# ศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิแลกติกแอซิดคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยธรรมชาติ

# INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTY OF POLYLACTIC ACID-NATURAL FIBER COMPOSITE


นายมงคล กาศมณี รหัส 50363716

นายสมภพ โนติ๊บ รหัส 50363822



1531817

วน.

ว114 ค

2553

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่รับ 10 ก.ค. 2554

เลขทะเบียน 1531817

เลขเรียกหนังสือ วน.

มหาวิทยาลัยนเรศวร ว114 ค 2553


ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2553

# ใบรับรองปริญญานิพนธ์

| | | | |
|---|---|---|---|
| **ชื่อหัวข้อโครงงาน** | ศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิแลกติกแอซิดคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยธรรมชาติ | | |
| **ผู้ดำเนินโครงงาน** | นายมงคล | กาศมณี | รหัส 50363716 |
| | นายสมภพ | โนติ๊บ | รหัส 50363822 |
| **ที่ปรึกษาโครงงาน** | อาจารย์นพวรรณ | โม้ทอง | |
| **สาขาวิชา** | วิศวกรรมอุตสาหการ | | |
| **ภาควิชา** | วิศวกรรมอุตสาหการ | | |
| **ปีการศึกษา** | 2553 | | |

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

.....ที่ปรึกษาโครงงาน
(อาจารย์นพวรรณ โม้ทอง)

.....กรรมการ
(อาจารย์อดิศักดิ์ ไสยสุข)

.....กรรมการ
(อาจารย์อาภาภรณ์ จันปีย์รักษ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์วัฒนชัย เยาวรัตน์)

.....กรรมการ
(อาจารย์สุชาดา อยู่แก้ว)

.....กรรมการ
(อาจารย์อิศราวุธ ประเสริฐสังข์)

| | | | |
|---|---|---|---|
| **ชื่อหัวข้อโครงงาน** | ศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิแลกติกแอซิดคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยธรรมชาติ | | |
| **ผู้ดำเนินโครงงาน** | นายมงคล | กาศมณี | รหัส 50363716 |
| | นายสมภพ | โนติ๊บ | รหัส 50363822 |
| **ที่ปรึกษาโครงงาน** | อาจารย์นพวรรณ | ไม้ทอง | |
| **สาขาวิชา** | วิศวกรรมอุตสาหการ | | |
| **ภาควิชา** | วิศวกรรมอุตสาหการ | | |
| **ปีการศึกษา** | 2553 | | |

.....

## บทคัดย่อ


ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษาถึงสมบัติเชิงกล ได้แก่สมบัติการรับแรงดึง สมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก สมบัติความแข็งและการทดสอบการบ่มด้วยความร้อนของพอลิแลกติกแอซิดที่เสริมแรงด้วยเส้นใยจากกาบกล้วยน้ำว้าและขานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 โดยใช้สารคู่ควบที่ปริมาณร้อยละ 0, ร้อยละ 5, ร้อยละ 10 และร้อยละ 20 ของน้ำหนักของเส้นใย

ผลจากการศึกษาพบว่า การใช้เส้นจากกาบกล้วยน้ำว้าและเส้นใยจากขานอ้อยในการเสริมแรงให้สมบัติเชิงกลโดยรวมไม่แตกต่างกันมาก คอมโพสิตชีวภาพที่เสริมแรงด้วยเส้นใยให้สมบัติเชิงกลที่สูงกว่าพลาสติกชีวภาพ PLA บริสุทธิ์ เมื่อเพิ่มปริมาณสารคู่ควบทำให้สมบัติการรับแรงดึงและสมบัติความต้านทานแรงกระแทกมีค่าเพิ่มสูงขึ้นโดยการสารคู่ควบที่ปริมาณร้อยละ 20 ของน้ำหนักของเส้นใยให้สมบัติเชิงกลสูงสุด ส่วนสมบัติความแข็งมีค่าโดยประมาณไม่เปลี่ยนแปลง การทดสอบสมบัติเชิงกลหลังการบ่มด้วยความร้อนพบว่า สมบัติการรับแรงกระแทกเพิ่มขึ้น สมบัติความแข็งและสมบัติการรับแรงดึงลดลง

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อทดสอบสมมติฐานของปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ ปริมาณสารคู่ควบ ชนิดของเส้นใยและการทดสอบการบ่มด้วยความร้อน ให้ผลว่า ปริมาณสารคู่ควบมีผลต่อสมบัติการรับแรงดึง สมบัติการรับแรงกระแทก ชนิดของเส้นใยมีผลต่อสมบัติการรับแรงดึง และการทดสอบการบ่มด้วยความร้อนมีผลต่อสมบัติการรับแรงดึง สมบัติการรับแรงกระแทกและสมบัติความแข็ง

# กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้ดำเนินโครรงานวิศวกรรมของแสดงความขอบคุณบุคคล หน่วยงานและสถาบันที่มีส่วนสำคัญที่ทำให้การจัดทำโครงงานนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาลัยวิทยาลัยนเรศวร ที่ทำให้ได้มีโอกาสในการดำเนินโครงงาน เอื้อเฟื้อสถานที่ อุปกรณ์ในการดำเนินโครงงานและภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาลัยนเรศวร ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ในการดำเนินโครงงานนี้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์นพวรรณ โม้ทอง อาจารย์ประเทือง โมรารายณ์ คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และ อาจารย์วยากรณ์ เพ็ชญไพศิษฎ์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ที่ได้ให้แนวความคิด คำแนะนำในการดำเนินงานและโอกาสที่ดีเสมอมา

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดาและเพื่อนๆ ที่คอยสนับสนุนและเป็นกำลังใจแก่คณะผู้ดำเนินโครงงานตลอดมา จึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ผู้ดำเนินโครงงาน
นายมงคล กาศมณี
นายสมภพ โนติ๊บ

เมษายน 2554

# สารบัญ

หน้า

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

บทที่ 1 บทนำ ..... 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน ..... 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน ..... 1
1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน ..... 2
1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ ..... 2
1.5 ขอบเขตการดำเนินโครงงาน ..... 2
1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน ..... 2
1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน ..... 3
1.8 ขั้นตอนและแผนดำเนินโครงการ ..... 3

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี ..... 4
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ..... 4
2.2 พอลิเมอร์ ..... 6
2.3 พลาสติกชีวภาพ ..... 6
2.4 Polylactic Acid ..... 6
2.5 คอมโพสิต ..... 7
2.6 ตัวเสริมแรง ..... 8
2.7 คอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยธรรมชาติ ..... 8
2.8 การดัดแปลงเส้น ..... 9
2.9 สารคู่ ..... 9

บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงงาน ..... 12
3.1 การเตรียมเส้นใยจากพืช ..... 12
3.2 การเตรียมชิ้นงาน ..... 13
3.3 การทดสอบสมบัติเชิงกลของชิ้นงานทดสอบ ..... 14
3.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวน ..... 27

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า


บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ ..... 28
4.1 เส้นใยจากพืช ..... 28
4.2 ชิ้นงานทดสอบ ..... 29
4.3 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล ..... 31
4.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล ..... 40
4.5 การวิเคราะห์ผลทางสถิติจากข้อมูลการทดสอบ ..... 48

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ ..... 50
5.1 สรุปผลการทดลอง ..... 50
5.2 ข้อเสนอแนะ ..... 51

เอกสารอ้างอิง ..... 52
ภาคผนวก ก ..... 54
ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน ..... 61

