทก ผลของการรวมพอลิเมอร์กับเส้นใยเสริมแรงทำให้วัสดุพอลิเมอร์คอมโพสิตมีจุดเด่นหลายอย่าง ได้แก่ มีค่าความแข็งแรงและความแข็งตึง (Stiffness) สูง สามารถขึ้นรูปง่าย น้ำหนักเบา และทนทานต่อสภาพแวดล้อมต่าง ๆ

2.7.2 ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของวัสดุคอมโพสิต

2.7.2.1 สมบัติของเส้นใยเสริมแรง

2.7.2.2 สมบัติของพอลิเมอร์ (เรซิน)

2.7.2.3 สัดส่วนของเส้นใยเสริมแรง (Fiber Volume Fraction – FVF) เนื่องจากวัสดุที่เป็นเส้นใยเสริมแรงมักมีสมบัติเชิงกลสูงกว่าพอลิเมอร์ ดังนั้นหากคอมโพสิตมีเส้นใยเสริมแรงมากขึ้นจะทำให้วัสดุมีสมบัติเชิงกลสูงขึ้น แต่การผสมเส้นใยเสริมแรงกับพอลิเมอร์ก็มีขีดจำกัดเนื่องจากเส้นใยเสริมแรงควรมีเนื้อพอลิเมอร์ห่อหุ้มอยู่โดยรอบ โดยทั่วไปการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์คอมโพสิต เช่น เรือไฟเบอร์กลาสจะนิยมขึ้นรูปด้วยวิธีที่เรียกว่า แฮนด์เลย์อัพ (Hand Lay-Up) ซึ่งจะมีสัดส่วนของเส้นใยเสริมแรงประมาณ 30 - 40% แตกต่างจากชิ้นงานคอมโพสิตที่ใช้ในอุตสาหกรรมการบินและอวกาศที่ผลิตด้วยเทคโนโลยีขั้นสูงจะมีสัดส่วนของเส้นใยประมาณ 70%

2.7.2.4 การจัดเรียงตัว (Orientation) ของเส้นใยในคอมโพสิต เนื่องจากเส้นใยเสริมแรงให้ค่าสมบัติเชิงกลตามแนวยาวสูงกว่าแนวขวาง ดังนั้นหากเส้นใยในคอมโพสิตมีการจัดเรียงตัวไปในทิศทางเดียวกันแล้ว สมบัติเชิงกลของคอมโพสิตที่แสดงออกมาจะมีค่าแตกต่างกันตามแนวแรงที่กระทำ ดังนั้นสิ่งสำคัญอย่างหนึ่งที่ต้องพิจารณาตั้งแต่การออกแบบ คือ ขนาดและลักษณะแรงที่กระทำต่อชิ้นงาน

2.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis Of Variance: ANOVA)

การวิเคราะห์ความแปรปรวน เป็นการพิสูจน์หาความแตกต่างของค่าเฉลี่ย (Mean) โดยใช้ค่าความแปรปรวน (Variance) ซึ่งจะทำการวิเคราะห์หาความแตกต่างของค่ากลางระหว่างประชากร โดยการวิเคราะห์ผ่านค่าความแปรปรวน

ข้อเด่นของ ANOVA

1. สามารถวิเคราะห์ความแตกต่างของประชากรได้พร้อมกันมากกว่า 2 ประชากร ซึ่งถ้าเราใช้ T-Test จะทำได้มากที่สุดแค่ 2 ประชากรเท่านั้น

2. สามารถวิเคราะห์ได้มากกว่า 1 ปัจจัย (Factor) ซึ่ง T-Test จะทำได้เพียงปัจจัยเดียวเท่านั้น เช่น ความเร็วรอบของชิ้นงาน (Speed) ระยะของรอยตัด (Depth Of Cut) และอัตราป้อน (Feed Rate)

3. สามารถใช้วิเคราะห์เพื่อให้เห็นผลกระทบซึ่งกันและกันของปัจจัยต่างๆ (Interaction) ได้ด้วย

ข้อกำหนดของ ANOVA

1. ข้อมูลของทุก ๆ ประชากร จะต้องมีการกระจายของข้อมูลแบบปกติ (Normal Distribution) เท่านั้น

2. ค่าความผันแปร (Variation) ของข้อมูลแต่ละประชากรจะต้องไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเท่านั้น

ดังนั้นก่อนทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ ANOVA จำเป็นต้องทำการทดสอบความเป็นการกระจายแบบปกติของข้อมูล (Normality Test) ว่าข้อมูลทุกประชากรมีการกระจายแบบปกติ และทดสอบความความแตกต่างของค่าความผันแปร (Homogeneities Of Variance Test) เพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีความแตกต่างกันทุกประชากร

Factor หมายถึง ตัวแปรที่เราต้องการทราบว่ามีผลกระทบต่อสิ่งที่เราสนใจหรือไม่ ซึ่งบางครั้งก็ใช้คำว่า Treatment ซึ่งหมายถึงลักษณะการควบคุมตัวแปรในการทดลอง แทนคำว่า Factor และบางครั้งก็ใช้คำว่า Way แทนด้วยเหมือนกัน

Response คือ ตัวชี้วัดผลการทดลอง โดยส่วนมากเราจะใช้เพียง 1 Response

Level หมายถึง ประชากรแต่ละประชากรที่เรากำลังทำการศึกษาผลกระทบของปัจจัย ซึ่งบางครั้งก็ใช้คำว่า Treatment Level แทน

การตั้งสมมติฐาน

การตั้งสมมติฐานของกำหนดของ ANOVA เป็นดังนี้

H_0 : ค่ากลางของประชากร (กระบวนการ) ไม่แตกต่างกัน

H_a : อย่างน้อย 2 ประชากร (กระบวนการ) มีความแตกต่างกัน

หรือสามารถเขียนสมมติฐานได้ดังนี้

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = ... = \mu_k$$

$$H_a : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq ... \neq \mu_i$$

หลักการของ ANOVA คือเปรียบเทียบ Variation ที่เกิดจากการเอาค่ากลางทุกประชากร มาเป็นกลุ่มเดียวกัน (Between Samples Variation) กับ Variation ที่เกิดขึ้นในแต่ละกลุ่มตัวอย่าง (Within Samples Variation) ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{Test statistic} = \frac{\text{Between samples variation}}{\text{Within samples variation}} \qquad (2.1)$$

2.8.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบมีปัจจัยสองทาง (Two-way ANOVA)

การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง หรือ Two-way ANOVA **เป็นวิธีการทดสอบเพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นที่เป็นสิ่งทดลองจำนวน 2 ตัวกับตัวแปรตามเพียงตัวเดียว โดยที่ตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นอาจมีลักษณะเชิงคุณภาพที่จำแนกออกเป็นระดับหรือประเภทต่างๆ ส่วนตัวแปรตามมีลักษณะเชิงปริมาณ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นว่าจะส่งผลอย่างไรกับตัวแปรตาม ตามสมมติฐานการวิจัยที่กำหนดไว้โดยที่การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง นอกจากจะสามารถศึกษาผลของตัวแปรทั้งสองตัวไปพร้อมๆ กันแล้ว ยังสามารถศึกษาผลร่วม (Interaction) ระหว่างตัวแปรทั้งสองตัวด้วยว่า ตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นตัวหนึ่งนอกจากจะส่งผลต่อตัวแปรตามแล้วยังส่งผลใดๆ ต่อตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นอีกตัวหนึ่งหรือไม่**

ใน ANOVA นั้นเราจะกล่าวถึง ค่า Sum Square (SS) หรือ Variation นั่นเอง ถ้ามี 2 Factor ลักษณะการอธิบาย Variation คือ

$$SS_T = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{n} y_{ijk}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn} \qquad (2.2)$$

$$SS_A = \sum_{i=1}^{a} \frac{y_{i..}^2}{bn} - \frac{y_{...}^2}{abn} \qquad (2.3)$$

$$SS_B = \sum_{j=1}^{b} \frac{y_{.j.}^2}{an} - \frac{y_{...}^2}{abn} \qquad (2.4)$$

$$SS_{AB} = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b} \frac{y_{ij.}^2}{n} - \frac{y_{...}^2}{abn} - SS_A - SS_B \qquad (2.5)$$

$$SS_E = SS_T - SS_{AB} - SS_A - SS_B \quad (2.6)$$

หาค่า Mean of Square ได้จาก

$$MS_A = \frac{SS_A}{a-1} \quad (2.7)$$

$$MS_B = \frac{SS_B}{b-1} \quad (2.8)$$

$$MS_{AB} = \frac{SS_{AB}}{(a-1)(b-1)} \quad (2.9)$$

$$MS_E = \frac{SS_E}{ab(n-1)} \quad (2.10)$$

เมื่อ T : Total

A : Factor A

B : Factor B

AB : Interaction of Factor A and B

E : Error

a : Number of levels of factor A

b : Number of levels of factor B

n : Number of replication per cell (หมายความว่า การเก็บข้อมูลมีการทำซ้ำ หรือ Repeat กี่ครั้ง)

และสามารถเขียนตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการทดลองแบบแฟคทอเรียลกรณี 2 ตัวแปร ได้ดังนี้

ตารางที่ 2.2 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

Source of Variation	SS	Degree of Freedom	MS	F_0
A	SS_A	a-1	$\frac{SS_A}{a-1}$	$f_0 = \frac{MS_A}{MS_E}$
B	SS_B	b-1	$\frac{SS_B}{b-1}$	$f_0 = \frac{MS_B}{MS_E}$
AB-Interaction	SS_{AB}	(a-1)(b-1)	$\frac{SS_B}{(a-1)(b-1)}$	$f_0 = \frac{MS_{AB}}{MS_E}$
Error	SS_E	ab(n-1)	$\frac{SS_E}{ab(n-1)}$	
Total	SS_T	abn-1		

ที่มา : พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์, การออกแบบการทดลอง, 2546

บทที่ 3
วิธีดำเนินโครงงาน

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ได้จากพลาสติกชีวภาพร่วมกับเส้นใยพืช เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของเส้นใยจากกาบหมากแดง กาบกล้วยน้ำว้า ชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 และบวบเหลี่ยม เมื่อเปรียบเทียบกับพลาสติกชีวภาพ PLA บริสุทธิ์ ซึ่งมีวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองมีดังต่อไปนี้

3.1 การแยกเส้นใยจากพืช

3.1.1 วัสดุและสารเคมี

- กาบหมากแดง กาบกล้วยน้ำว้า ชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 และบวบเหลี่ยม
- น้ำสะอาด

3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

- ถังมีฝาปิด
- ถุงมือ
- กรรไกร
- เตาอบไฟฟ้า
- ถุงป้องกันความชื้น

3.1.3 วิธีแยกเส้นใย

3.1.3.1 แช่กาบหมากแดง กาบกล้วยน้ำว้า ชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 และบวบเหลี่ยมในถังที่มีฝาปิดด้วยน้ำสะอาด

3.1.3.2 แยกเส้นใยออกจากกาบหมากแดง กาบกล้วยน้ำว้า ชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 และบวบเหลี่ยม

3.1.3.3 จากการทดลองเบื้องต้น สามารถแยกเส้นใยจาก

กาบหมากแดง	ที่ระยะเวลา 3 สัปดาห์
กาบกล้วยน้ำว้า	ที่ระยะเวลา 2 สัปดาห์
บวบเหลี่ยม	ที่ระยะเวลา 1 สัปดาห์
ชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50	ที่ระยะเวลา 4 สัปดาห์

3.1.3.4 นำเส้นใยที่ได้ไปตากให้แห้ง และอบด้วยอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

3.1.3.5 เก็บเส้นใยไว้ในถุงป้องกันความชื้นก่อนนำมาอัดขึ้นรูปร่วมกับพลาสติกชีวภาพ PLA

3.2 การเตรียมชิ้นงานทดสอบ

3.2.1 วัสดุและสารเคมี

- เส้นใยที่ได้จากกาบหมากแดง กาบกล้วยน้ำว้า ชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 และบวบเหลี่ยม
- พลาสติกชีวภาพ PLA

3.2.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

- เครื่องอัดขึ้นรูปพลาสติก (Compression Molding)
- แม่พิมพ์ชิ้นงานหนา 1 มิลลิเมตร, 2 มิลลิเมตร และ 4 มิลลิเมตร
- แผ่นพลาสติกใสชนิดสำหรับถ่ายเอกสาร
- ถุงมือกันความร้อน
- เครื่องชั่ง
- นาฬิกาจับเวลา

3.2.3 วิธีเตรียมชิ้นงานทดสอบ

3.2.3.1 ทำการขึ้นรูปพลาสติกชีวภาพ PLA บริสุทธิ์ ที่มีความหนา 1 มิลลิเมตร และ 2 มิลลิเมตร

ที่	อุณหภูมิ	190	องศาเซลเซียส
	แรงม้า	75	แรงม้า
	ระยะเคลื่อนที่	300	เมตร/นาที
	ความจุความร้อน	78	kw.
	แรงดันสูงสุด	60	ตัน
	แรงดันต่อหน่วย	210	kg./cm

3.2.3.2 ทำการขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบที่ทำจากพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพลาสติกชีวภาพ PLA และเส้นใยจากกาบหมากแดง กาบกล้วยน้ำว้า ชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 และบวบเหลี่ยม ในอัตราส่วน 0.25 %wt, 0.50 %wt, 1 %wt และ 2 %wt ที่ความหนา 2 มิลลิเมตร

1) ชั่งเส้นใยจากพืชทั้ง 4 ชนิด ให้ได้ปริมาณ 0.14 กรัม (0.25%wt), 0.28 กรัม (0.5%wt), 0.54 กรัม (1%wt) และ 1.08 กรัม (2%wt)

2) อุ่นแม่พิมพ์ขนาดความหนา 2 มิลลิเมตร ให้ร้อน

3) นำแผ่นพลาสติกชีวภาพ PLA หนา 1 มิลลิเมตร จำนวน 2 แผ่น และเส้นใยพืชแต่ละชนิด มาประกบกันโดยให้เส้นใยอยู่ตรงกลางระหว่างแผ่นพลาสติกชีวภาพ แล้วทำการอัดขึ้นรูป

3.2.3.3 ทำการขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบที่ทำจากพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพลาสติกชีวภาพ PLA และเส้นใยจากกาบหมากแดง กาบกล้วยน้ำว้า ชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 และบวบเหลี่ยม ในอัตราส่วน 0.25 %wt, 0.50 %wt, 1 %wt และ 2 %wt ที่ความหนา 4 มิลลิเมตร

1) ชั่งเส้นใยจากพืชทั้ง 4 ชนิด ให้ได้ปริมาณ 0.28 กรัม (0.25%wt), 0.54 กรัม (0.5%wt), 1.08 กรัม (1%wt) และ 2.16 กรัม (2%wt)

2) อุ่นแม่พิมพ์ขนาดความหนา 4 มิลลิเมตร ให้ร้อน

3) นำแผ่นพลาสติกชีวภาพ PLA หนา 2 มิลลิเมตร จำนวน 2 แผ่น และเส้นใยพืชแต่ละชนิด มาประกบกันโดยให้เส้นใยอยู่ตรงกลางระหว่างแผ่นพลาสติกชีวภาพ แล้วทำการอัดขึ้นรูป