# สารบัญตาราง


ตารางที่ หน้า

1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน....3

2.1 สารคู่ควบประเภทไซเลนที่ใช้ในเชิงพาณิชย์....10

3.1 ตารางบันทึกผลผลการทดสอบสมบัติการรับแรงดึง.... 16

3.2 ตารางบันทึกผลการทดสอบสมบัติต้านทานต่อแรงกระแทก....19

3.3 ตารางบันทึกผลการทดสอบสมบัติความแข็ง .... 21

3.4 ตารางบันทึกผลผลการทดสอบสมบัติการรับแรงดึงหลังการบ่มด้วยความร้อน .... 24

3.5 ตารางบันทึกผลผลการทดสอบสมบัติการรับแรงกระแทกหลังการบ่มด้วยความร้อน ....25

3.6 ตารางบันทึกผลผลการทดสอบสมบัติความแข็งหลังการบ่มด้วยความร้อน . ....26

4.1 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อสมบัติการรับแรงดึง....40

4.2 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก.... 43

4.3 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อสมบัติความแข็ง.. ....46

ก.1 ตารางบันทึกผลผลการทดสอบสมบัติการรับแรงดึง.... 55

ก.2 ตารางบันทึกผลการทดสอบสมบัติต้านทานต่อแรงกระแทก.... 56

ก.3 ตารางบันทึกผลการทดสอบสมบัติความแข็ง.... 57

ก.4 ตารางบันทึกผลผลการทดสอบสมบัติการรับแรงดึงหลังการบ่มด้วยความร้อน.... 58

ก.5 ตารางบันทึกผลผลการทดสอบสมบัติการรับแรงกระแทกหลังการบ่มด้วยความร้อน.... 59

ก.6 ตารางบันทึกผลผลการทดสอบสมบัติความแข็งหลังการบ่มด้วยความร้อน .... 60

# สารบัญรูป


รูปที่ หน้า

2.1 ปฏิกิริยาไฮโดรไลสิสของไซเลน ..... 11
2.2 ปฏิกิริยาควบแน่นของไซลานอล ..... 11
3.1 แผนภาพแสดงการทดสอบชิ้นงาน ..... 14
3.2 เครื่องทดสอบสมบัติการรับแรงดึง ..... 14
3.3 ชิ้นงานทดสอบรูปดัมเบล ..... 15
3.4 แบบชิ้นงานทดสอบสมบัติการรับแรงดึง ..... 15
3.5 เครื่องทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก ..... 17
3.6 ชิ้นงานทดสอบรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีรอยบาก ..... 17
3.7 แบบชิ้นงานทดสอบรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีรอยบาก ..... 18
3.8 รูปการนำชิ้นงานใส่เครื่องทดสอบคุณสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก ..... 18
3.9 สเกลเครื่องทดสอบคุณสมบัติความต้นทานต่อแรงกระแทก ..... 18
3.10 เครื่องทดสอบคุณสมบัติความแข็งแบบ Durometer ..... 20
3.11 รูปชิ้นงานทดสอบคุณสมบัติความแข็ง ..... 20
3.12 เตาอบไฟฟ้า ..... 22
4.1 เส้นใยจากซานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 เมื่อนำไปแช่ในสารไซเลน ..... 27
4.2 เส้นใยจากกาบกล้วยน้ำว้าเมื่อนำไปแช่ในสารไซเลน ..... 27
4.3 แผ่นพลาสติกชีวภาพ ..... 28
4.4 แผ่นพลาสติกชีวภาพเสริมแรงด้วยเส้นใยจากกาบกล้วยน้ำว้า ..... 29
4.5 แผ่นพลาสติกชีวภาพเสริมแรงด้วยซานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 ..... 29
4.6 กราฟแสดง ความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณสารคู่ควบกับแรงดึงของพอลิแลกติกแอซิดคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยกาบกล้วยน้ำว้าและซานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 ..... 30
4.7 กราฟแสดง ความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณสารคู่ควบกับการรับแรงกระแทกของพอลิแลกติกแอซิดคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยกาบกล้วยน้ำว้าและซานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 ..... 31
4.8 กราฟแสดง ความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณสารคู่ควบกับความแข็งของพอลิแลกติกแอซิดคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยกาบกล้วยน้ำว้าและเส้นซานอ้อยพันธุ์สุพรรณ50 ..... 32
4.9 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสมบัติการรับแรง ก่อนและหลังการทดสอบการบ่มด้วยความร้อนของพอลิแลกติกแอซิดคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยกาบกล้วยน้ำว้า ..... 33
4.10 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสมบัติการรับแรง ก่อนและหลังการทดสอบการบ่มด้วยความร้อนของพอลิแลกติกแอซิดคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยซานอ้อยพันธุ์สุพรรณ50 ..... 34

# สารบัญรูป (ต่อ)


รูปที่ หน้า

4.11 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก ก่อนและหลังการทดสอบการบ่มด้วยความร้อนของพอลิแลกติกแอซิตคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยกาบกล้วยน้ำว้า ..... 35

4.12 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก ก่อนและหลังการทดสอบการบ่มด้วยความร้อนของพอลิแลกติกแอซิตคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยจากซานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 ..... 35

4.13 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสมบัติสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก ก่อนและหลังการทดสอบการบ่มด้วยความร้อนของพอลิแลกติกแอซิดคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยกาบกล้วยน้ำว้า ..... 36

4.14 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสมบัติความแข็ง ก่อนและหลังการทดสอบการบ่มด้วยความร้อนของพอลิแลกติกแอซิตคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยจากซานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 ..... 37

4.15 แผนภูมิกราฟแสดงส่วนตกค้างของข้อมูลสมบัติการรับแรงดึง ..... 48

4.16 แผนภูมิกราฟแสดงส่วนตกค้างของข้อมูลสมบัติต้านทานต่อแรงกระแทก ..... 49

4.17 แผนภูมิกราฟแสดงส่วนตกค้างของข้อมูลสมบัติความแข็ง ..... 49

# สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ

| | | |
|---|---|---|
| % wt | = | Percent by weight |
| EPDM | = | ethylene-propylene diene rubber |
| PMMA | = | Polymethylmethacrylate |
| PBS | = | polybutylene succinate |
| PCL | = | polycapolactone |
| PHA | = | polydroxyalkanoates |
| ASTM D638 | = | การทดสอบคุณสมบัติการรับแรงดึง |
| ASTM D256 | = | การทดสอบคุณสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก |
| ASTM D2240 | = | การทดสอบคุณสมบัติความแข็ง |
| ASTM D756 | = | การทดสอบการบิ่มด้วยความร้อน |
| NaOH | = | โซเดียมไฮดรอกไซด์ |
| $T_g$ | = | Glass transition temperature |
| $T_m$ | = | microcrystalline cellulose |
| $^0C$ | = | องศาเซลเซียส |
| PP | = | Polypropylene |
| PET | = | Poly ( ethylene terephthalate) |
| PS | = | Poystyrene |
| Kg | = | กิโลกรัม |
| Kn | = | กิโลนิวตัน |
| mm. | = | มิลลิเมตร |
| min | = | นาที |
| MPa | = | เมกกะปาสคาล |
| J | = | จูลล์ |
| $mm^2$ | = | ตารางมิลลิเมตร |
| $H_0$ | = | ค่ากลางของประชากร ( กระบวนการ ) ไม่แตกต่างกัน |
| $H_a$ | = | ค่ากลางของประชากร อย่างน้อย 2 ประชากร ( กระบวนการ ) มีความแตกต่างกัน |
| SS | = | Sum square |
| T | = | Total |
| A | = | Factor A |
| B | = | Factor B |
| C | = | Factor C |
| AB | = | Interaction of Factor A, B |
| ABC | = | Interaction of Factor A, B and C |
| E | = | Error |

# สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ(ต่อ)

| | | |
|---|---|---|
| a | = | Number of levels of factor A |
| b | = | Number of levels of factor b |
| n | = | Number of replication per cell |
| DF | = | Degree of freedom |
| SS | = | Sun of freedom |
| F | = | F - Value |
| P | = | P - Value |

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

ปัจจุบันพลาสติกชีวภาพเป็นวัสดุ ที่กำลังได้รับความสนใจจากกระแสความต้องการของโลกสามารถนำมาใช้เพื่อทดแทนพลาสติกจากปิโตเคมีในอนาคต พลาสติกชีวภาพเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการแก้ไขปัญหาเรื่องสิ่งแวดล้อม ตั้งแต่ด้านวัตถุดิบที่ผลิตจากพืชที่สามารถปลูกขึ้นทดแทนได้ กระบวนการผลิตที่ใช้พลังงานต่ำ จนถึงกระบวนการกำจัดที่สามารถย่อยสลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ พลาสติกชีวภาพที่นิยมใช้มากที่สุดในปัจจุบันคือ พอลิแลกติกแอซิด (Polylactic acid, PLA ) ซึ่งได้จากพืชผลทางการเกษตรที่หาได้ง่ายสามารถนำไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกได้เช่นเดียวกับเม็ดพลาสติกจากปิโตรเลียม อีกทั้งพอลิแลกติกแอซิด ยังมีสมบัติพิเศษคือมีความใส ไม่ย่อยสลายในสภาพแวดล้อมทั่วไปแต่สามารถย่อยสลายได้เองเมื่อนำไปฝังกลบในดิน

ปัญหาหลักของการผลิตพลาสติกชีวภาพในปัจจุบันคือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากพลาสติกชีวภาพไม่แข็งแรง ไม่ทนทาน การนำสารเติมแต่งประเภทวัสดุจากธรรมชาติ ซึ่งมีราคาถูกกว่าเติมลงไปในเนื้อพลาสติกเพื่อลดปริมาณการใช้พลาสติก วัสดุประเภทนี้จะเรียกว่า วัสดุเสริมองค์ประกอบ (Composite Material) โดยวัสดุจากธรรมชาติที่เติมลงไปนั้นจะทำหน้าที่เป็นตัวเสริมแรงให้กับพลาสติก แต่วัสดุเสริมองค์ประกอบอาจจะมีความแข็งแรงเชิงกลที่ต่ำลง เนื่องจากพลาสติกและวัสดุจากธรรมชาตินั้นผสมเข้ากันได้ยาก ดังนั้นจึงมีการใช้สารคู่ควบ (Coupling Agent) เพื่อปรับปรุงความสามารถในการเข้ากันได้ของวัสดุทั้งสองชนิด

งานวิจัยในครั้งนี้ได้ทำการศึกษาสมบัติเชิงกลและศึกษาถึงอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของพอลิแลกติกแอซิด (PLA) ที่เสริมแรงด้วยเส้นใยธรรมชาติคือ เส้นใยจากกาบกล้วยน้ำว้าและชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 ที่มีการปรับปรุงสมบัติการเข้ากันของพอลิแลกติกแอซิดและเส้นใยโดยใช้สารคู่ควบในกลุ่มไซเลน เพื่อที่จะเพิ่มศักยภาพในกระบวนการผลิตให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มี ความทนต้านทานต่อแรงกระแทก สมบัติการรับแรงดึงและสมบัติความแข็ง

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 ศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิแลกติกแอซิดคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยจากกาบกล้วยน้ำว้าและชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 เมื่อเติมสารคู่ควบในกลุ่มไซเลน

1.2.2 เพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของพอลิแลกติกแอซิดคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยจากกาบกล้วยน้ำว้าและชานอ้อยเมื่อเติมสารคู่ควบในกลุ่มไซเลน

## 1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

ทราบถึงสมบัติเชิงกลของพอลิแลกติกแอซิดคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยจากกาบกล้วยน้ำว้าและชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 เมื่อเติมสารคู่ควบและอิทธิพลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบการบ่มด้วยความร้อนที่ 50 องศาเซลเซียส มีผลต่อสมบัติเชิงกลของพอลิแลกติกแอซิดคอมโพสิต

## 1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)

1.4.1 ทราบถึงสมบัติเชิงกลของพอลิแลกติกแอซิดคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยกาบกล้วยน้ำว้า ชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 ที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อเติมสารคู่ควบในกลุ่มไซเลน

1.4.2 ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติการรับแรงดึง (Tensile Strength) ความต้านทานต่อแรงกระแทก (Impact Strength) และความแข็ง (Hardness) ของคอมโพสิตชีวภาพที่มีพลาสติกชีวภาพ PLA เป็นวัสดุหลัก

## 1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงงาน

### 1.5.1 ตัวแปรควบคุม

1.5.1.1 วัสดุเนื้อหลัก คือ พลาสติกชีวภาพ PLA เกรด 2002D

1.5.1.2 ชนิดของเส้นใย 2 ชนิด คือ เส้นใยกาบกล้วยน้ำว้าที่มีความยาว 20 เซนติเมตร เส้นใยชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 ที่ความยาว 5 เซนติเมตร ที่ปริมาณเส้นใยร้อยละ 1 ของน้ำหนักพลาสติกชีวภาพ

1.5.1.3 สารคู่ควบในกลุ่มไซเลน ที่ปริมาณร้อยละ 5, ร้อยละ 10 และร้อยละ 20 ของน้ำหนักเส้นใย

1.5.1.4 อุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบการบ่มด้วยความร้อน ที่ 50 องศาเซียส ความชื้นที่ร้อยละ 60 ความชื้นสัมพัทธ์.

### 1.5.2 ตัวแปรที่ศึกษา

1.5.2.1 สมบัติเชิงกลได้แก่ สมบัติการรับแรงดึง (Tensile Strength) ความต้านทานต่อแรงกระแทก (Impact Strength) และความแข็ง (Hardness) เมื่อเติมสารคู่ควบในกลุ่มไซเลน

1.5.2.2 สมบัติเชิงกลได้แก่ สมบัติการรับแรงดึง (Tensile Strength) ความต้านทานต่อแรงกระแทก (Impact Strength) และความแข็ง (Hardness) ภายหลังการบ่มด้วยความร้อน (Thermal aging)

ก. สมบัติการรับแรงดึง (Tensile Strength) ทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบการดึง (Tensile Testing Machine, Lloyd Instruments Type LR 10 K PLUS ) ตามมาตรฐาน ASTM D 638

ข. สมบัติต้านทานต่อแรงกระแทก (Impact Strength) ทดสอบโดยใช้เครื่องมือทดสอบสมบัติต้านทานต่อแรงกระแทก (Impact Tester, Model XC-227Z) ตามมาตรฐาน ASTM D 256

ค. สมบัติความแข็ง (Hardness) โดยใช้เครื่องทดสอบหาค่าความแข็งแบบชอร์ ดี (Shore D Hardness) ตามมาตรฐาน ASTM D2240

## 1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน

1.6.1 ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.6.2 ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