3.3 ทดสอบคุณสมบัติของชิ้นงานทดสอบที่ทำจากพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพลาสติกชีวภาพ PLA และเส้นใยจากกาบหมากแดง กาบกล้วยน้ำว้า ชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 และบวบเหลี่ยมเมื่อเปรียบเทียบกับพลาสติกชีวภาพ PLA บริสุทธิ์

3.3.1 คุณสมบัติการรับแรงดึง

คุณสมบัติการรับแรงดึงของพอลิเมอร์คอมโพสิต ทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบการดึง (Tensile Testing Machine, Lloyd Instruments Type LR 10 K PLUS) ตามมาตรฐาน ASTM D 638 โดยใช้อัตราการดึงคงที่ 5 มิลลิเมตรต่อนาที จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบชนิดละ 6 ตัวอย่าง รวมจำนวนทั้งหมด 102 ชิ้น จะได้ค่าการรับแรงดึง และนำค่าที่ได้จากแต่ละตัวอย่างไปคิดค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3.3.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบคุณสมบัติการรับแรงดึง

1) แปรงทำความสะอาดหัวจับ

2) หัวจับมือหมุน

3) เวอร์เนียร์

4) สกรูที่ใช้ขันหัวจับLoad

5) เครื่องทดสอบคุณสมบัติการรับแรงดึง (Tensile Testing Machine, Lloyd Instruments Type LR 10 K PLUS)

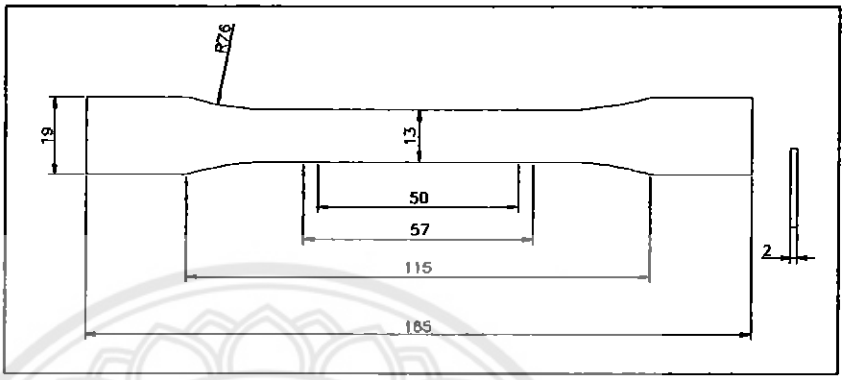
รูปที่ 3.1 รูปเครื่องทดสอบคุณสมบัติการรับแรงดึง

6) ชิ้นงานที่ตัดเป็นรูปดัมเบล

รูปที่ 3.2 รูปชิ้นงานรูปดัมเบล

3.3.1.2 วิธีการทดสอบคุณสมบัติการรับแรงดึง

1) ตัดชิ้นงานหนา 2 มิลลิเมตร เป็นรูปทรงดัมเบล โดยให้มีขนาดตามมาตรฐาน ASTM D 638 type I (ขนาดหน่วยเป็นมิลลิเมตร)

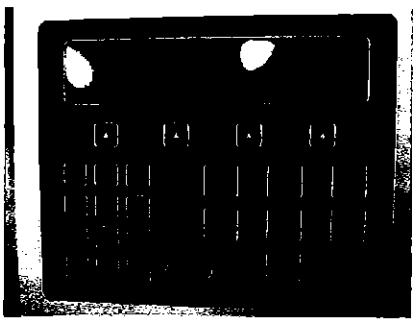


รูปที่ 3.3 แบบชิ้นงานทดสอบคุณสมบัติการรับแรงดึง

2) ตั้งค่าต่างๆ ภายในเครื่อง โดยกรอกข้อมูลดังนี้

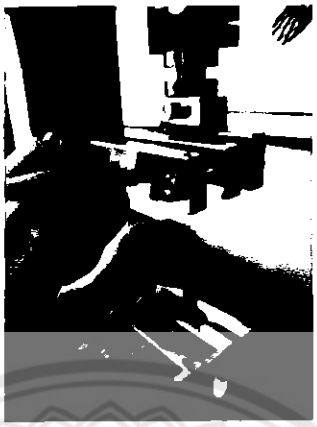
Preload/stress	0.0056	kN
Preload/stress Speed	21	mm./min
Speed	5	mm./min
Gauge Length	50	mm.
Limit	100	mm.

3) นำ load มาติดตั้ง โดยเลือก load ที่เราต้องการและขันหัวจับ load โดยใช้สกรูขันหัวจับ load ให้แน่น ปรับหัวจับให้ได้ระยะที่ต้องการ โดยใช้หน้าจอคำสั่งในการสั่งงาน



รูปที่ 3.4 รูปหน้าจอคำสั่ง

4) นำชิ้นงานมาใส่เครื่องโดยใช้หน้าจอคำสั่งในการปรับระยะ เมื่อได้ระยะแล้วให้ใช้หัวจับมือหมุนๆให้แน่น



รูปที่ 3.5 รูปการนำชิ้นงานใส่เครื่องทดสอบคุณสมบัติการรับแรงดึง

5) เริ่มการทดสอบคุณสมบัติการรับแรงดึง และบันทึกผลการทดลองลงในตารางบันทึกผลคุณสมบัติการรับแรงดึง

ตารางที่ 3.1 ตารางบันทึกผลคุณสมบัติการรับแรงดึง

ชนิด	ปริมาณวัสดุเสริมแรง (%wt)	Tensile Strength (MPa)						เฉลี่ย (MPa)
		ชิ้นที่ 1	ชิ้นที่ 2	ชิ้นที่ 3	ชิ้นที่ 4	ชิ้นที่ 5	ชิ้นที่ 6	
Pure PLA								
หมาก	0.25%							
	0.5%							
	1%							
	2%							
กล้วย	0.25%							
	0.5%							
	1%							
	2%							
อ้อย	0.25%							
	0.5%							
	1%							
	2%							
บวบ	0.25%							
	0.5%							
	1%							
	2%							

3.3.2 การทดสอบคุณสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก

คุณสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทกของชิ้นทดสอบ (Impact Strength) ตรวจสอบโดยใช้เครื่องมือทดสอบคุณสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก (Impact Tester, Model XC-227Z) ตามมาตรฐาน ASTM D 256 โดยใช้ค้อนตีขนาด 2.75 จูลล์ จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบชนิดละ 12 ตัวอย่าง รวมจำนวนทั้งหมด 204 ชิ้น

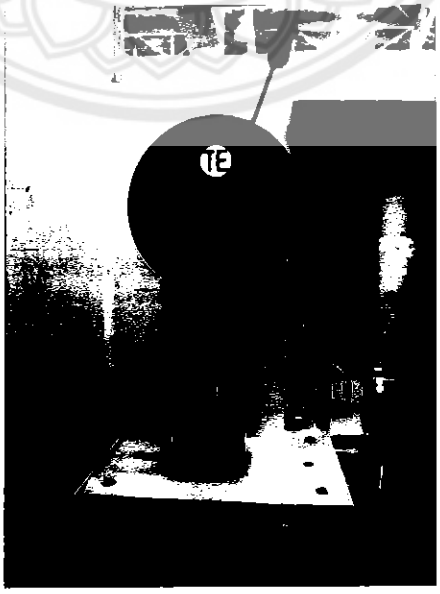
คุณสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก (J/mm^2) คำนวณจากนำค่าพลังงานที่ตัวอย่างดูดกลืนหารด้วยพื้นที่หน้าตัดของตัวอย่าง

3.3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบคุณสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก

1) ค้อนตีขนาด 2.75 จูลล์

รูปที่ 3.6 รูปค้อนตีขนาด 2.75 จูลล์

2) เครื่องทดสอบคุณสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก



รูปที่ 3.7 รูปเครื่องทดสอบคุณสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก

I 50702 72

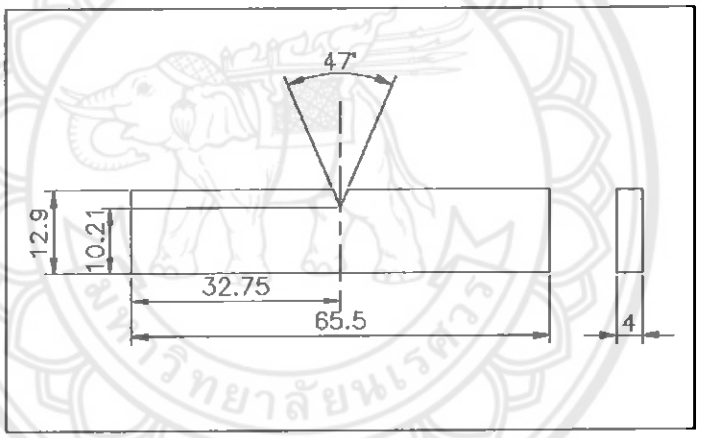
ฟร.
ว628ผ
2552
e.2

3) ชิ้นงานทดสอบรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีรอยบาก

รูปที่ 3.8 รูปชิ้นงานทดสอบรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีรอยบาก

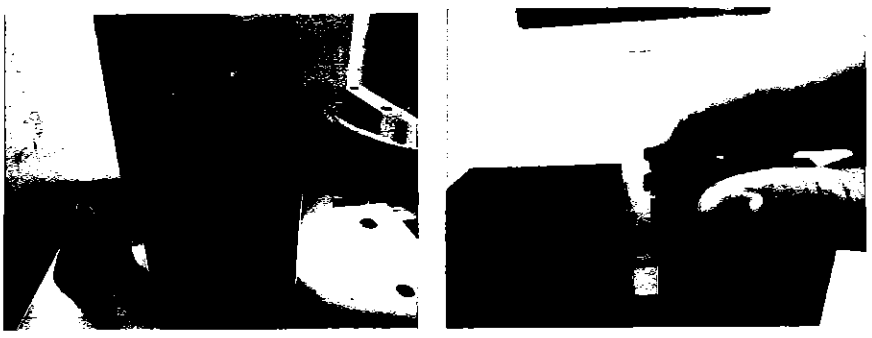
3.3.2.2 วิธีทดสอบค่าคุณสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก

1) ตัดชิ้นงานหนา 4 มิลลิเมตร เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ให้มีขนาดตามมาตรฐาน ASTM D 256 (ขนาดหน่วย เป็น มิลลิเมตร)



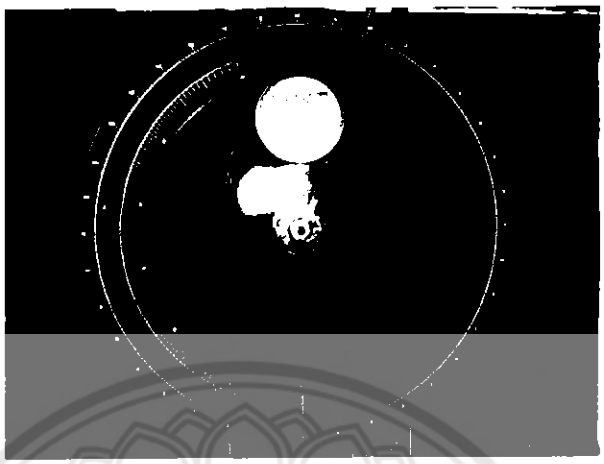
รูปที่ 3.9 แบบชิ้นงานทดสอบรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีรอยบาก

2) นำชิ้นงานใส่เครื่องโดยหมุนมือจับล็อคชิ้นงานไว้กับเครื่อง



รูปที่ 3.10 รูปการนำชิ้นงานใส่เครื่องทดสอบคุณสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก

3) ใช้มือหมุนสเกลให้มาอยู่ที่ตำแหน่ง 0



รูปที่ 3.11 สเกลเครื่องทดสอบคุณสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก

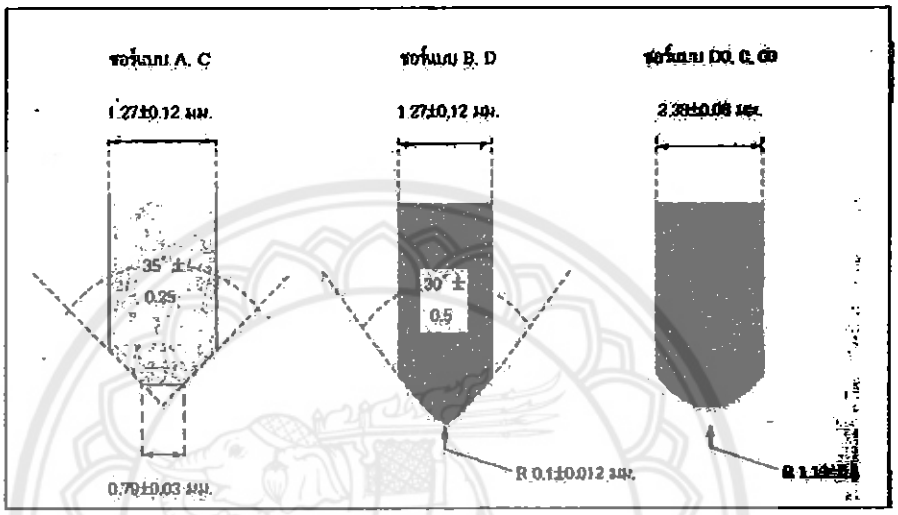
4) เริ่มการทดสอบคุณสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก และบันทึกผลลงในตารางบันทึกผลคุณสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก

ตารางที่ 3.2 ตารางบันทึกผลคุณสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก

ชนิด	ปริมาณวัสดุเสริมแรง (กรัม)	ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทก (J/mm^2)												เฉลี่ย (J/mm^2)
		ชิ้นที่ 1	ชิ้นที่ 2	ชิ้นที่ 3	ชิ้นที่ 4	ชิ้นที่ 5	ชิ้นที่ 6	ชิ้นที่ 7	ชิ้นที่ 8	ชิ้นที่ 9	ชิ้นที่ 10	ชิ้นที่ 11	ชิ้นที่ 12	
Pure PLA														
หมาก	0.25%													
	0.5%													
	1%													
	2%													
กล้วย	0.25%													
	0.5%													
	1%													
	2%													
อ้อย	0.25%													
	0.5%													
	1%													
	2%													
บวบ	0.25%													
	0.5%													
	1%													
	2%													

3.3.3 การทดสอบคุณสมบัติความแข็ง

คุณสมบัติความแข็งของชิ้นงานทดสอบ (Hardness) โดยใช้เครื่องมือทดสอบหาค่าความแข็งแบบชอร์ ดี (Shore D Hardness) ตามมาตรฐาน ASTM D2240 โดยให้แรงกดผ่านอุปกรณ์ลงไปยังชิ้นงาน 4.53 กิโลกรัม ขนาดหัวทดสอบ กว้าง 1.27 ± 12 มิลลิเมตร รัศมี 0.1 ± 0.012 มิลลิเมตร จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ 17 ชิ้น โดยกดชิ้นละ 5 จุดรวมทั้งหมด 85 จุด



รูปที่ 3.12 รูปหัวทดสอบคุณสมบัติความแข็ง

ที่มา : การทดสอบสมบัติทางกลของพลาสติก โดย ดร.จินตมัย สุวรรณ**ประทีป จัดพิมพ์** โดย สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ส.ส.ท.) 2547

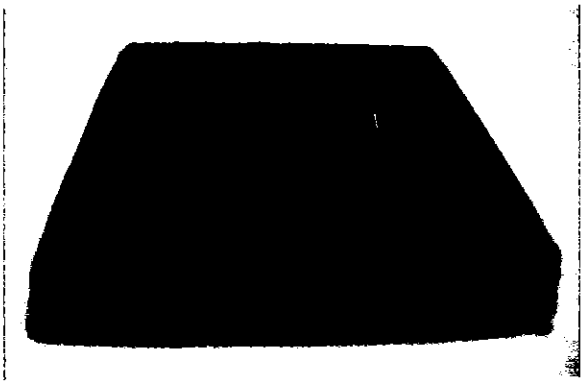
3.3.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบคุณสมบัติความแข็ง

1) เครื่องทดสอบคุณสมบัติความแข็งแบบชอร์ดูโรมิเตอร์

2) ชิ้นงานทดสอบรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส

3.3.3.2 วิธีทดสอบคุณสมบัติความแข็ง

1) ตัดชิ้นงานหนา 4 มิลลิเมตร เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ให้มีขนาดตามมาตรฐาน ASTM D2240



รูปที่ 3.13 รูปชิ้นงานทดสอบคุณสมบัติความแข็ง

2) นำชิ้นงานมาทดสอบคุณสมบัติความแข็งแบบชอร์ดูโรมิเตอร์ โดยอ่านค่าภายใน 15 วินาที

3) บันทึกผลการทดลองลงในตารางบันทึกผลคุณสมบัติความแข็ง

มหาวิทยาลัยนเรศวร

ตารางที่ 3.3 ตารางบันทึกผลคุณสมบัติความแข็ง

ชนิด	ปริมาณวัสดุเสริมแรง (%wt)	Hardness (Shore)					เฉลี่ย (Shore)
		จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	
Pure PLA							
หมาก	0.25%						
	0.5%						
	1%						
	2%						
กล้วย	0.25%						
	0.5%						
	1%						
	2%						
อ้อย	0.25%						
	0.5%						
	1%						
	2%						
บวบ	0.25%						
	0.5%						
	1%						
	2%						

3.3.4 การทดสอบคุณสมบัติการย่อยสลาย

การทดสอบคุณสมบัติการย่อยสลาย ทดสอบโดยใช้มาตรฐาน ASTM D6400 ใช้ชิ้นงานทดสอบชนิดละ 7 ชิ้น รวมทั้งหมด 119 ชิ้น ใช้ระยะเวลาในการทดสอบ 6 สัปดาห์

3.3.4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบคุณสมบัติการย่อยสลาย

1) อุปกรณ์วัดความชื้นของดิน

2) ไม้บรรทัด

3) ถัง

4) ชิ้นงานทดสอบรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส

3.4.4.2 วิธีทดสอบคุณสมบัติการย่อยสลาย

1) ตัดชิ้นงานหนา 2 มิลลิเมตร เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ให้มีขนาดตามมาตรฐาน ASTM D6400

2) ฝังชิ้นงานทดสอบไว้ในดินจำนวน 6 ชิ้น และอีก 1 ชิ้น ไม่ฝังดินเพื่อเป็นชิ้นงานที่นำมาเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลง

3) นำชิ้นงานทดสอบขึ้นมาสังเกตการเปลี่ยนแปลง โดยนำขึ้นมาครั้งละ 1 ชิ้น และบันทึกผลทุกๆ 1 สัปดาห์ จนครบกำหนด 6 สัปดาห์

3.3.5 การทดสอบคุณสมบัติการดูดซับน้ำ

การทดสอบคุณสมบัติการดูดซับน้ำ (Water Absorption) ใช้ชิ้นงานทดสอบชนิดละ 5 ชิ้น รวมทั้งหมด 85 ชิ้น ระยะเวลาการทดสอบ 7 วัน โดยการหาค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำตามมาตรฐาน ASTM D570 คำนวณจาก

$$\text{เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างเปียก} - \text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น})}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}} \times 100 \qquad (3.1)$$

3.3.5.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบคุณสมบัติการดูดซับน้ำ

1) เตาอบไฟฟ้า

2) น้ำสะอาด

3) นาฬิกาจับเวลา

4) เครื่องชั่ง

5) ภาชนะแบบปิด

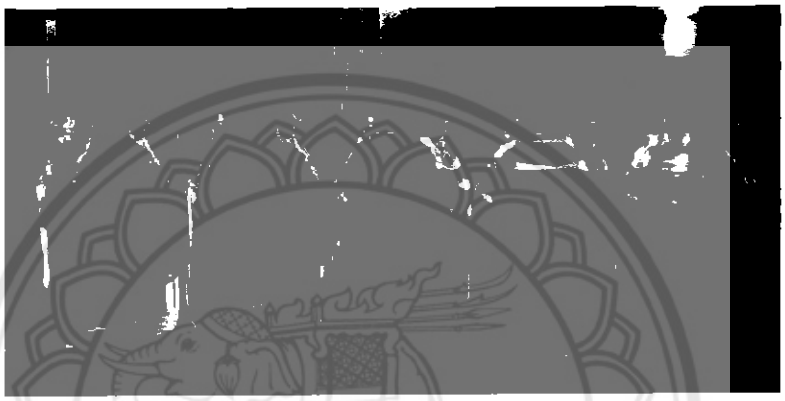
6) ชิ้นงานทดสอบรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส

3.3.5.2 วิธีทดสอบคุณสมบัติการดูดซับน้ำ

1) ตัดชิ้นงานหนา 2 มิลลิเมตร เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ให้มีขนาดตามมาตรฐาน ASTM D570

2) นำชิ้นงานมาอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำชิ้นงานมาชั่งเป็นน้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น

3) นำชิ้นงานมาแช่น้ำในภาชนะปิดที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำชิ้นงานหลังจากการดูดซับน้ำมาชั่งเป็นน้ำหนักตัวอย่างเปียก



รูปที่ 3.14 รูปการทดสอบคุณสมบัติการดูดซับน้ำ

4) หาเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ

5) บันทึกผลลงในตารางบันทึกผลคุณสมบัติการดูดซับน้ำ

ตารางที่ 3.4 ตารางบันทึกผลคุณสมบัติการดูดซับน้ำ

ชนิด	ปริมาณวัสดุเสริมแรง (%wt)	น้ำหนัก												เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ (%)					
		ก่อนแช่ (กรัม)						หลังแช่ (กรัม)											
		1	2	3	4	5	เฉลี่ย	1	2	3	4	5	เฉลี่ย	1	2	3	4	5	เฉลี่ย
Pure																			
หมาก	0.25%																		
	0.5%																		
	1%																		
	2%																		
กล้วย	0.25%																		
	0.5%																		
	1%																		
	2%																		
อ้อย	0.25%																		
	0.5%																		
	1%																		
	2%																		
บวบ	0.25%																		
	0.5%																		
	1%																		
	2%																		

3.4 วิเคราะห์ความแปรปรวน

วิเคราะห์ผลของชนิดและปริมาณเส้นใย ว่าเป็นปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติต่าง ๆ ของชิ้นงานทดสอบที่ทำจากพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพลาสติกชีวภาพ PLA และเส้นใยจากกาบหมากแดง กาบกล้วยน้ำว้า ชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 และบวบเหลี่ยม

3.5 สรุปผลการทดสอบ

สรุปผลที่ได้ทั้งหมดจากการทดสอบ

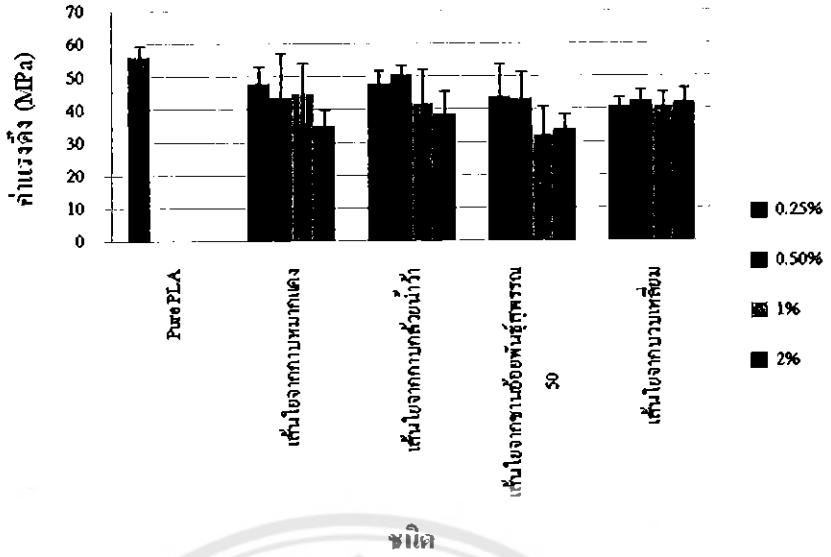
บทที่ 4
ผลการทดลองและวิเคราะห์

4.1 ผลการทดสอบ

4.1.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติการรับแรงดึง

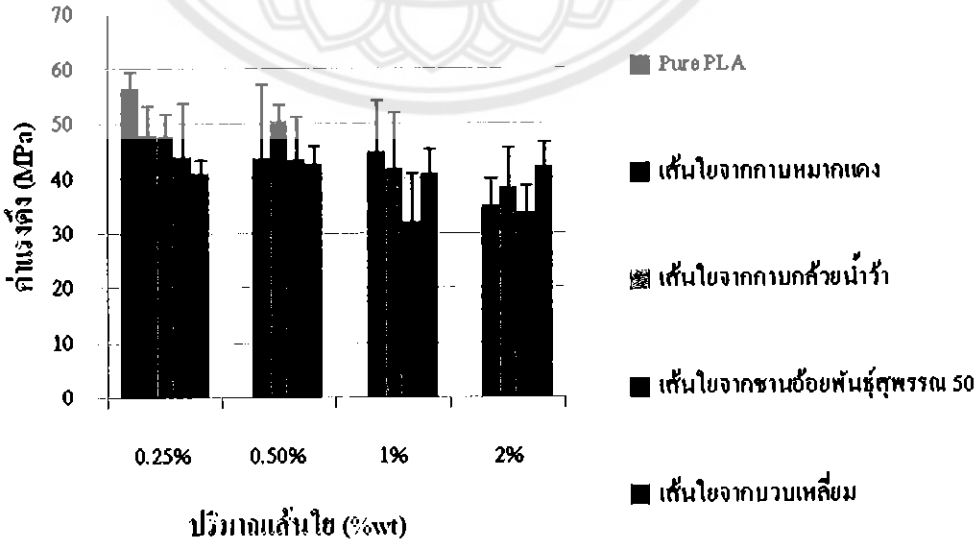
ผลการทดสอบคุณสมบัติการดึงจำนวนทั้งหมด 102 ชิ้น ที่ผ่านการเตรียมชิ้นงานทดสอบแล้วแสดงได้ดังตารางที่ ก.1 (ภาคผนวก ก)

จากรูปที่ 4.1 การทดลองการใช้พลาสติกชีวภาพ PLA ร่วมกับ เส้นใยพืชจากกาบหมากแดง กาบกล้วยน้ำว้า ชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 และบวบเหลี่ยม พบว่าคุณสมบัติการรับแรงดึงมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับ พลาสติกชีวภาพ PLA บริสุทธิ์ เนื่องจากการเรียงตัวของเส้นใย มีผลต่อคุณสมบัติการรับแรงดึง ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการขึ้นรูปชิ้นงานโดยการเรียงเส้นใยแบบสุ่ม ทำให้เส้นใยบางส่วนเรียงตัวขวางแนวแรงดึง จึงอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้คุณสมบัติการรับแรงดึงลดลง เมื่อพิจารณาที่เส้นใยจากพืชที่ปริมาณต่างๆ พบว่าคุณสมบัติการรับแรงดึงเฉลี่ยของคอมโพสิตชีวภาพจากเส้นใยกาบหมากแดง กาบกล้วยน้ำว้า และชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับงานวิจัยของ ปราณี ชุมสำโรง(2547) ได้ทำการศึกษาวิจัยถึงคุณสมบัติการรับแรงดึงของคอมโพสิตชีวภาพจากเส้นใยกล้วยน้ำว้าและเส้นใยป่านศรนารายณ์ พบว่าคุณสมบัติการรับแรงดึงมีค่าสูงกว่าพอลิโพรพิลีนเมื่อใช้ปริมาณเส้นใยต่ำ แต่เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยมากขึ้นคุณสมบัติการรับแรงดึงมีค่าลดลง โดยคุณสมบัติการรับแรงดึงของคอมโพสิตชีวภาพจากเส้นใยกาบกล้วยน้ำว้า ที่ปริมาณเส้นใย 0.50%wt มีค่ามากที่สุดคือ 50.33849 MPa โดยลดลงคิดเป็น 10.58% ของค่าสมบัติการรับแรงดึงของพลาสติกชีวภาพ PLA บริสุทธิ์ ส่วนคุณสมบัติการรับแรงดึงเฉลี่ยของคอมโพสิตชีวภาพจากเส้นใยบวบเหลี่ยมนั้น มีค่าค่อนข้างคงที่



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงคุณสมบัติการรับแรงดึงที่เส้นใยแต่ละชนิด

จากรูปที่ 4.2 เมื่อเปรียบเทียบการใช้พลาสติกชีวภาพ PLA ร่วมกับ **เส้นใยพืชจากกาบหมากแดง** กาบกล้วยน้ำว้า ชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 และบวบเหลี่ยม โดยใช้เส้น**ใยจากพืชต่างชนิดกัน ในปริมาณเท่ากัน** พบว่าที่ปริมาณเส้นใยเท่ากัน คอมโพสิตชีวภาพจากเส้น**ใยกาบหมากแดง และกาบกล้วยน้ำว้า มีคุณสมบัติการรับแรงดึงเฉลี่ยดีกว่าชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 และบวบเหลี่ยม แต่ที่ปริมาณเส้นใย 2%wt** คอมโพสิตชีวภาพจากเส้นใยบวบเหลี่ยมมีคุณสมบัติ**การรับแรงดึงมากที่สุด**