## 1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน

ตั้งแต่วันที่ 1 กรกฎาคม 2553 – 30 เมษายน 2554

## 1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน

**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 | หาแหล่งวัตถุดิบและเครื่องมือเพื่อการทดลอง | | | ↔ | | | | | | | |
| 4 | ทำการขึ้นรูปชิ้นงาน | | | | ↔ | → | → | | | | |
| 5 | ทดสอบชิ้นงาน | | | | | | ↔ | → | | | |
| 6 | วิเคราะห์ผลการทดลอง | | | | | | | | ↔ | | |
| 7 | สรุปผลและทำรายงานการวิจัย | | | | | | | | | ↔ | → |

# บทที่ 2
# หลักการ และทฤษฎีเบื้องต้น

## 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จุฑามาส สานต๊ะ และมณีรัตน์ แซ่อ่อง (2552) ศึกษาถึงผลของชนิดและปริมาณเส้นใย จาก กาบหมากแดง กาบกล้วยน้ำว้า ชานอ้อนพันธุ์สุพรรณ 50 และบวบเหลี่ยม ในอัตราส่วนร้อยละ 0.25, ร้อยละ 0.50, ร้อยละ 1 และร้อยละ 2 ของน้ำหนักพลาสติกชีวภาพ ที่ มีผลต่อสมบัติการรับแรงดึง ความต้านทานต่อแรงกระแทก ความแข็ง และการดูดซับน้ำของคอมโพสิตชีวภาพที่มีพลาสติกชีวภาพ PLA เป็นวัสดุหลัก ผลการศึกษาพบว่า ชิ้นงานทดสอบที่ผ่านการอัดขึ้นรูปโดยใช้เส้นใยพืชจาก กาบหมากแดง กาบกล้วยน้ำว้า ชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 และบวบเหลี่ยม ทำให้สมบัติการรับแรงดึง และความต้านทานต่อแรงกระแทกมีค่าลดลง ส่วนสมบัติความแข็งแรงมีค่าเพิ่มขึ้นมากที่สุดคือ เส้นใยจากชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 ถัดมาคือ เส้นใยจากกาบกล้วยน้ำว้าซึ่งสมบัติเชิงกลดีที่สุดที่ปริมาณเส้นใยร้อยละ 1 ของน้ำหนักพลาสติกชีวภาพ

นัทพร พันธุ์ภักดี และเรวดี สกุลอาริยะ (2540) ศึกษาการนำชานอ้อยเป็นตัวเติมในโพลีโพรพิลีนขึ้นรูปด้วยกระบวนการฉีดขึ้นรูป และทำมีการปรับปรุงพื้นผิวสัมผัสของชานอ้อยด้วยอีโพลีโพพิลีนแวกซ์ เพื่อสมบัติการยึดเกาะที่ดีขึ้นระหว่างเส้นใยอ้อยกับพอลิเมอร์พลาสติก พบว่าวัสดุพอลิเมอร์คอมโพสิตที่มีเส้นใยอ้อยปริมาณร้อยละ 10 ของน้ำหนักพลาสติก ทั้งที่ปรับและไม่ปรับสภาพผิวนั้นมีแนวโน้นของสมบัติเชิงกลและสมบัติทางความร้อนได้ดีกว่าพอลิเมอร์ที่ไม่มีการผสมเส้นใย

จิรพรรณ หน่ายคอน และมาริสา ตันติลักขณา (2541) ศึกษาสมบัติพอลิเมอร์โดยนำเส้นใยจากชานอ้อยมาเป็นตัวเติมในวัสดุพอลิเมอร์ผสมระหว่างโพลีโพพิลีน และโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ได้จากขวดน้ำเหลือใช้ เส้นใยจากชานอ้อยได้ถูกปรับสภาพผิวด้วยการฉายรังสีแกมมาจากโคบอลต์ 60 และใช้มัลติฟังก์ชันมอนอเมอร์ช่วยในการต่อกิ่ง พบว่าวัสดุพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ผสมกับเส้นใยอ้อยสมบัติด้านความต้านทานแรงดึงแรงกระแทกและการขัดถูได้ดี

อัจฉรา แสงทนต์ (2548) ศึกษาผลของสารประสานคู่ควบชนิดไวนิลไตรเอทอกซีไซเลนที่มีต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงจากขวดน้ำดื่มที่ใช้แล้วผสมกับเส้นใยชานอ้อยที่เป็นวัสดุเสริมใช้แรง เส้นใยชานอ้อยที่ใช้มีขนาดอยู่ในช่วง 14–18 เมช ปริมาณร้อยละ 15 ของน้ำหนักพอลิเทิลีน การจัดเรียงตัวของเส้นใยชานอ้อยในพอลิเอทิลีนเป็นแบบสุ่ม ปริมาณสารคู่ควบที่ใช้คือ ร้อยละ 10, ร้อยละ 20, ร้อยละ 30 และร้อยละ 40 ของน้ำหนักเส้นใยชานอ้อย การขึ้นรูปชิ้นงานที่ใช้วิธีกดอัดด้วยเครื่องกดอัดภายใต้ความดัน 750 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้กดอัด 10 นาที สมบัติเชิงกลที่หาค่ามีความทนแรงดึง ร้อยละยืดตัวที่จุดขาด มอดุลัสของยังความทนแรงกระแทก ความเค้นโค้งงอ และความแข็งร็อกเวลล์ จากการทดลองพบว่า เมื่อใช้สารประสานคู่ควบร้อยละ 20 ของน้ำหนักของชานอ้อยจะได้สมบัติเชิงกลที่เหมาะที่สุด

บุษรา สร้อยระย้า (2551) จากการศึกษาเรื่องเส้นใยพบว่า เส้นใยที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไปมีมากมายหลายชนิด ที่ได้มาจากพืชโดยได้มาจากส่วนต่างๆ ของพืชโดยได้เส้นใยจากส่วนที่เป็นเมล็ด ใบ และลำต้น อาทิเช่น ใยฝ้าย ใยลินินและใยสับปะรด เป็นต้น ดังนั้นต้นกล้วยน่าที่จะเป็นพืชชนิดหนึ่งที่สามารถ นำมาแยกเส้นใยได้เช่นเดียวกัน

สุปราณี แสงทอง (2549) จากการศึกษาการศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุประกอบเสริมแรงด้วยเส้นใยที่ปรับปรุงผิว และเส้นใย ไม่ปรับปรุงผิว ที่ใช้พอลิเอสเตอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวเป็นสารพื้น โดยมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณ และความยาวของเส้นใย พบว่าสมบัติเชิงกล ได้แก่ ความทนแรงดึง ความทนแรงดัด ความต้านทานแรงกระแทกและความแข็งจะมีค่าดีขึ้น เมื่อใช้เส้นใยที่มีปริมาณและความยาวเพิ่มขึ้น โดยสภาวะ ที่ดีที่สุดสำหรับการเสริมแรงคือใช้เส้นใยที่มีความยาว 30 มิลลิเมตร ปริมาณ 30ร้อยละ โดยปริมาตร แต่เมื่อใช้เส้นใยเกินค่าดังกล่าว พบว่าสมบัติเชิงกลลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าวัสดุ ประกอบที่เสริมแรงด้วยเส้นใยที่ปรับปรุงผิวมีสมบัติเชิงกลสูงกว่าการเสริมแรงโดยใช้เส้นใยที่ไม่ปรับปรุงผิว โดยการใช้เส้นใยที่ปรับปรุงผิวด้วย PMMA ปริมาณมากขึ้น จะส่งผลให้สมบัติเชิงกลมีค่าสูงขึ้น