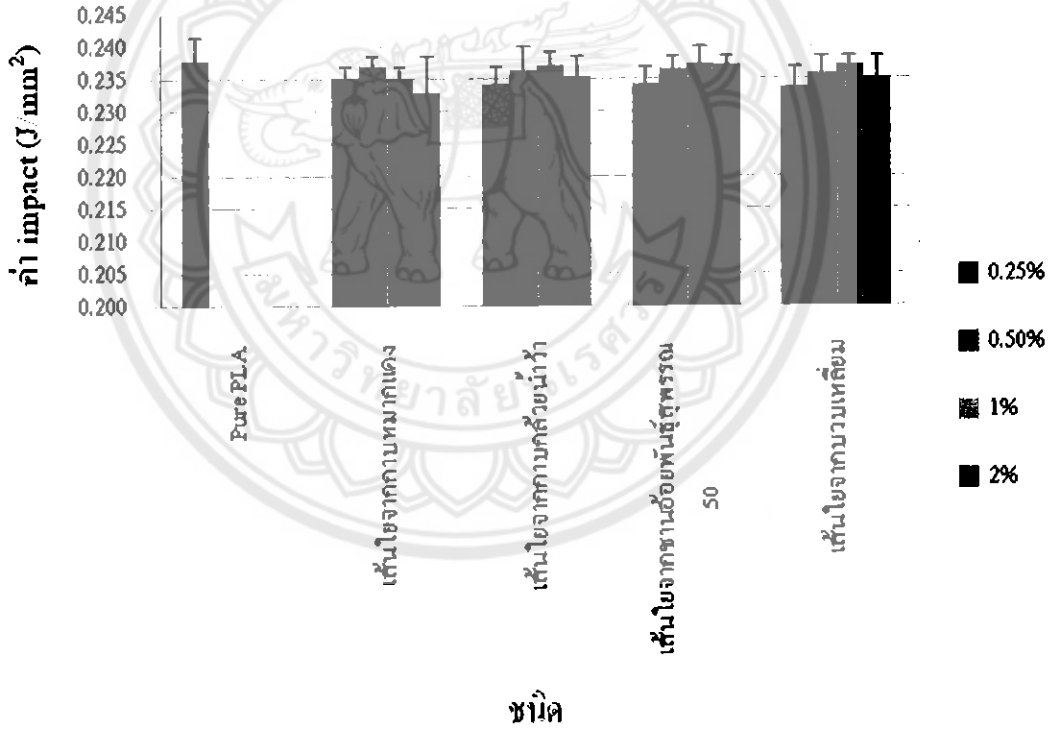


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงคุณสมบัติการรับแรงดึงที่ปริมาณเส้นใยที่แตกต่างกัน

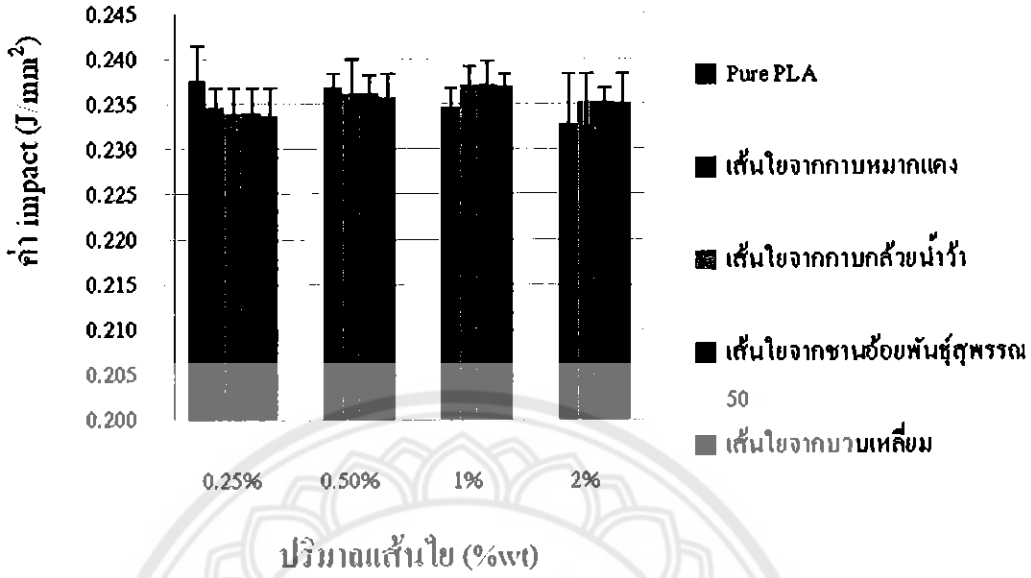
4.1.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก

ผลการทดสอบคุณสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทกจำนวนทั้งหมด 204 ชิ้น ที่ผ่านการเตรียมชิ้นงานทดสอบแล้วแสดงได้ดังตารางที่ ก.2 (ภาคผนวก ก)

จากรูปที่ 4.3 และ รูปที่ 4.4 เมื่อใช้พลาสติกชีวภาพ PLA ร่วมกับเส้นใยพืชจากกาบหมากแดง กาบกล้วยน้ำว้า ชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 และบวบเหลี่ยม พบว่าคุณสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก มีค่าค่อนข้างคงที่เมื่อเปรียบเทียบกับพลาสติกชีวภาพ PLA บริสุทธิ์ ในการงานวิจัยของปราณี ชุมสำโรง (2547) ได้ทำการศึกษาวิจัยถึงคุณสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทกของคอมโพสิตชีวภาพจากเส้นใยกล้วยน้ำว้าและเส้นใยป่านศรนารายณ์ พบว่าคุณสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทกมีใกล้เคียงกันและมีค่าลดลงตามปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้น โดยส่วนมากที่ปริมาณเส้นใย 1%wt จะทำให้คุณสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทกมีค่ามากที่สุด เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยเป็น 2%wt คุณสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทกมีแนวโน้มลดลง



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงคุณสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทกที่เส้นใยแต่ละชนิด

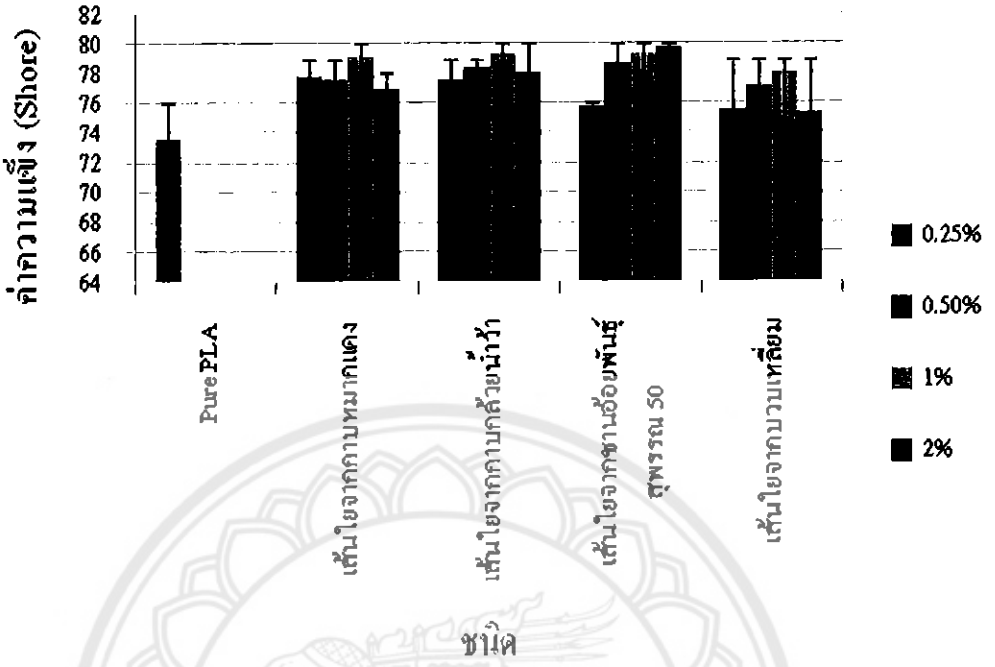


รูปที่ 4.4 กราฟแสดงคุณสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทกที่ปริมาณเส้นใยที่แตกต่างกัน

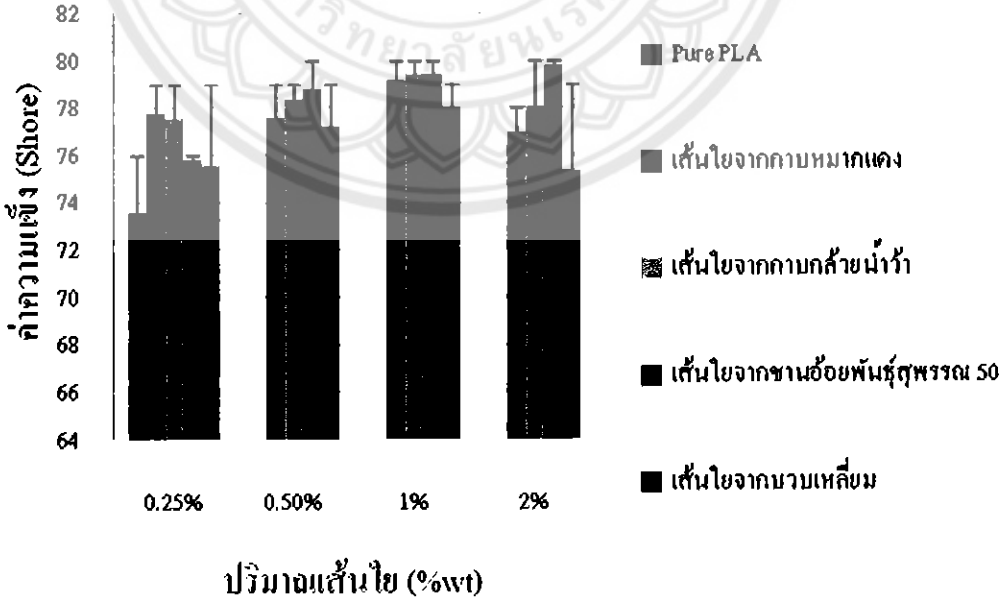
4.1.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติความแข็ง

ผลการทดสอบคุณสมบัติความแข็งจำนวนทั้งหมด 17 ชิ้นโดยกดชิ้นละ 5 จุดรวมทั้งหมด 85 จุด ที่ผ่านการเตรียมชิ้นงานทดสอบแล้วแสดงได้ดังตารางที่ ก.3 (ภาคผนวก ก)

จากรูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6 เมื่อใช้พลาสติกชีวภาพ PLA ร่วมกับ เส้นใยพืชจากกาบหมากแดง กาบกล้วยน้ำว้า ชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 และบวบเหลี่ยม พบว่าคุณสมบัติความแข็งมีค่ามากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับพลาสติกชีวภาพ PLA บริสุทธิ์ เนื่องจากเส้นใยที่นำมาเสริมแรงในชิ้นงานคอมโพสิตช่วยในการรับและกระจายแรงจากพลาสติกชีวภาพ เมื่อพิจารณาที่เส้นใยจากพืชที่ปริมาณต่างๆ พบว่าคุณสมบัติความแข็งเฉลี่ยของคอมโพสิตชีวภาพจากเส้นใยชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 ที่ปริมาณเส้นใย 2%wt มีค่ามากที่สุด คือ 79.8 Shore โดยเพิ่มขึ้นคิดเป็น 8.424% ของคุณสมบัติความแข็งของพลาสติกชีวภาพ PLA บริสุทธิ์ ทั้งนี้ ลักษณะเส้นใยที่ได้จากชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 โดยเฉลี่ยมีขนาดใหญ่กว่า เส้นใยจากกาบหมากแดง กาบกล้วยน้ำว้า และบวบเหลี่ยม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของไพศาล นาคพิพัฒน์และ เดือนพร บุญศิริคำชัย (2549) ซึ่งได้ศึกษาสมบัติของวัสดุเชิงประกอบพีวีซีกับผงหนัง และวัสดุเชิงประกอบพีวีซีกับเยื่อชานอ้อย โดยไม่ใช้สารเติมแต่ง จากการทดลองเมื่อเปรียบเทียบขนาดของเส้นใยวัสดุเสริมแรง พบว่าทั้งผงหนังและเยื่อชานอ้อย ขนาดใหญ่ให้ผลคุณสมบัติความแข็งดีกว่าเส้นใยขนาดเล็ก ส่วนคอมโพสิตชีวภาพจากเส้นใยบวบเหลี่ยม ที่ปริมาณเส้นใย 0.25%wt มีคุณสมบัติความแข็งน้อยที่สุดแต่มีค่ามากกว่าพลาสติกชีวภาพ PLA บริสุทธิ์ คือ มีค่า 75.6 Shore โดยเพิ่มขึ้นคิดเป็น 2.99% ของคุณสมบัติความแข็งของพลาสติกชีวภาพ PLA บริสุทธิ์ เนื่องจากเส้นใยจากบวบเหลี่ยม มีลักษณะเป็นเส้นใยที่เชื่อมต่อกันคล้ายตาข่าย และมีการยึดเกาะระหว่างเส้นใยด้วยกันเองมากกว่าเส้นใยชนิดอื่นทำให้เกิดการยึดเกาะกับพลาสติกชีวภาพ PLA น้อย เป็นผลให้คอมโพสิตชีวภาพจากเส้นใยบวบเหลี่ยมมีคุณสมบัติความแข็งน้อยกว่าคอมโพสิตชีวภาพจากเส้นใยพืชอีก 3 ชนิด



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงคุณสมบัติความแข็งที่เส้นใยแต่ละชนิด



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงคุณสมบัติความแข็งที่ปริมาณเส้นใยที่แตกต่างกัน

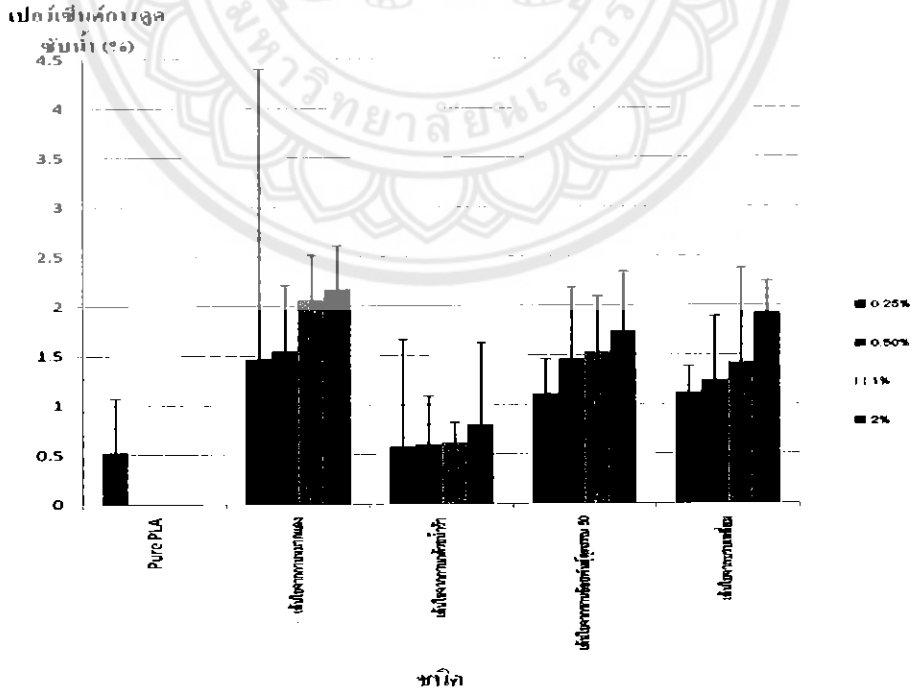
4.1.4 ผลการทดสอบคุณสมบัติการย่อยสลาย

จากการทดลองเมื่อระยะเวลาการทดลองครบ 6 สัปดาห์ นำขึ้นมาสังเกตลักษณะภายนอกของชิ้นงาน และชั่งน้ำหนัก ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง

4.1.5 ผลการทดสอบคุณสมบัติการดูดซับน้ำ

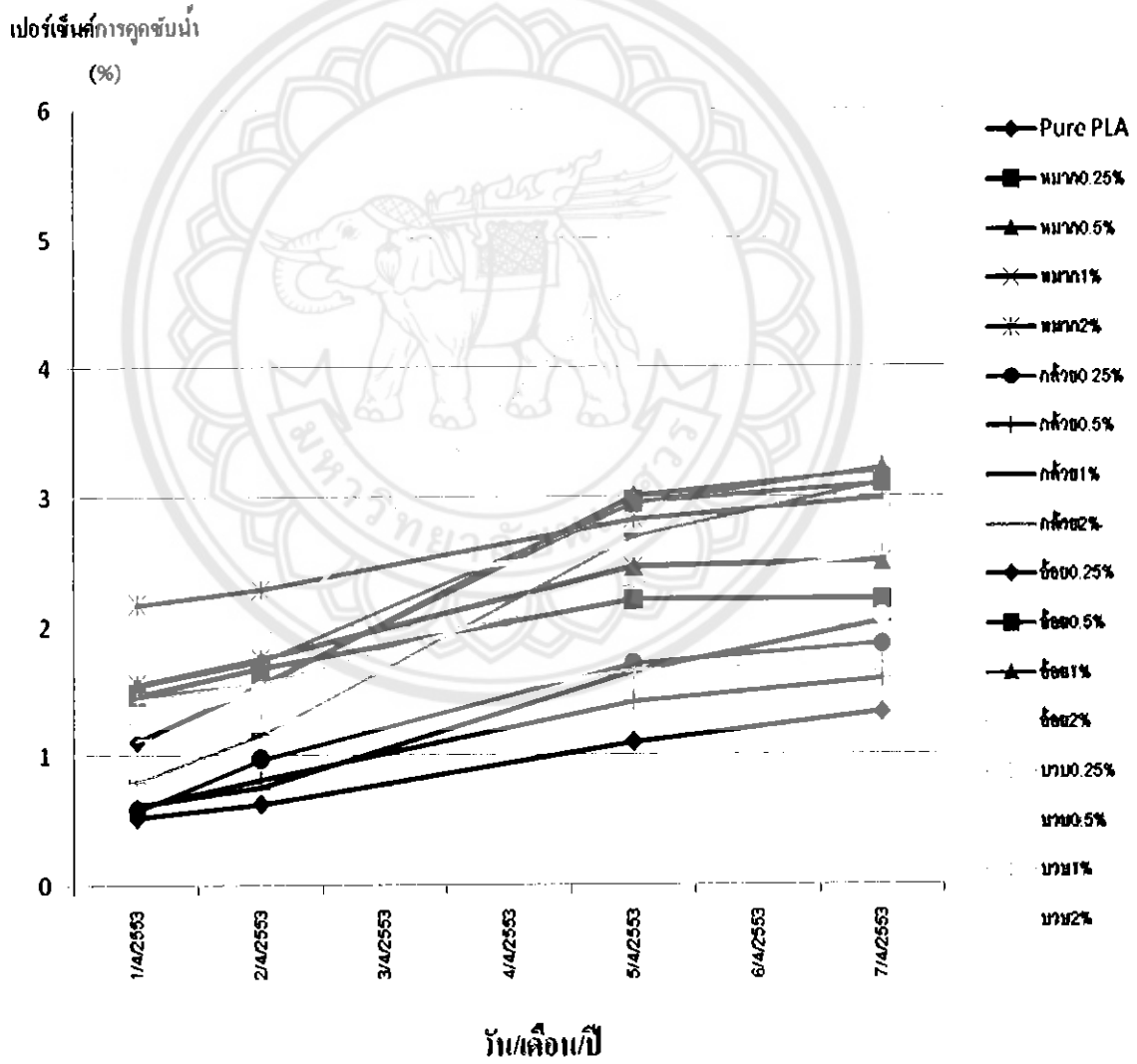
ผลการทดสอบคุณสมบัติการดูดซับน้ำจำนวนทั้งหมด 85 ชิ้น ที่ผ่านการเตรียมชิ้นงานทดสอบแล้วแสดงได้ดังตารางที่ ก.4 – ก.9 (ภาคผนวก ก)

จากรูปที่ 4.7 เมื่อใช้พลาสติกชีวภาพ PLA ร่วมกับ เส้นใยพืชจากกาบหมากแดง กาบกล้วยน้ำว้า ชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 และบวบเหลี่ยม พบว่า คุณสมบัติการดูดซับน้ำ มีค่าสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับ พลาสติกชีวภาพ PLA บริสุทธิ์ โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ตามปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเส้นใยจากพืชสามารถดูดซับน้ำได้ดี โดยคุณสมบัติการดูดซับน้ำของคอมโพสิตชีวภาพจากเส้นใยกาบหมากแดง ที่ปริมาณเส้นใย 2 %wt มีค่ามากที่สุดคือ 2.17% ทั้งนี้ เพราะเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยจึงทำให้เพิ่มพื้นที่ผิวของเส้นใยในชิ้นงานทดสอบคอมโพสิตชีวภาพจากเส้นใยจากพืชทั้ง 4 ชนิด ทำให้คุณสมบัติการดูดซับน้ำมากขึ้น



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงคุณสมบัติการดูดซับน้ำเมื่อระยะเวลาผ่านไป 1 วัน

จากรูปที่ 4.8 เมื่อใช้พลาสติกชีวภาพ PLA ร่วมกับ เส้นใยพืชจากกาบหมากแดง กาบกล้วยน้ำว้า ชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 และบวบเหลี่ยม พบว่า คุณสมบัติการดูดซับน้ำ มีค่าสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับ พลาสติกชีวภาพ PLA บริสุทธิ์ โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ตามปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้น โดยคุณสมบัติการดูดซับน้ำของคอมโพสิตชีวภาพจากเส้นใยชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 ที่ปริมาณเส้นใย 2 %wt มีค่ามากที่สุดคือ 5.126% อาจเนื่องมาจากลักษณะเส้นใยจากชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 มีพื้นผิวลักษณะรูพรุนคล้ายฟองน้ำ และเส้นใยมีขนาดใหญ่จึงสามารถดูดซับน้ำได้ดี เมื่อใช้ระยะเวลาในการแช่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงคุณสมบัติการดูดซับน้ำเมื่อระยะเวลาผ่านไป 7 วัน

4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล

เมื่อได้ผลการทดลองผู้วิจัยเลือกใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ ซึ่งเป็นโปรแกรมที่สามารถวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อกรองปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติคุณสมบัติการรับแรงดึง ความต้านทานต่อแรงกระแทก ความแข็งที่ผิว และการดูดซับน้ำ ที่ระดับนัยสำคัญที่เราต้องการนำมาเป็นเครื่องมือช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัย คือ ปริมาณเส้นใย และชนิดของเส้นใย ที่ส่งผลต่อคุณสมบัติการรับแรงดึง ความต้านทานต่อแรงกระแทก ความแข็งที่ผิว และการดูดซับน้ำ โดยทำการพิจารณาค่านัยสำคัญ (Sig.) จะทำการปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0) ถ้าค่านัยสำคัญน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ (α=0.05) และยอมรับสมมุติฐานหลัก (H_0) ถ้าค่านัยสำคัญมากกว่าระดับนัยสำคัญ (α=0.05)

4.2.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติการรับแรงดึง

ตารางที่ 4.1 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติการรับแรงดึง

Source	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Square	F	Sig.
Kind	1525.95	4	381.487	9.536×10^{12}	0.000
Quantity	285.00	3	94.999	2.375×10^{12}	0.000
Kind*Quantity	312.37	12	26.031	6.507×10^{11}	0.000
Error	0.00	20	0.000		
Total	2123.31	39			

จากตารางที่ 4.1 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติการรับแรงดึง ที่มีค่านัยสำคัญ (Sig.) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สรุปได้ว่า

1. ตรวจสอบอิทธิพลของปัจจัยที่ 1 คือชนิดของเส้นใย

H_0 คือ ชนิดของเส้นใยไม่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติการรับแรงดึง

H_1 คือ ชนิดของเส้นใยมีผลกระทบต่อคุณสมบัติการรับแรงดึง

ค่านัยสำคัญ = 0.000 < 0.05 จึง ปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 นั่นคือ ชนิดของเส้นใยมีผลกระทบต่อคุณสมบัติการรับแรงดึง ซึ่งทำให้คุณสมบัติการรับแรงดึงเปลี่ยนไป เมื่อชนิดของเส้นใยเปลี่ยนไป

2. ตรวจสอบอิทธิพลของปัจจัยที่ 2 คือปริมาณเส้นใย

H_0 คือ ปริมาณเส้นใยไม่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติการรับแรงดึง

H_1 คือ ปริมาณเส้นใยมีผลกระทบต่อคุณสมบัติการรับแรงดึง

ค่านัยสำคัญ = 0.000 < 0.05 จึง ปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 นั่นคือ ปริมาณเส้นใยมีผลกระทบต่อคุณสมบัติการรับแรงดึง ซึ่งทำให้คุณสมบัติการรับแรงดึงเปลี่ยนไป เมื่อปริมาณเส้นใยเปลี่ยนไป

3. ตรวจสอบอิทธิพลของปัจจัยที่ 3 คือชนิดของเส้นใย และปริมาณเส้นใย

H_0 คือ ชนิดของเส้นใย และปริมาณเส้นใยไม่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติการรับแรงดึง

H_1 คือ ชนิดของเส้นใย และปริมาณเส้นใยมีผลกระทบต่อคุณสมบัติการรับแรงดึง

ค่านัยสำคัญ = 0.000 < 0.05 จึง ปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 นั่นคือ ชนิด และปริมาณเส้นใยมีผลกระทบต่อคุณสมบัติการรับแรงดึง ซึ่งทำให้คุณสมบัติการรับแรงดึงเปลี่ยนไป เมื่อชนิดและปริมาณเส้นใยเปลี่ยนไป

4.2.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก

ตารางที่ 4.2 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก

Source	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Square	F	Sig.
Kind	0.0000378	4	0.0000094	39.91	0.000
Quantity	0.0000197	3	0.0000066	27.69	0.000
Kind*Quantity	0.0000273	12	0.0000023	9.62	0.000
Error	0.0000047	20	0.0000002		
Total	0.0000895	39			

จากตารางที่ 4.2 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทกที่มีค่านัยสำคัญ (Sig.) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สรุปได้ว่า

1. ตรวจสอบอิทธิพลของปัจจัยที่ 1 คือชนิดของเส้นใย

H_0 คือ ชนิดของเส้นใยไม่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก

H_1 คือ ชนิดของเส้นใยมีผลกระทบต่อคุณสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก

ค่านัยสำคัญ = 0.000 < 0.05 จึง ปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 นั่นคือ ชนิดของเส้นใยมีผลกระทบต่อคุณสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก ซึ่งทำให้คุณสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทกเปลี่ยนไป เมื่อชนิดของเส้นใยเปลี่ยนไป

2. ตรวจสอบอิทธิพลของปัจจัยที่ 2 คือปริมาณเส้นใย

H_0 คือ ปริมาณเส้นใยไม่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก

H_1 คือ ปริมาณเส้นใยมีผลกระทบต่อคุณสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก

ค่านัยสำคัญ = 0.000 < 0.05 จึง ปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 นั่นคือ ปริมาณเส้นใยมีผลกระทบต่อคุณสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก ซึ่งทำให้คุณสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทกเปลี่ยนไป เมื่อปริมาณเส้นใยเปลี่ยนไป

3. ตรวจสอบอิทธิพลของปัจจัยที่ 3 คือชนิดของเส้นใย และปริมาณเส้นใย

H_0 คือ ชนิดของเส้นใย และปริมาณเส้นใยไม่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก

H_1 คือ ชนิดของเส้นใย และปริมาณเส้นใยมีผลกระทบต่อคุณสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก

ค่านัยสำคัญ = 0.000 < 0.05 จึง ปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 นั่นคือ ชนิด และปริมาณเส้นใยมีผลกระทบต่อคุณสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทกเปลี่ยนไป เมื่อชนิด และปริมาณเส้นใยเปลี่ยนไป

4.2.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าความแข็ง

ตารางที่ 4.3 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติความแข็ง

Source	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Square	F	Sig.
Kind	128.536	4	32.1340	378.05	0.000
Quantity	21.867	3	7.2890	85.75	0.000
Kind*Quantity	20.888	12	1.7407	20.48	0.000
Error	1.700	20	0.0850		
Total	172.991	39			

จากตารางที่ 4.3 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติความแข็ง ที่มีค่านัยสำคัญ (Sig.) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สรุปได้ว่า

1. ตรวจสอบอิทธิพลของปัจจัยที่ 1 คือชนิดของเส้นใย

H_0 คือ ชนิดของเส้นใยไม่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติความแข็ง

H_1 คือ ชนิดของเส้นใยมีผลกระทบต่อคุณสมบัติความแข็ง

ค่านัยสำคัญ = 0.000 < 0.05 จึง ปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 นั่นคือชนิดของเส้นใยมีผลกระทบต่อค่าความแข็งซึ่งทำให้ค่าความแข็งเปลี่ยนไป เมื่อชนิดของเส้นใยเปลี่ยนไป

2. ตรวจสอบอิทธิพลของปัจจัยที่ 2 คือปริมาณเส้นใย

H_0 คือ ปริมาณเส้นใยไม่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติความแข็ง

H_1 คือ ปริมาณเส้นใยมีผลกระทบต่อคุณสมบัติความแข็ง

ค่านัยสำคัญ = 0.000 < 0.05 จึง ปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 นั่นคือปริมาณเส้นใยมีผลกระทบต่อค่าความแข็ง ซึ่งทำให้ค่าความแข็งเปลี่ยนไป เมื่อปริมาณเส้นใยเปลี่ยนไป

3. ตรวจสอบอิทธิพลของปัจจัยที่ 3 คือชนิดของเส้นใย และปริมาณเส้นใย

H_0 คือ ชนิดของเส้นใย และปริมาณเส้นใยไม่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติความแข็ง

H_1 คือ ชนิดของเส้นใย และปริมาณเส้นใยมีผลกระทบต่อคุณสมบัติความแข็ง

ค่านัยสำคัญ = 0.000 < 0.05 จึง ปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 นั่นคือชนิด และปริมาณเส้นใยมีผลกระทบต่อค่าความแข็ง ซึ่งทำให้ค่าความแข็งเปลี่ยนไป เมื่อปริมาณเส้นใยเปลี่ยนไป

4.2.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติการดูดซับน้ำ

ตารางที่ 4.4 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติการดูดซับน้ำ

Source	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Square	F	Sig.
Kind	10.4612	4	2.61530	1187.24	0.000
Quantity	0.9862	3	0.32872	149.23	0.000
Kind*Quantity	0.7360	12	0.06133	27.84	0.000
Error	0.0441	20	0.00220		
Total	12.2274	39			

จากตารางที่ 4.4 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติการดูดซับน้ำที่มีค่านัยสำคัญ (Sig.) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สรุปได้ว่า

1. ตรวจสอบอิทธิพลของปัจจัยที่ 1 คือชนิดของเส้นใย

H_0 คือ ชนิดของเส้นใยไม่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติการดูดซับน้ำ

H_1 คือ ชนิดของเส้นใยมีผลกระทบต่อคุณสมบัติการดูดซับน้ำ

ค่านัยสำคัญ = 0.000 < 0.05 จึง ปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 นั่นคือชนิดของเส้นใยมีผลกระทบต่อคุณสมบัติการดูดซับน้ำ ซึ่งทำให้คุณสมบัติการดูดซับน้ำเปลี่ยนไป เมื่อชนิดของเส้นใยเปลี่ยนไป