Park และ Balatinecz (2541)ศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุพอลิเมอร์คอมโพสิตจากโพลีโพพิลีนกับเส้นใยจากไม้โดยปรับปรุงสมบัติทางด้านความเหนียวเมื่อรับภาระแรงกระแทกของพอลิเมอร์ด้วยการเติมยาง EPDM (Ethylene Propylene Diene Terpolymer) พบว่า อัตราส่วนของนความแข็งแรงของวัสดุพอลิเมอร์คอมโพสิตเพิ่มขึ้นเมื่อเติม EPDM แต่ในทางตรงกันข้ามคอมโพสิตจะมีความแข็งแรงลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณของเส้นใย

P. Wambua, J. Ivens และ I. Verpoest (2546) ทำการศึกษาโดยได้นำเอาเส้นใยธรรมชาติ คือ ป่านศรนารายณ์ (sisal) ปอแก้ว (kenaf) ป่าน(hemp) ปอกระเจา (jute) และกาบมะพร้าว (coir) มาเสริมแรงในพอลิพอพิลีนและขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดขึ้นรูปร้อน (Compression molding) พบว่าสมบัติความต้านแรงกระแทกของป่านมีค่ามากที่สุด และปอแก้วให้ค่ามอดุลัสความต้านแรงดึง แรงกระแทกและแรงดึงสูงสุดมากที่สุดและเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของเส้นใย นอกจากนี้เส้นใยกาบมะพร้าวให้ค่าสมบัติต่างๆ น้อยที่สุด ยกเว้นค่าความต้านแรงกระแทกจะมากกว่าเส้นใยปอกระเจาและปอแก้วในวัสดุเชิงประกอบดังกล่าว

จากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า มีการนำเส้นใยธรรมชาติหลายชนิดมาเป็นเส้นใยเสริมแรงให้กับพอลิเมอร์ ซึ่งการใช้เส้นใยธรรมชาติเสริมแรงให้กับพอลิเมอร์ ทำให้สมบัติเชิงกลต่อน้ำหนักของวัสดุคอมโพสิตดีขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ที่ไม่มีการเสริมเส้นใย และการเติมสารคู่ควบลงในพอลิเมอร์ ทำให้สมบัติเชิงกลดีขึ้น จุฑามาส และมณีรัตน์ (2552) จากการศึกษาพบว่า เส้นใยจากซานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 และเส้นใยจากกาบกล้วยน้ำว้าที่ปริมาณเส้นใยร้อยละ 1 ของน้ำหนักเส้นใย มีสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาสมบัติเชิงกลของเส้นใยดังกล่าวเมื่อเติมสารคู่ควบในกลุ่มไซเลนซึ่งมีสมบัติในการช่วยปรับปรุงผิวสัมผัส และสร้างพันธะ ระหว่างพื้นผิวของวัสดุทั้งสองชนิดเข้าด้วยกัน

## 2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.2.1 พอลิเมอร์ (Polymer)

พอลิเมอร์มาจากคำกรีก 2 คำ คือ POLY แปลว่าหลายๆหรือมาก และ MER แปลว่า หน่วยหรือส่วน ดังนั้นพอลิเมอร์จึงเป็นสารที่มีโมเลกุลยาวมาก มีน้ำหนักโมเลกุลสูงมาก และโมเลกุลเหล่านี้ประกอบด้วยหน่วยซ้ำๆกันเป็นจำนวนมาก

พอลิเมอร์เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงมาก (Hight Molecular Weight) เกิดขึ้นในธรรมชาติ หรือสังเคราะห์ขึ้นมา ประกอบด้วยหน่วยเคมีเล็กๆ เหมือนกันเรียกว่า โมโนเมอร์ (Monomer) มาต่อกันด้วยพันธะเคมี (Chemical Bond)

โมโนเมอร์ คือ สารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ พอลิเมอร์แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

2.2.1.1 พอลิเมอร์ในธรรมชาติ (Natural Polymers) คือ ไม้ ฝ้าย เส้นใยธรรมชาติ ยางหนัง ขนสัตว์ ฯลฯ

2.2.1.2 พอลิเมอร์สังเคราะห์ (Synthetic Polymers) พอลิเมอร์สังเคราะห์หรือพลาสติกเป็นส่วนหนึ่งของเคมีอินทรีย์ที่เกิดจากการรวมตัว (Union) ของโมเลกุลง่ายๆหรือโมเลกุลอิสระ โดยผ่านขบวนการสังเคราะห์ทางเคมีที่เรียกว่า พอลิเมอร์ไรเซชั่น (Polymerization)

### 2.2.2 พลาสติกชีวภาพ

พลาสติกชีวภาพ (Bioplastic) หรือพลาสติกชีวภาพย่อยสลายได้ (Biodegradable plastic) หมายถึงพลาสติกที่ผลิตขึ้นจากวัสดุธรรมชาติส่วนใหญ่เป็นพืช สามารถย่อยสลายได้ในธรรมชาติ (biodegradable) ช่วยลดปัญหามลพิษในสิ่งแวดล้อม

พลาสติกชีวภาพ คือพอลิเมอร์ที่สลายตัวได้โดยเอนไซม์จากจุลินทรีย์ในการาตัดสายโซ่แล้วได้ผลผลิตเป็นสารโมเลกุลเล็กที่มีตามธรรมชาติ เช่น น้ำ แอลกอฮอล์ คาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น ซึ่งพลาสติกชีวภาพที่
ใช้กันอยู่ในปัจจุบันคือพอลิเมอร์ 4 ตระกูลใหญ่ ได้แก่ Polybutylene Succinate PBS), Polycapolactone (PCL), Polyhydroxyalkanoatesa (PHA), Polylactic Acid (PLA) ซึ่งปัจจุบัน PLA นิยมใช้มากที่สุด

### 2.2.3 Polylactic Acid; PLA

Polylactic Acid หรือ Polylactide วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต Polylactic Acid (PLA) คือแป้งที่มาจากทรัพยากรธรรมชาติที่เกิดขึ้นใหม่ได้ (renewable resource) ซึ่งได้แก่พืชที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น ข้าวโพด และมันสำปะหลัง โดยมีกระบวนการผลิตเริ่มต้นจากการบดหรือโม่พืชนั้นให้ละเอียดเป็นแป้ง จากนั้นทำการย่อยแป้งให้ได้เป็นน้ำตาล และนำไปหมัก (fermentation) ด้วยจุลินทรีย์เกิดเป็น Lactic Acid ซึ่งมีกรรมวิธีคล้ายกับการหมักเบียร์ จากนั้นนำ Lactic Acid ที่ได้มาผ่านกระบวนการทางเคมี เพื่อเปลี่ยนโครงสร้างให้เป็นสารใหม่ที่มีโครงสร้างทางเคมีเป็นวงแหวน เรียกว่า Lactide หลังจากนั้นนำมากลั่นในระบบสุญญากาศเพื่อเปลี่ยนโครงสร้างได้เป็นโพลิเมอร์ของ Lactide ที่เป็นสายยาวขึ้นเรียกว่า Polylactic Acid (PLA) ซึ่งการกำหนดความยาวของสายโพลิเมอร์ให้ได้ตามที่ต้องการจะเป็นสิ่งที่ทำให้ สมบัติของ PLA เปลี่ยนไปตามลักษณะการใช้งาน ทั้งนี้ PLA

สามารถนำไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกได้เช่นเดียวกับเม็ด พลาสติกจากปิโตรเลียม อีกทั้ง PLA ยังมีสมบัติพิเศษคือมีความใส ไม่ย่อยสลายในสภาพแวดล้อมทั่วไป แต่สามารถย่อยสลายได้เองเมื่อนำไปฝังกลบในดิน