2. ตรวจสอบอิทธิพลของปัจจัยที่ 2 คือปริมาณเส้นใย

H_0 คือ ปริมาณเส้นใยไม่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติการดูดซับน้ำ

H_1 คือ ปริมาณเส้นใยมีผลกระทบต่อคุณสมบัติการดูดซับน้ำ

ค่านัยสำคัญ = 0.000 < 0.05 จึง ปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 นั่นคือปริมาณเส้นใยมีผลกระทบต่อคุณสมบัติการดูดซับน้ำ ซึ่งทำให้คุณสมบัติการดูดซับน้ำเปลี่ยนไป เมื่อปริมาณเส้นใยเปลี่ยนไป

3. ตรวจสอบอิทธิพลของปัจจัยที่ 3 คือชนิดของเส้นใย และปริมาณเส้นใย

H_0 คือ ชนิดของเส้นใย และปริมาณเส้นใยไม่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติการดูดซับน้ำ

H_1 คือ ชนิดของเส้นใย และปริมาณเส้นใยมีผลกระทบต่อคุณสมบัติดูดซับน้ำ

ค่านัยสำคัญ = 0.000 < 0.05 จึง ปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 นั่นคือชนิด และปริมาณเส้นใยมีผลกระทบต่อคุณสมบัติการดูดซับน้ำ ซึ่งทำให้คุณสมบัติการดูดซับน้ำเปลี่ยนไป เมื่อชนิด และปริมาณเส้นใยเปลี่ยนไป

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 การศึกษาผลของชนิดของเส้นใยพืชจากกาบหมากแดง กาบกล้วยน้ำว้า ชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 และบวบเหลี่ยมที่มีผลต่อคุณสมบัติการรับแรงดึง ความต้านทานแรงกระแทก ความแข็ง และการดูดซับน้ำ

5.1.1.1 คุณสมบัติการรับแรงดึง

คุณสมบัติการรับแรงดึงของคอมโพสิตชีวภาพมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับพลาสติกชีวภาพ PLA บริสุทธิ์ โดยคุณสมบัติการรับแรงดึงของคอมโพสิตชีวภาพจากเส้นใยกาบกล้วยน้ำว้า มีค่ามากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับคอมโพสิตชีวภาพจากเส้นใยกาบหมากแดง ชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 และบวบเหลี่ยม

5.1.1.2 คุณสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก

คุณสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทกของคอมโพสิตชีวภาพมีค่าค่อนข้างคงที่เมื่อเปรียบเทียบกับพลาสติกชีวภาพ PLA บริสุทธิ์

5.1.1.3 คุณสมบัติความแข็ง

คุณสมบัติความแข็งของคอมโพสิตชีวภาพมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับพลาสติกชีวภาพ PLA บริสุทธิ์ โดยคุณสมบัติความแข็งของคอมโพสิตชีวภาพจากเส้นใยชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 มีค่ามากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับคอมโพสิตชีวภาพจากเส้นใยกาบหมากแดง กาบกล้วยน้ำว้า และบวบเหลี่ยม

5.1.1.4 คุณสมบัติการดูดซับน้ำ

คุณสมบัติการดูดซับน้ำของคอมโพสิตชีวภาพมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับพลาสติกชีวภาพ PLA บริสุทธิ์ โดยคุณสมบัติการดูดซับน้ำของคอมโพสิตชีวภาพจากเส้นใยกาบหมากแดง มีค่ามากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับคอมโพสิตชีวภาพจากเส้นใยกาบกล้วยน้ำว้า ชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 และบวบเหลี่ยม

5.1.2 การศึกษาผลของปริมาณเส้นใยพืชจากกาบหมากแดง กาบกล้วยน้ำว้า ชานอ้อย พันธุ์สุพรรณ 50 และบวบเหลี่ยมที่มีผลต่อคุณสมบัติการรับแรงดึง ความต้านทานแรงกระแทก ความแข็ง และการดูดซับน้ำ

5.1.2.1 คุณสมบัติการรับแรงดึง

คุณสมบัติการรับแรงดึงของคอมโพสิตชีวภาพมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับพลาสติกชีวภาพ PLA บริสุทธิ์ โดยคุณสมบัติการรับแรงดึงของคอมโพสิตชีวภาพที่ปริมาณเส้นใย 0.5%wt มีค่ามากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับคอมโพสิตชีวภาพที่ปริมาณเส้นใย 0.25%wt, 1%wt และ 2%wt

5.1.2.2 คุณสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก

คุณสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทกของคอมโพสิตชีวภาพมีค่าค่อนข้างคงที่เมื่อเปรียบเทียบกับพลาสติกชีวภาพ PLA บริสุทธิ์

5.1.2.3 คุณสมบัติความแข็ง

คุณสมบัติความแข็งของคอมโพสิตชีวภาพมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับพลาสติกชีวภาพ PLA บริสุทธิ์ โดยคุณสมบัติความแข็งของคอมโพสิตชีวภาพที่ปริมาณเส้นใย 2%wt มีค่ามากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับคอมโพสิตชีวภาพที่ปริมาณเส้นใย 0.25%wt, 0.5%wt และ 2%wt

5.1.2.4 คุณสมบัติการดูดซับน้ำ

คุณสมบัติการดูดซับน้ำของคอมโพสิตชีวภาพมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับพลาสติกชีวภาพ PLA บริสุทธิ์ โดยคุณสมบัติการดูดซับน้ำของคอมโพสิตชีวภาพที่ปริมาณเส้นใย 2%wt มีค่ามากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับคอมโพสิตชีวภาพที่ปริมาณเส้นใย 0.25%wt, 0.5%wt และ 2%wt

5.1.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลได้ผลตามข้อ 4.2.1 – 4.2.4 สามารถสรุปได้ว่าชนิด และปริมาณของเส้นใยจากกาบหมากแดง กาบกล้วยน้ำว้า ชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 และบวบเหลี่ยม มีผลกระทบต่อคุณสมบัติการรับแรงดึง ความต้านทานต่อแรงกระแทก ความแข็ง และการดูดซับน้ำ ของคอมโพสิตชีวภาพที่มีพลาสติกชีวภาพ PLA เป็นวัสดุเนื้อหลัก

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การค้นหาข้อมูลคอมโพสิตชีวภาพได้ค่อนข้างยาก

5.2.3 ผู้ปฏิบัติงานต้องมีความรู้เกี่ยวกับวิธีการใช้เครื่องอัดขึ้นรูปพลาสติก (Compression Molding) เพื่อลดอุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้นได้

5.2.4 ผู้ปฏิบัติงานต้องมีความรู้เกี่ยวกับวิธีการใช้เครื่องทดสอบคุณสมบัติการรับแรงดึง ความต้านทานต่อแรงกระแทก ความแข็งของคอมโพสิตชีวภาพร่วมกับเพื่อให้ผลการทดลองถูกต้องตาม ASTM

5.2.5 เนื่องจากลักษณะและการเรียงตัวของเส้นใยเป็นปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติของคอมโพสิตเช่นกัน แต่ไม่ได้ศึกษาในงานวิจัยนี้ จึงควรทำการศึกษาผลของการจัดเรียงตัว ความยาว และลักษณะของเส้นใยต่อคุณสมบัติของคอมโพสิต

5.2.6 เครื่องมืออัดขึ้นรูปพลาสติกควรสามารถปรับค่าปัจจัยต่างๆ ในการขึ้นรูปได้ครอบคลุมเพื่อแก้ไขปัญหาของชิ้นงานที่อาจเกิดขึ้นจากการขึ้นรูป

5.2.7 จากโครงงานนี้ไม่สามารถสรุปผลของการย่อยสลายได้ จึงควรทำการศึกษาเพิ่มเติมอาจโดยการเพิ่มระยะเวลา หรือลดความหนาของชิ้นงานลง

5.2.8 ทำการศึกษาโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ เช่น SPSS, MINITAB เพิ่มเติม เพื่อสะดวกในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

เอกสารอ้างอิง

กุลประภา กลุ่มรักษ์โลก [นามแฝง]. (2551). พลาสติกชีวภาพ ย่อยสลายได้เพื่อสิ่งแวดล้อม. 54(2819),102.

โครงการสารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน โดยพระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว. (2534). ใน **สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน โดย พระราชประสงค์ใน พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว,** (เล่มที่ 5,หน้า 104). กรุงเทพฯ : บริษัท รุ่งศิลป์การพิมพ์ (1977) จำกัด.

โครงการสารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน โดยพระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว. (2537). ใน **สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน โดย พระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว,** (เล่มที่ 17,หน้า 191-192). กรุงเทพฯ : บริษัท ด่านสุทธาการพิมพ์ จำกัด.

ดร.จินตมัย สุวรรณประทีป. (2547). การทดสอบสมบัติทางกลของพลาสติก. : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ส.ส.ท).

ฉลอง สีแก้วสิ่ว. สถิติ. สืบค้นเมื่อ 15 กันยายน 2552, จาก http://www.geocities.com/chalong_sri/reg1.htm

ชัยณรงค์ รัตนกรีฑากุล. (2547). วัสดุย่อยสลายได้ทางชีวภาพกับการใช้ประโยชน์ในปัจจุบัน. วารสารข่าว ศูนย์ปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง. 18(1), 18-19,23.

ทองสุข แสงหาชัย. (16 มีนาคม 2552). ไบโอแก๊งค์ สืบค้นเมื่อ 1 สิงหาคม 2552, จาก http://www.biogang.net/content_detail.php?menu=biodiversity&uid=3493&id=19149

นาวิน คุณกิตติ และคณะ. (29 มิถุนายน 2549). กระบวนการผลิต Polylactic acid. พลาสติกจากข้าวโพด สืบค้นเมื่อ 29 กรกฎาคม 2552, จาก http://www.mwit.ac.th/~sasinee/studentwork/work/105_mwit13/room3/plas_corn.pps.

บุญรักษ์ กาญจนวรวณิชย์. (10 กรกฎาคม2551). คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล สืบค้นเมื่อ 2 สิงหาคม 2552, จาก http://www.electron.rmutphysics.Com/chemistry-glossary/index.php?option=com_content&task=view&id=1204& Itemid=153.

ปกรณ์ และ มัณฑนา โอภาประกาสิต. (13 กุมภาพันธ์ 2551). พอลิเมอร์ วัสดุเอนกประสงค์. วิชาการดอทคอมสืบค้นเมื่อ 5 มิถุนายน 2552, จาก http://www.vcharkarn.com/varticle/18774.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

ปราณี ชุมสำโรง.(2547).**การศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของพลาสติกเสริมแรงด้วยเส้นใยธรรมชาติที่มีในประเทศไทย.**ศึกษาด้วยตนเอง.นครราชสีมา : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

ดร.พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์. (2546).**เอกสารคำสอนการออกแบบการทดลอง.** ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ . มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

พรนลัท สิงห์รัตนพันธุ์ และ กษมา แย้มศรี. (26 ธันวาคม 2546). โครงสร้างเปิดธรรมชาติ. โครงการออกแบบเชิงปฏิบัติการ การออกแบบวัสดุ สืบค้นเมื่อ 1 สิงหาคม 2552, จากhttp://www.arch.ku.ac.th/wood/document/proj-summary-web.pdf

พิชิต เลี่ยมพิพัฒน์.(2536).**พลาสติก.** (ครั้งที่ 10). กรุงเทพฯ : ห้างหุ้นส่วนจำกัด ป.สัมพันธ์พาณิชย์.

พูนศักดิ์ สักกทัตติยกุล. (5 ธันวาคม 2551). พลาสติกชีวภาพ (Bioplastic). ไทยกู๊ดวิวดอทคอม สืบค้นเมื่อ 5 มิถุนายน 2552, จากhttp://www.thaigoodview.com/node/17034?page=0%2C1.

มูลนิธิวิกิมีเดีย. (16 กรกฎาคม 2552). หมากสง.วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี สืบค้นเมื่อ 1 สิงหาคม 2552 , จาก http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%AB%E0%B8%AB%E0%B8%A1%E0%B8%B2%E0%B8%81%E0%B8%AA%E0%B8%87

วรวดี สุชัยยะ. (2551). **การเตรียมฟิล์มไบโอคอมโพสิตของแป้งมันสำปะหลังที่เสริมแรงด้วยคริสตันฉีนเซลลูโลส.** กรุงเทพฯ : จุฬาภรณ์มหาวิทยาลัย.

วีระชัย ลามอ. (1 พฤษภาคม 2550). **ความแข็ง.** สืบค้นเมื่อ 12 มิถุนายน 2552, จาก http://www.dss.go.th/dssweb/st-articles/files/pep_5_2550_hardness.pdf.

สมเกียรติ ปฐมาภินันท์, อนุชิต พิสุทธิ์เลิศมานะ, พัฒนะ แก้วสว่าง. (2545). **ความเป็นไปได้ในการแยกเส้นใยจากกาบหมากนวล.**ศึกษาด้วยตนเอง. ปทุมธานี : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

อุดมวิทย์ กาญจนวรงค์. (2545). **การทดสอบวัสดุ.** (พิมพ์ครั้งที่1). กรุงเทพฯ: สกายบุกส์ จำกัด.

Ghali L., Msahli S., Zidi M. and Sakli F. (2009). Effect of pre-treatment of Luffa fibers on the structural properties. **Materials Letters,** 63(2009)61-63.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Kiruthika A. V. and Veluraja K. (2009). Experimental Studies on the Physico-chemical Properties of Banana Fiber from Various Varieties. **Fibers and Polymers**, Vol.10, No.2, 193-199.

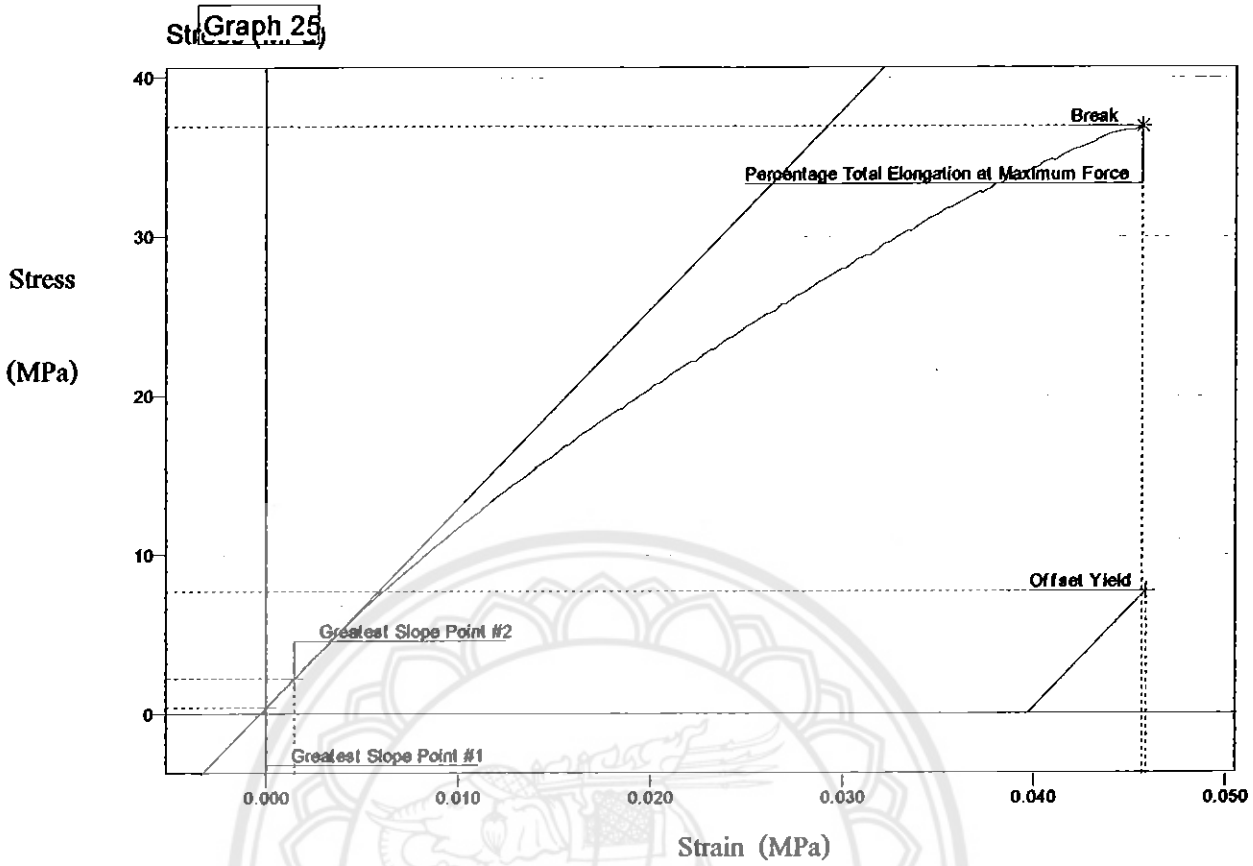
Petersson, L. and Oksman, K. (2006). Biopolymer based nanocomposites : Comparing layered silicates and microcrystalline cellulose as nanoreinforcement. **Composites Science and Technology,** 66(2006), 2187–2196.

Shivani B. Mishra, A.K. Mishra, N.K. Kaushik and Mukhtar A. Khan. (2007). Study of performance properties of lignin-based polyblends with polyvinyl chloride. **Journal of Materials Processing Technology**, 183 (2007) 273–276.

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ก.1 ตารางบันทึกผลคุณสมบัติการรับแรงดึง

ชนิด	ปริมาณวัสดุเสริมแรง (%wt)	Tensile Strength (MPa)						เฉลี่ย (MPa)
		ชิ้นที่ 1	ชิ้นที่ 2	ชิ้นที่ 3	ชิ้นที่ 4	ชิ้นที่ 5	ชิ้นที่ 6	
Pure PLA		49.51263	56.69535	56.89196	57.26892	59.45521	57.96016	56.29737
หมาก	0.25%	50.03478	45.96559	53.23607	50.65704	47.56888	39.31182	47.79570
	0.5%	29.27880	37.69939	45.54287	57.20531	41.46685	50.22697	43.57003
	1%	46.57389	42.97730	49.67493	39.86334	54.18315	35.36703	44.77327
	2%	34.83867	38.34780	38.81516	39.92183	29.38669	34.56995	34.90924
กล้วย	0.25%	50.64384	50.32183	40.36842	50.06058	51.89424	43.83520	47.85402
	0.5%	49.18820	52.03872	53.38848	47.97692	52.73896	49.36487	50.33849
	1%	43.71434	44.89283	52.03903	50.69286	34.79817	25.08422	41.87024
	2%	37.10762	38.99155	36.01669	30.07788	45.61680	42.66815	38.41311
อ้อย	0.25%	32.06293	44.71123	53.70683	49.80701	40.16033	42.76530	43.86894
	0.5%	51.39577	45.35643	35.88164	34.58143	46.84977	45.14079	43.20097
	1%	40.79165	13.42290	35.95961	32.19840	34.05743	35.71766	32.02461
	2%	28.80901	37.26600	33.92585	38.61510	33.25484	30.32445	33.69921
บวบ	0.25%	39.96375	42.60168	38.64086	38.32908	41.49824	43.41297	40.74110
	0.5%	37.39417	45.94542	43.60680	41.12768	45.85969	40.72150	42.44254
	1%	42.36804	36.79452	42.77925	37.41565	45.36630	40.17823	40.81700
	2%	38.39774	42.23482	42.68954	46.46582	36.90160	45.40199	42.01525



รูปที่ ก.1 ตัวอย่างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress และ Strainของคอมโพสิตชีวภาพจากเส้นใยกาบกล้วยน้ำว้าที่ปริมาณ 2%wt

ตารางที่ ก.2 ตารางบันทึกผลคุณสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก

ชนิด	ปริมาณวัสดุเสริมแรง (กรัม)	ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทก (J/mm^2)												เฉลี่ย (J/mm^2)
		ชิ้นที่ 1	ชิ้นที่ 2	ชิ้นที่ 3	ชิ้นที่ 4	ชิ้นที่ 5	ชิ้นที่ 6	ชิ้นที่ 7	ชิ้นที่ 8	ชิ้นที่ 9	ชิ้นที่ 10	ชิ้นที่ 11	ชิ้นที่ 12	
Pure		0.242	0.237	0.235	0.238	0.238	0.237	0.235	0.237	0.240	0.238	0.235	0.238	0.238
หมาก	0.25%	0.234	0.236	0.236	0.234	0.235	0.234	0.233	0.235	0.237	0.232	0.236	0.234	0.235
	0.5%	0.237	0.235	0.236	0.238	0.236	0.237	0.238	0.237	0.237	0.238	0.235	0.237	0.237
	1%	0.232	0.237	0.235	0.235	0.234	0.235	0.235	0.232	0.234	0.237	0.234	0.235	0.235
	2%	0.234	0.235	0.235	0.231	0.226	0.238	0.234	0.238	0.229	0.234	0.234	0.225	0.233
กล้วย	0.25%	0.234	0.235	0.233	0.234	0.234	0.231	0.237	0.235	0.233	0.234	0.234	0.235	0.234
	0.5%	0.235	0.237	0.235	0.237	0.235	0.235	0.235	0.238	0.240	0.233	0.237	0.235	0.236
	1%	0.238	0.238	0.238	0.237	0.234	0.235	0.239	0.235	0.237	0.238	0.238	0.237	0.237
	2%	0.235	0.235	0.235	0.235	0.234	0.235	0.237	0.232	0.238	0.232	0.237	0.237	0.235
ข้อย	0.25%	0.235	0.235	0.232	0.235	0.237	0.234	0.235	0.232	0.237	0.234	0.231	0.234	0.234
	0.5%	0.238	0.235	0.237	0.234	0.238	0.235	0.234	0.238	0.238	0.235	0.238	0.235	0.236
	1%	0.237	0.238	0.238	0.240	0.237	0.237	0.234	0.238	0.238	0.237	0.235	0.237	0.237
	2%	0.238	0.238	0.234	0.238	0.237	0.238	0.234	0.238	0.235	0.238	0.237	0.237	0.237
บวบ	0.25%	0.237	0.229	0.234	0.234	0.232	0.232	0.235	0.233	0.234	0.237	0.235	0.232	0.234
	0.5%	0.237	0.235	0.238	0.235	0.235	0.233	0.238	0.235	0.234	0.235	0.237	0.235	0.236
	1%	0.238	0.238	0.232	0.238	0.237	0.235	0.237	0.238	0.237	0.237	0.238	0.237	0.237
	2%	0.238	0.235	0.237	0.235	0.235	0.235	0.237	0.217	0.235	0.238	0.237	0.238	0.235

ตารางที่ ก.3 ตารางบันทึกผลคุณสมบัติความแข็ง

ชนิด	ปริมาณวัสดุเสริมแรง (%wt)	Hardness (Shore)					เฉลี่ย (Shore)
		ชิ้นที่ 1	ชิ้นที่ 2	ชิ้นที่ 3	ชิ้นที่ 4	ชิ้นที่ 5	
Pure PLA		70	74	72	76	76	73.6
หมาก	0.25%	79	78	78	77	77	77.8
	0.5%	76	79	78	77	78	77.6
	1%	78	80	80	78	80	79.2
	2%	75	78	77	78	77	77
กล้วย	0.25%	79	78	79	76	76	77.6
	0.5%	77	78	79	79	79	78.4
	1%	80	80	78	79	80	79.4
	2%	78	79	80	77	76	78
อ้อย	0.25%	76	76	76	75	76	75.8
	0.5%	79	78	80	78	79	78.8
	1%	80	79	80	78	80	79.4
	2%	80	80	80	80	79	79.8
บวบ	0.25%	75	79	79	72	73	75.6
	0.5%	75	77	77	78	79	77.2
	1%	79	79	78	75	79	78
	2%	79	75	74	74	75	75.4

ตารางที่ ก.4 ตารางบันทึกผลการดูดซับน้ำ (1/04/53)

ชนิด	ปริมาณวัสดุเสริมแรง (%wt)	น้ำหนัก												เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ (%)					
		ก่อนแช่ (กรัม)						หลังแช่ (กรัม)											
		1	2	3	4	5	เฉลี่ย	1	2	3	4	5	เฉลี่ย	1	2	3	4	5	เฉลี่ย
Pure		0.969	0.987	0.963	0.935	0.939	0.959	0.971	0.990	0.968	0.945	0.944	0.964	0.206	0.304	0.519	1.070	0.532	0.522
หมาก	0.25%	0.750	0.916	0.896	0.903	0.888	0.871	0.783	0.936	0.901	0.906	0.891	0.883	4.400	2.183	0.558	0.332	0.338	1.470
	0.5%	1.004	0.815	0.913	0.949	0.958	0.928	1.022	0.833	0.927	0.958	0.971	0.942	1.793	2.209	1.533	0.948	1.357	1.552
	1%	0.994	1.046	1.007	1.12	1.15	1.063	1.019	1.057	1.031	1.143	1.177	1.085	2.515	1.052	2.383	2.054	2.348	2.069
	2%	0.803	0.907	0.885	0.907	0.92	0.884	0.818	0.928	0.903	0.925	0.944	0.904	1.868	2.315	2.034	1.985	2.609	2.171
กล้วย	0.25%	0.965	0.855	0.843	0.88	0.972	0.903	0.981	0.857	0.848	0.881	0.974	0.908	1.658	0.234	0.593	0.114	0.206	0.576
	0.5%	1.15	1.18	1.01	0.924	0.889	1.031	1.157	1.185	1.021	0.929	0.892	1.037	0.609	0.424	1.089	0.541	0.337	0.602
	1%	0.87	0.891	0.854	0.841	0.918	0.875	0.875	0.897	0.861	0.847	0.921	0.880	0.575	0.673	0.820	0.713	0.327	0.617
	2%	0.864	0.84	0.9	0.71	0.8	0.823	0.868	0.843	0.907	0.716	0.813	0.829	0.463	0.357	0.778	0.845	1.625	0.802
อ้อย	0.25%	0.938	0.927	0.891	0.89	0.948	0.919	0.95	0.938	0.901	0.903	0.953	0.929	1.279	1.187	1.122	1.461	0.527	1.110
	0.5%	0.915	0.99	0.958	0.967	0.971	0.960	0.935	1.009	0.978	0.973	0.976	0.974	2.186	1.919	2.088	0.620	0.515	1.458
	1%	0.986	0.907	0.976	0.938	0.941	0.950	1.001	0.926	0.994	0.947	0.953	0.964	1.521	2.095	1.844	0.959	1.275	1.537
	2%	0.873	0.906	0.935	0.898	0.914	0.905	0.892	0.921	0.947	0.919	0.926	0.921	2.176	1.656	1.283	2.339	1.313	1.745
บวบ	0.25%	0.94	0.955	0.937	0.876	0.937	0.929	0.95	0.967	0.943	0.887	0.95	0.939	1.064	1.257	0.640	1.256	1.387	1.119
	0.5%	1.01	0.954	0.849	0.931	0.942	0.937	1.021	0.967	0.865	0.939	0.952	0.949	1.089	1.363	1.885	0.859	1.062	1.238
	1%	0.81	1.01	0.952	0.905	0.958	0.927	0.819	1.034	0.967	0.914	0.967	0.940	1.111	2.376	1.576	0.994	0.939	1.424
	2%	0.87	0.843	0.847	0.817	0.782	0.832	0.884	0.86	0.866	0.83	0.799	0.848	1.609	2.017	2.243	1.591	2.174	1.924

ตารางที่ ก.5 ตารางบันทึกผลการดูดซับน้ำ (2/04/53)

ชนิด	ปริมาณวัสดุเสริมแรง (%wt)	น้ำหนัก												เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ (%)					
		ก่อนแช่ (กรัม)						หลังแช่ (กรัม)											
		1	2	3	4	5	เฉลี่ย	1	2	3	4	5	เฉลี่ย	1	2	3	4	5	เฉลี่ย
Pure		0.969	0.987	0.963	0.935	0.939	0.959	0.971	0.991	0.969	0.947	0.945	0.965	0.206	0.405	0.623	1.283	0.639	0.626
หมาก	0.25%	0.750	0.916	0.896	0.903	0.888	0.871	0.784	0.938	0.902	0.909	0.893	0.885	4.533	2.402	0.670	0.664	0.563	1.677
	0.5%	1.004	0.815	0.913	0.949	0.958	0.928	1.023	0.834	0.928	0.962	0.973	0.944	1.892	2.331	1.643	1.370	1.566	1.746
	1%	0.994	1.046	1.007	1.120	1.150	1.063	1.020	1.059	1.031	1.148	1.177	1.087	2.616	1.243	2.383	2.500	2.348	2.219
	2%	0.803	0.907	0.885	0.907	0.920	0.884	0.929	0.818	0.905	0.925	0.946	0.905	1.868	2.426	2.260	1.985	2.826	2.284
กล้วย	0.25%	0.965	0.855	0.843	0.880	0.972	0.903	0.985	0.860	0.852	0.884	0.978	0.912	2.073	0.585	1.068	0.455	0.617	0.975
	0.5%	1.150	1.180	1.010	0.924	0.889	1.031	1.162	1.186	1.022	0.931	0.894	1.039	1.043	0.508	1.188	0.758	0.562	0.815
	1%	0.870	0.891	0.854	0.841	0.918	0.875	0.875	0.898	0.864	0.848	0.922	0.881	0.575	0.786	1.171	0.832	0.436	0.754
	2%	0.864	0.840	0.900	0.710	0.800	0.823	0.871	0.845	0.914	0.718	0.814	0.832	0.810	0.595	1.556	1.127	1.750	1.167
อ้อย	0.25%	0.938	0.927	0.891	0.890	0.948	0.919	0.952	0.940	0.904	0.911	0.958	0.933	1.493	1.402	1.459	2.360	1.055	1.545
	0.5%	0.915	0.990	0.958	0.967	0.971	0.960	0.936	1.009	0.979	0.974	0.978	0.975	2.295	1.919	2.192	0.724	0.721	1.562
	1%	0.986	0.907	0.976	0.938	0.941	0.950	1.003	0.927	0.996	0.948	0.956	0.966	1.724	2.205	2.049	1.066	1.594	1.727
	2%	0.873	0.906	0.935	0.898	0.914	0.905	0.895	0.922	0.948	0.921	0.926	0.922	2.520	1.766	1.390	2.561	1.313	1.900
บวบ	0.25%	0.940	0.955	0.937	0.876	0.937	0.929	0.952	0.968	0.944	0.888	0.951	0.941	1.277	1.361	0.747	1.370	1.494	1.249
	0.5%	1.010	0.954	0.849	0.931	0.942	0.937	1.021	0.968	0.866	0.941	0.961	0.951	1.089	1.468	2.002	1.074	2.017	1.515
	1%	0.810	1.010	0.952	0.905	0.958	0.927	0.820	1.035	0.968	0.915	0.969	0.941	1.235	2.475	1.681	1.105	1.148	1.553
	2%	0.870	0.843	0.847	0.817	0.782	0.832	0.885	0.862	0.870	0.833	0.800	0.850	1.724	2.254	2.715	1.958	2.302	2.188