2.2.4 คอมโพสิต

คอมโพสิต เป็นวัสดุที่ประกอบด้วยการรวมวัสดุมากกว่า 2 ประเภทเข้าด้วยกัน โดยทั่วไปคอมโพสิตจะมีวัสดุที่เป็นเนื้อหลัก (matrix) ซึ่งจะเป็นสารพวกพอลิเมอร์ และวัสดุเสริมแรง (reinforcement materials) ที่กระจายตัวอยู่ในเนื้อหลักนั้น วัสดุที่เป็นเนื้อหลักจะรองรับวัสดุเสริมแรงให้อยู่ในรูปร่างที่กำหนด ขณะที่วัสดุเสริมแรงจะช่วยเพิ่มหรือปรับปรุงสมบัติเชิงกลของวัสดุเนื้อหลัก ให้สูงขึ้น ซึ่งวัสดุเสริมแรงอาจมีลักษณะเป็นเส้น ก้อน อนุภาค หรือเกล็ดก็ได้ แทรกอยู่ในวัสดุเนื้อหลัก (base materials) อย่างโลหะ เซรามิกส์ หรือโพลิเมอร์ ผลของการรวมวัสดุต่างกัน 2 ประเภทเข้าด้วยกันทำให้คอมโพสิตมีความแข็งแรงโดยรวมมากกว่าเมื่อเทียบกับความแข็งแรงของวัสดุแต่ละประเภทโดยลำพัง ปัจจุบันวัสดุคอมโพสิตแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

2.2.4.1 โพลิเมอร์คอมโพสิต (polymer matrix composites - $PMC_s$) ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ของคอมโพสิตกลุ่มนี้คือ ผลิตภัณฑ์ที่ทำจาก "ไฟเบอร์กลาส" ต่าง ๆ โพลิเมอร์คอมโพสิตมีโพลิเมอร์ซึ่งอาจจะเป็นพลาสติกหรือยางเป็นเนื้อหลัก และใช้วัสดุเสริมแรงได้หลายชนิด เช่น เส้นใยแก้ว เส้นใยคาร์บอน เส้นลวดโลหะ เป็นต้น

2.2.4.2 เซรามิกคอมโพสิต (ceramic matrix composites - $CMC_s$) คอมโพสิตกลุ่มนี้ได้แก่คอนกรีตและคอนกรีตเสริมเหล็ก (ปูน กรวด ทราย เหล็กเส้น) เป็นตัวแทนที่พบเห็นได้ทั่วไปของวัสดุกลุ่มนี้ ขณะที่วัสดุเซรามิกคอมโพสิตรุดหน้า(advanced composite) มีเนื้อหลักเป็นเซรามิกและใช้วัสดุเสริมแรงเป็นเส้นใย คอมโพสิตกลุ่มนี้มักนำมาใช้งานในสภาวะแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูง เช่น กังหันใบพัดของเครื่องยนต์ไอพ่น เป็นต้น

2.2.4.3 เมทัลคอมโพสิต (metal matrix composites - $MMC_s$) คอมโพสิตกลุ่มนี้พบมากในผลิตภัณฑ์กลุ่ม อุตสาหกรรมยานยนต์ เมทัลคอมโพสิตมีโลหะเป็นเนื้อหลัก เช่น อะลูมิเนียม เป็นต้น สำหรับวัสดุเสริมแรงของคอมโพสิตกลุ่มนี้เป็นวัสดุเซรามิกส์ เช่น กลุ่มคาร์ไบด์ กลุ่มไนไตรด์ เป็นต้น

ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของวัสดุคอมโพสิต

ก. สมบัติของเส้นใยเสริมแรง

ข. สมบัติของโพลิเมอร์ (เรซิน)

ค. สัดส่วนของเส้นใยเสริมแรง (Fibre Volume Fraction – FVF) เนื่องจากวัสดุที่เป็นเส้นใยเสริมแรงมักมีสมบัติเชิงกลสูงกว่าโพลิเมอร์ ดังนั้นหากคอมโพสิตมีเส้นใยเสริมแรงมากขึ้นจะทำให้วัสดุมีสมบัติเชิงกลสูงขึ้น แต่การผสมเส้นใยเสริมแรงกับโพลิเมอร์ก็มีขีดจำกัดเนื่องจากเส้นใยเสริมแรง ควรมีเนื้อโพลิเมอร์ห่อหุ้มอยู่โดยรอบ

ง. การจัดเรียงตัว (Orientation) ของเส้นใยในคอมโพสิต เนื่องจากเส้นใยเสริมแรงให้ค่าสมบัติเชิงกลตามแนวยาวสูงกว่าแนวขวาง ดังนั้นหากเส้นใยในคอมโพสิตมีการจัดเรียงตัวไปในทิศทางเดียวกันแล้ว สมบัติเชิงกลของคอมโพสิตที่แสดงออกมาจะมีค่าแตกต่างกันตามแนวแรงที่กระทำ ดังนั้นสิ่งสำคัญอย่างหนึ่งที่ต้องพิจารณาตั้งแต่การออกแบบคือ ขนาดและลักษณะแรงที่กระทำต่อชิ้นงาน

2.2.5 ตัวเสริมแรง

ตัวเสริมแรงเป็นส่วนที่ช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับวัสดุ มีรูปร่างได้หลายแบบ อาจเป็นแผ่น เส้นใย หรืออนุภาคก็ได้ ซึ่งส่วนใหญ่จะนิยมใช้ตัวเสริมแรงที่มีลักษณะเป็นเส้นใย ตัวอย่าง เส้นใยที่ใช้เสริมแรงในพอลิเมอร์คอมโพสิต ได้แก่ เส้นใยแก้ว (Glass fibre) เส้นใยคาร์บอน (Carbon fiber) และเส้นใยธรรมชาติ

หน้าที่ของตัวเสริมแรงในพอลิเมอร์คอมโพสิต ได้แก่

2.2.5.1 เพิ่มความแข็งแรงให้กับวัสดุผสม

2.2.5.2 สามารถรับแรงกระแทกจากภายนอกที่กระทำต่อวัสดุผสมได้ ช่วยไม่ให้เกิดการเสียหายสภาพหรือการผิดรูปภายใต้แรงกระทำนั้นๆ โดยแรงกระทำนั้นจะถูกถ่ายทอดไปตามเส้นใยโดยที่ลักษณะของเส้นใยที่เป็นตัวเสริมแรงที่ดี จะต้องมีลักษณะดังนี้

ก. เส้นผ่าศูนย์กลางมีขนาดเล็ก

ข. อัตราส่วนความยาวต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมีค่าสูง

ค. มีความโค้งงอและความแข็งแรงสูง

ง. มีค่ามอดูลัสของยังและค่าความแข็งแรงสูง

จ. ความแข็งแรงของเส้นใยแต่ละเส้นไม่ควรแตกต่างกันมาก

2.2.6 คอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยธรรมชาติ

ในอดีตเส้นใยที่ใช้ในการเสริมแรงพอลิเมอร์คอมโพสิตจะนิยมใช้เส้นใยสังเคราะห์เป็นตัวเสริมแรง ได้แก่ เส้นใยแก้ว เส้นใยคาร์บอน และเส้นใยอะรามิด ซึ่งเส้นใยแก้วได้รับความนิยมมากที่สุด เนื่องจากมีราคาถูกเมื่อเทียบกับเส้นใยสังเคราะห์ด้วยกัน แต่เป้าหมายในการพัฒนาวัสดุคอมโพสิตในปัจจุบัน นอกจากจะมุ่งไปในเรื่องการปรับปรุงสมบัติต่างๆ ของวัสดุให้ดีขึ้นแล้ว ยังต้องคำนึงถึงเรื่องของราคาและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมควบคู่กันไปด้วย ด้วยเหตุนี้เองจึงได้มีความสนใจที่จะนำเส้นใยธรรมชาติหลายชนิดมาใช้ประโยชน์ โดยใช้เส้นใยเสริมแรงในพอลิเมอร์คอมโพสิตทดแทนเส้นใยสังเคราะห์ เส้นใยธรรมชาติที่ถูกนำมาใช้เป็นเส้นใยเสริมแรงอยู่หลายชนิด แต่ส่วนใหญ่มักนิยมใช้เส้นใยจากพืช เช่น ปอเจาะ ป่านศรนารายณ์ ป่านลินิน ป่านรามี ใบสับปะรด ไผ่ ชานอ้อย และกาบกล้วย เป็นต้น

การที่เส้นใยธรรมชาติสามารถนำมาใช้เป็นเส้นใยพอลิเมอร์เสริมแรงได้ เนื่องจากเส้นใยเหล่านี้มีสมบัติเด่นหลายด้าน ดังนี้

2.2.6.1 ราคาถูกกว่าเส้นใยสังเคราะห์ชนิดต่างๆ เช่น เส้นใยแก้ว เส้นคาร์บอนและเส้นใยอะรามิดเนื่องจากเส้นใยธรรมชาติบางชนิดอาจได้มาจากขยะหรือของเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมหรือเกษตรกรรม

2.2.6.2 หาง่าย มีมากในธรรมชาติ

2.2.6.3 การสึกร่อนที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตน้อย ทำให้อุปกรณ์ในการผลิตมีอายุการใช้งานยาวขึ้น

2.2.6.4 ความหนาแน่นต่ำ น้ำหนักเบา เป็นผลให้วัสดุมีสมบัติจำเพาะ (สมบัติต่อน้ำหนักของวัสดุ) เช่น ความแข็งแรงจำเพาะและมอดูลัสจำเพาะ

2.2.6.5 ย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ ทำให้ไม่เป็นปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม

2.2.6.6 ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้ผลิต อย่างเช่น ใยแก้ว

ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบวัสดุคอมโพสิตที่ใช้เส้นใยธรรมชาติเป็นตัวเสริมแรงกับวัสดุคอมโพสิตที่ใช้กันอยู่ทั่วไป เช่น พวกที่เสริมแรงด้วยเส้นใยแก้ว พบว่าคอมโพสิตจากเส้นใยธรรมชาติมีน้ำหนักเบากว่าและมีความแข็งแรงจำเพาะดี แต่อย่างไรก็ตาม การใช้เส้นใยธรรมชาติเป็นตัวเสริมแรงในพอลิเมอร์คอมโพสิตก็ยังมีข้อจำกัดที่ต้องปรับปรุงคือ เส้นใยธรรมชาติดูดซึมความชื้นได้ดี ทั้งนี้เพราะเส้นใยธรรมชาติชนิดที่มีโครงสร้างเป็นเซลลูโลส มีหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group; -OH) เป็นองค์ประกอบ จึงทำให้เส้นใยมีปริมาณความชื้นอยู่สูง ซึ่งส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมที่ได้ เนื่องจากในระหว่างการขึ้นรูปเสียหายและชิ้นงานที่ได้มีสมบัติเข้ากันได้ดีกับน้ำ (Hydrophilic) แต่ขณะที่พอลิเมอร์ส่วนใหญ่จะมีสมบัติเข้ากับน้ำได้ไม่ดี (hydrophobic) สมบัติที่แตกต่างกันนี้เองทำให้การยึดเกาะระหว่างผิวของเส้นใยธรรมชาติกับพอลิเมอร์ไม่ดี เมื่อความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างตัวเสริมแรงกับเมทริกซ์ต่ำ ทำให้พันธะไฮโดรเจนที่เกิดระหว่างเส้นใยเหมือนกัน ความแข็งแรงกว่าเส้นใยจึงเกาะกลุ่มกันไม่กระจายตัวในเมทริกซ์

นอกจากนี้การใช้เส้นใยธรรมชาติมาเป็นส่วนเสริมแรง ยังมีข้อจำกัดอีกบางประการคือ เส้นใยธรรมชาติส่วนใหญ่จะมีเสถียรภาพทางความร้อนต่ำทำให้สมบัติต่างๆของเส้นใยธรรมชาติเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งจะส่งผลละผลกระทบต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมที่ได้ด้วย

### 2.2.7 การดัดแปลงเส้นใย

ปัญหาการเข้ากันไม่ดีของเซลลูโลสกับเมทริกซ์ การยึดเกาะระหว่างผิวของเส้นใยเซลลูโลสกับพอลิเมอร์เกิดได้ไม่ดี การถ่ายทอดความเค้นและกระจายแรงกระทำที่ได้รับจากภายนอกระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์จึงทำได้ไม่ดีด้วย ซึ่งจะส่งผลกระทบโดยตรงต่อสมบัติเชิงกลของคอมโพสิต การกำจัดปัญหาดังกล่าวของเส้นใยเซลลูโลสสามารถทำได้โดยทำการดัดแปรสมบัติของเส้นใย เพื่อเพิ่มสมบัติความต้านทานการดูดซึมน้ำและเพิ่มการยึดเกาะระหว่างผิวของเส้นใยกับพอลิเมอร์ การดัดแปรสมบัติของเส้นใยสามารถทำได้ทั้งกายภาพ (physical method) และทางเคมี (chemical method)

2.2.7.1 การดัดแปรสมบัติทางกายภาพของเส้นใย จะเป็นการเปลี่ยนเฉพาะโครงสร้างและสมบัติทางพื้นผิวของเส้นใยเท่านั้น ไม่ได้ทำการเปลี่ยนองค์ประกอบของเคมีของเส้นใย เช่น วิธีทางไฟฟ้า (electrical discharge method และ corona treatment)

2.2.7.2 การดัดแปรสมบัติทางเคมีของเส้นใย จะเป็นการเปลี่ยนองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย โดยนำสารเคมีบางอย่างมาทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิล (-OH group) ของเส้นใย ทำให้เกิดการต่อกิ่งของหมู่ฟังก์ชั่น หรือเกิดการยึดเกาะที่ผิวนอก เช่น ทำปฏิกิริยากับสารประสานคู่ควบ (coupling agent treatments)

### 2.2.8 สารคู่ควบ (Coupling agent)

สารคู่ควบ จะทำให้ความแข็งแรงระหว่างพันธะของเส้นใยและเมทริกซ์ดีขึ้น โดยการเชื่อมประสานของผิวสัมผัสระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์และลดจำนวนรูพรุนในวัสดุ

2.2.8.1 ประโยชน์ของสารคู่ควบ

ก. ช่วยพัฒนาความแข็งแรงทางกายภาพและทางเคมีระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์

ข. ป้องกันผิวสัมผัสจากความชื้น

ค. ป้องกันการเสียดสีและรอยแตกระหว่างกระบวนการผสมและผลิตวัสดุผสม สารคู่ควบ

2.2.8.2 สารคู่ควบประเภทไซเลน

สารคู่ควบที่นิยมใช้มากที่สุดคือ ไซเลน (Silane) โครงสร้างของไซเลนประกอบด้วยอะตอมซิลิกอน (Si atom) หมูอัลคีลอีเทอร์ 3 หมู่ที่ต่อกับกลุ่มของอะตอมซิลิกอนและหมู่เคมี (Chemical group) จะต่อกับกลุ่มของอะตอมซิลิกอนและทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์ หรือพอลิเมอร์ที่สัมผัสกับหมู่ทางเคมี