ตารางที่ ก.6 ตารางบันทึกผลการดูดซับน้ำ (5/04/53)

ชนิด	ปริมาณวัสดุเสริมแรง (%wt)	น้ำหนัก												เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ (%)					
		ก่อนแช่ (กรัม)						หลังแช่ (กรัม)											
		1	2	3	4	5	เฉลี่ย	1	2	3	4	5	เฉลี่ย	1	2	3	4	5	เฉลี่ย
Pure		0.969	0.987	0.963	0.935	0.939	0.959	0.973	0.995	0.973	0.955	0.950	0.969	0.413	0.811	1.038	2.139	1.171	1.106
หมาก	0.25%	0.750	0.916	0.896	0.903	0.888	0.871	0.788	0.943	0.906	0.915	0.897	0.890	5.067	2.948	1.116	1.329	1.014	2.205
	0.5%	1.004	0.815	0.913	0.949	0.958	0.928	1.032	0.846	0.932	0.965	0.978	0.951	2.789	3.804	2.081	1.686	2.088	2.457
	1%	0.994	1.046	1.007	1.120	1.150	1.063	1.023	1.061	1.039	1.154	1.183	1.092	2.918	1.434	3.178	3.036	2.870	2.689
	2%	0.803	0.907	0.885	0.907	0.920	0.884	0.820	0.934	0.909	0.933	0.951	0.909	2.117	2.977	2.712	2.867	3.370	2.827
กล้วย	0.25%	0.965	0.855	0.843	0.880	0.972	0.903	0.993	0.865	0.860	0.890	0.984	0.918	2.902	1.170	2.017	1.136	1.235	1.705
	0.5%	1.150	1.180	1.010	0.924	0.889	1.031	1.164	1.192	1.034	0.939	0.897	1.045	1.217	2.376	1.623	0.900	1.017	1.417
	1%	0.870	0.891	0.854	0.841	0.918	0.875	0.881	0.913	0.874	0.847	0.931	0.889	1.264	2.469	2.342	0.713	1.416	1.646
	2%	0.864	0.840	0.900	0.710	0.800	0.823	0.877	0.849	0.927	0.739	0.833	0.845	1.505	1.071	3.000	4.085	4.125	2.698
อ้อย	0.25%	0.938	0.927	0.891	0.890	0.948	0.919	0.974	0.951	0.917	0.923	0.967	0.946	3.838	2.589	2.918	3.708	2.004	3.004
	0.5%	0.915	0.990	0.958	0.967	0.971	0.960	0.952	1.024	0.995	0.988	0.984	0.989	4.044	3.434	3.862	2.172	1.339	2.958
	1%	0.986	0.907	0.976	0.938	0.941	0.950	1.012	0.937	1.006	0.963	0.970	0.978	2.637	3.308	3.074	2.665	3.082	2.949
	2%	0.873	0.906	0.935	0.898	0.914	0.905	0.914	0.949	0.977	0.942	0.956	0.948	4.696	4.746	4.492	4.900	4.595	4.684
บวบ	0.25%	0.940	0.955	0.937	0.876	0.937	0.929	0.956	0.971	0.947	0.892	0.956	0.944	1.702	1.675	1.067	1.826	2.028	1.658
	0.5%	1.010	0.954	0.849	0.931	0.942	0.937	1.027	0.971	0.868	0.946	0.966	0.956	1.683	1.782	2.238	1.611	2.548	1.963
	1%	0.810	1.010	0.952	0.905	0.958	0.927	0.827	1.043	0.972	0.923	0.978	0.949	2.099	3.267	2.101	1.989	2.088	2.330
	2%	0.870	0.843	0.847	0.817	0.782	0.832	0.889	0.866	0.873	0.837	0.804	0.854	2.184	2.728	3.070	2.448	2.813	2.645

ตารางที่ ก.7 ตารางบันทึกผลการดูดซับน้ำ (7/04/53)

ชนิด	ปริมาณวัสดุเสริมแรง (%wt)	น้ำหนัก												เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ (%)					
		ก่อนแช่ (กรัม)						หลังแช่ (กรัม)											
		1	2	3	4	5	เฉลี่ย	1	2	3	4	5	เฉลี่ย	1	2	3	4	5	เฉลี่ย
Pure		0.969	0.987	0.963	0.935	0.939	0.959	0.975	0.998	0.973	0.958	0.953	0.971	0.619	1.114	1.038	2.460	1.491	1.335
หมาก	0.25%	0.750	0.916	0.896	0.903	0.888	0.871	0.788	0.943	0.906	0.915	0.897	0.890	5.067	2.948	1.116	1.329	1.014	2.205
	0.5%	1.004	0.815	0.913	0.949	0.958	0.928	1.032	0.846	0.934	0.965	0.978	0.951	2.789	3.804	2.300	1.686	2.088	2.501
	1%	0.994	1.046	1.007	1.120	1.150	1.063	1.024	1.069	1.039	1.159	1.185	1.095	3.018	2.199	3.178	3.482	3.043	2.990
	2%	0.803	0.907	0.885	0.907	0.920	0.884	0.821	0.933	0.911	0.935	0.954	0.911	2.242	2.867	2.938	3.087	3.696	2.985
กล้วย	0.25%	0.965	0.855	0.843	0.880	0.972	0.903	0.993	0.867	0.863	0.891	0.985	0.920	2.902	1.404	2.372	1.250	1.337	1.860
	0.5%	1.150	1.180	1.010	0.924	0.889	1.031	1.164	1.198	1.034	0.941	0.898	1.047	1.217	1.525	2.376	1.840	1.012	1.591
	1%	0.870	0.891	0.854	0.841	0.918	0.875	0.886	0.915	0.879	0.851	0.932	0.893	1.839	2.694	2.927	1.189	1.525	2.035
	2%	0.864	0.840	0.900	0.710	0.800	0.823	0.879	0.849	0.933	0.744	0.837	0.848	1.736	1.071	3.667	4.789	4.625	3.111
อ้อย	0.25%	0.938	0.927	0.891	0.890	0.948	0.919	0.976	0.956	0.918	0.924	0.967	0.948	4.051	3.128	3.030	3.820	2.004	3.200
	0.5%	0.915	0.990	0.958	0.967	0.971	0.960	0.955	1.024	0.997	0.988	0.986	0.990	4.372	3.434	4.071	2.172	1.545	3.104
	1%	0.986	0.907	0.976	0.938	0.941	0.950	1.016	0.938	1.009	0.965	0.973	0.980	3.043	3.418	3.381	2.878	3.401	3.222
	2%	0.873	0.906	0.935	0.898	0.914	0.905	0.919	0.952	0.978	0.949	0.960	0.952	5.269	5.077	4.599	5.679	5.033	5.126
บวบ	0.25%	0.940	0.955	0.937	0.876	0.937	0.929	0.956	0.971	0.947	0.892	0.958	0.945	1.702	1.675	1.067	1.826	2.241	1.701
	0.5%	1.010	0.954	0.849	0.931	0.942	0.937	1.029	0.973	0.868	0.947	0.966	0.957	1.881	1.992	2.238	1.719	2.548	2.070
	1%	0.810	1.010	0.952	0.905	0.958	0.927	0.828	1.045	0.975	0.924	0.981	0.951	2.222	3.465	2.416	2.099	2.401	2.546
	2%	0.870	0.843	0.847	0.817	0.782	0.832	0.893	0.867	0.875	0.839	0.807	0.856	2.644	2.847	3.306	2.693	3.197	2.933

ตารางที่ ก.8 ตารางบันทึกผลการดูดซับน้ำ (8/04/53)

ชนิด	ปริมาณวัสดุเสริมแรง (%wt)	น้ำหนัก												เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ (%)					
		ก่อนแช่ (กรัม)						หลังแช่ (กรัม)											
		1	2	3	4	5	เฉลี่ย	1	2	3	4	5	เฉลี่ย	1	2	3	4	5	เฉลี่ย
Pure		0.969	0.987	0.963	0.935	0.939	0.959	0.979	0.998	0.967	0.942	0.953	0.968	1.032	1.114	0.415	0.749	1.491	0.960
หมาก	0.25%	0.750	0.916	0.896	0.903	0.888	0.871	0.781	0.942	0.902	0.911	0.896	0.886	4.133	2.838	0.670	0.886	0.901	1.815
	0.5%	1.004	0.815	0.913	0.949	0.958	0.928	1.029	0.844	0.932	0.965	0.975	0.949	2.490	3.558	2.081	1.686	1.775	2.285
	1%	0.994	1.046	1.007	1.120	1.150	1.063	1.021	1.065	1.035	1.137	1.179	1.087	2.716	1.816	2.781	1.518	2.522	2.257
	2%	0.803	0.907	0.885	0.907	0.920	0.884	0.818	0.929	0.898	0.929	0.943	0.903	1.868	2.426	1.469	2.426	2.500	2.148
กล้วย	0.25%	0.965	0.855	0.843	0.880	0.972	0.903	0.992	0.853	0.855	0.881	0.979	0.912	2.798	-0.234	1.423	0.114	0.720	0.997
	0.5%	1.150	1.180	1.010	0.924	0.889	1.031	1.164	1.184	1.032	0.928	0.892	1.040	1.217	0.339	2.178	0.433	0.337	0.912
	1%	0.870	0.891	0.854	0.841	0.918	0.875	0.890	0.911	0.866	0.846	0.925	0.888	2.299	2.245	1.405	0.595	0.763	1.463
	2%	0.864	0.840	0.900	0.710	0.800	0.823	0.874	0.847	0.931	0.736	0.833	0.844	1.157	0.833	3.444	3.662	4.125	2.601
อ้อย	0.25%	0.938	0.927	0.891	0.890	0.948	0.919	0.973	0.953	0.914	0.921	0.958	0.944	3.731	2.805	2.581	3.483	1.055	2.721
	0.5%	0.915	0.990	0.958	0.967	0.971	0.960	0.950	1.021	0.995	0.985	0.978	0.986	3.825	3.131	3.862	1.861	0.721	2.666
	1%	0.986	0.907	0.976	0.938	0.941	0.950	1.012	0.932	1.004	0.961	0.973	0.976	2.637	2.756	2.869	2.452	3.401	2.822
	2%	0.873	0.906	0.935	0.898	0.914	0.905	0.915	0.951	0.977	0.944	0.957	0.949	4.811	4.967	4.492	5.122	4.705	4.817
บวบ	0.25%	0.940	0.955	0.937	0.876	0.937	0.929	0.956	0.969	0.946	0.888	0.953	0.942	1.702	1.466	0.961	1.370	1.708	1.442
	0.5%	1.010	0.954	0.849	0.931	0.942	0.937	1.022	0.970	0.867	0.943	0.966	0.954	1.188	1.677	2.120	1.289	2.548	1.750
	1%	0.810	1.010	0.952	0.905	0.958	0.927	0.827	1.045	0.973	0.923	0.980	0.950	2.099	1.989	2.206	3.465	2.296	2.438
	2%	0.870	0.843	0.847	0.817	0.782	0.832	0.894	0.865	0.874	0.839	0.805	0.855	2.759	2.610	3.188	2.693	2.941	2.837

ตารางที่ ก.9 ตารางบันทึกผลการดูดซับน้ำ (9/04/53)

ชนิด	ปริมาณวัสดุเสริมแรง (%wt)	น้ำหนัก ก่อนแช่ (กรัม)						น้ำหนัก หลังแช่ (กรัม)						เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ (%)					
		1	2	3	4	5	เฉลี่ย	1	2	3	4	5	เฉลี่ย	1	2	3	4	5	เฉลี่ย
Pure		0.969	0.987	0.963	0.935	0.939	0.959	0.972	0.996	0.970	0.942	0.953	0.967	0.310	0.912	0.727	0.749	1.491	0.835
หมาก	0.25%	0.750	0.916	0.896	0.903	0.888	0.871	0.781	0.942	0.901	0.911	0.894	0.886	4.133	2.838	0.558	0.886	0.676	1.746
	0.5%	1.004	0.815	0.913	0.949	0.958	0.928	1.029	0.847	0.932	0.965	0.975	0.950	2.490	3.926	2.081	1.686	1.775	2.350
	1%	0.994	1.046	1.007	1.120	1.150	1.063	1.024	1.065	1.035	1.139	1.179	1.088	3.018	1.816	2.781	1.696	2.522	2.351
	2%	0.803	0.907	0.885	0.907	0.920	0.884	0.818	0.929	0.899	0.931	0.943	0.904	1.868	2.426	1.582	2.646	2.500	2.216
กล้วย	0.25%	0.965	0.855	0.843	0.880	0.972	0.903	0.992	0.856	0.877	0.886	0.979	0.918	2.798	0.117	4.033	0.682	0.720	1.661
	0.5%	1.150	1.180	1.010	0.924	0.889	1.031	1.164	1.188	1.031	0.932	0.892	1.041	1.217	0.678	2.079	0.866	0.337	1.048
	1%	0.870	0.891	0.854	0.841	0.918	0.875	0.893	0.911	0.867	0.846	0.929	0.889	2.644	2.245	1.522	0.595	1.198	1.646
	2%	0.864	0.840	0.900	0.710	0.800	0.823	0.876	0.847	0.931	0.736	0.833	0.845	1.389	0.833	3.444	3.662	4.125	2.649
อ้อย	0.25%	0.938	0.927	0.890	0.891	0.948	0.919	0.975	0.954	0.914	0.922	0.960	0.945	3.945	2.913	2.581	3.596	1.266	2.852
	0.5%	0.915	0.990	0.958	0.967	0.971	0.960	0.952	1.021	0.997	0.986	0.978	0.987	4.044	3.131	4.071	1.965	0.721	2.770
	1%	0.986	0.907	0.976	0.938	0.941	0.950	1.013	0.933	1.006	0.961	0.977	0.978	2.738	2.867	3.074	2.452	3.826	2.991
	2%	0.873	0.906	0.935	0.898	0.914	0.905	0.916	0.951	0.979	0.947	0.957	0.950	4.926	4.967	4.706	5.457	4.705	4.949
บวบ	0.25%	0.940	0.955	0.937	0.876	0.937	0.929	0.955	0.969	0.946	0.889	0.954	0.943	1.596	1.466	0.961	1.484	1.814	1.464
	0.5%	1.010	0.954	0.849	0.931	0.942	0.937	1.024	0.971	0.867	0.944	0.968	0.955	1.386	1.782	2.120	1.396	2.760	1.878
	1%	0.810	1.010	0.952	0.905	0.958	0.927	0.828	1.045	0.972	0.923	0.981	0.950	2.222	3.465	2.101	1.989	2.401	2.460
	2%	0.870	0.843	0.847	0.817	0.782	0.832	0.894	0.865	0.877	0.836	0.805	0.855	2.759	2.610	3.542	2.326	2.941	2.837