สารคู่ควบไซเลน (silane coupling agents) เป็นสารคู่ควบที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบันเนื่องจากไซเลนนำไปใช้งานได้หลากหลาย เช่น ในพลาสติกเสริมแรง งานเคลือบผิว งานทาสี น้ำหมึก กาวสารยึดติด และยาง และมีความว่องไวในการเข้าทำปฏิกิริยาได้ดี

ตารางที่ 2.1 สารคู่ควบประเภทไซเลนที่ใช้ในเชิงพาณิชย์

| Functional group | Chemical structure | Name |
|---|---|---|
| Vinyl | $CH_2=CHSi(OCH_3)_3$ | Vinyltrimethoxysilane |
| Chloropropyl | $ClCH_2CH_2CH_2Si(OCH_3)_3$ | chloropropyltrimethoxysilane |
| epoxy | | 3-glycidoxypropyltrimethoxy silane |
| methacrylate | | 3-methacryloxypropyltrimethoxy silane |
| primary amine | $H_2NCH_2CH_2CH_2Si(OC_2H_5)_3$ | 3-aminopropyltriethoxy silane |
| diamine | $H_2NCH_2CH_2NHCH_2CH_2CH_2Si(OCH_3)_3$ | N-2-aminoethyl-3-aminopropyltrimethoxysilane |
| mercapto | $HSCH_2CH_2CH_2Si(OCH_3)_3$ | 3-mercaptopropyltrimethoxy silane |
| cationic styryl | $CH_2=CHC_6H_4CH_2NHCH_2CH_2NH(CH_2)_3Si(OCH_3)_3.HCl$ | 3-(N-styrylmethyl-2-amino-ethylamino)propyltrimethoxy silanehydrochloride |
| cycloaliphatic epoxide | | β-(3,4-epoxycyclohexyl) ethyltrimethoxysilane |

ที่มา: ปรีชา (2533)

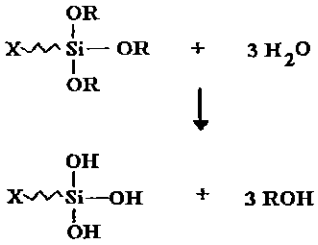
2.2.8.3 กลไกการสร้างพันธะยึดเกาะของไซเลน

ไซเลนจะสร้างพันธะยึดจับระหว่างพื้นผิวของพวกสารอนินทรีย์ เช่น เส้นใยแก้วและโลหะ เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถสร้างพันธะยึดจับระหว่างพื้นผิวของพวกสารอินทรีย์ เช่น

เส้นใยธรรมชาติได้กับวัสดุพวกที่เป็นสารอินทรีย์ เช่น พอลิเมอร์ต่างๆ สารเคลือบผิว และสารยึดติด นับเป็นการช่วยยึดจับกันระหว่างวัสดุสองชนิดที่มีความต่างกันเข้าด้วยกัน

กลไกการสร้างพันธะของไซเลนสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

ก. ปฏิกิริยาไฮโดรไลสิส (hydrolysis)

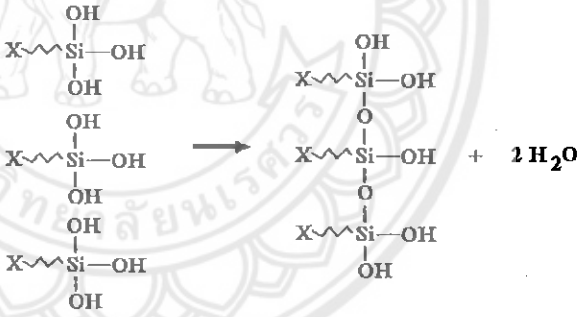


รูปที่ 2.1 ปฏิกิริยาไฮโดรไลสิสของไซเลน

ที่มา: ปรีชา (2533)

จากรูปที่ 2.1 X คือ หมู่ฟังก์ชันที่เป็นพวกสารอินทรีย์และ OR คือ หมู่ฟังก์ชันที่สามารถทำปฏิกิริยากับน้ำได้ พบว่า ไซเลนถูกทำปฏิกิริยาไฮโดรไลสิสกับน้ำ ทำให้หมู่อัลคอกไซด์ (alkoxide) หรือหมู่ OR บนไซเลนถูกเปลี่ยนเป็นหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) เรียกว่า ไซลานอล (silanol) เพื่อให้เกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างไซเลนกับเส้นใยธรรมชาติได้

ข. ปฏิกิริยาควบแน่น (condensation)



รูปที่ 2.2 ปฏิกิริยาควบแน่นของไซลานอล

ที่มา: ปรีชา (2533)

ปฏิกิริยาควบแน่น แสดงดังรูปที่ 2.2 โดยเริ่มเกิดจากขั้นตอนแรกไซลานอลหลายๆโมเลกุลจะเข้าทำปฏิกิริยาควบแน่น (condensation) กันเอง ทำให้ได้สายโซ่โมเลกุลที่ยาวขึ้นเป็นพอลิไซลานอล (polysilanol) และจะเข้าทำปฏิกิริยากับเส้นใยธรรมชาติในขั้นตอนต่อไป

ค. ขั้นตอนการปรับปรุงผิวเส้นใยธรรมชาติ (surface modification)

ขั้นตอนการปรับปรุงผิวเส้นใยธรรมชาติ เป็นการนำพอลิไซลานอลที่ได้มาทำปฏิกิริยาทางเคมีกับเส้นใยธรรมชาติ โดยด้านที่มีหมู่ไฮดรอกซิลจะสร้างพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลเซลลูโลสในเส้นใยธรรมชาติ และเมื่อได้รับความร้อนโมเลกุลดังกล่าวจะปลดปล่อยน้ำออกมาและเกิดการสร้างพันธะโควาเลนซ์ระหว่างเส้นใยธรรมชาติกับพอลิไซลานอลด้วยหมู่อีเทอร์ (etherlingkage) และปลายสายโซ่โมเลกุลอีกข้างหนึ่งของไซเลน (X) จะจับกับพอลิเมอร์

# บทที่ 3
# วิธีการดำเนินโครงงาน

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพลาสติกชีวภาพ เส้นใยจากกาบกล้วยน้ำว้าและชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 ใช้สารคู่ควบที่ปริมาณต่างๆเพื่อเป็นตัวประสานในการยึดจับระหว่างผิวของวัสดุทั้งสอง เปรียบเทียบสมบัติพอลิเมอร์คอมโพสิตก่อนและหลังการบ่มด้วยความร้อน

## 3.1 การเตรียมเส้นใยจากพืช

### 3.1.1 วัสดุและสารเคมี

3.1.1.1 กาบกล้วยน้ำว้า ชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50

3.1.1.2 น้ำสะอาด

3.1.1.3 ไวนิลไตรเอททอกซีไซเลน (Vinyltriethoxy silane)

3.1.1.4 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH)

3.1.1.5 เมทานอล

3.1.1.6 กรดแอซิติก (Acetic acid)

### 3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.1.2.1 ถังมีฝาปิด

3.1.2.2 ถุงมือ

3.1.2.3 กรรไกร

3.1.2.4 เตาอบไฟฟ้า

### 3.1.3 การเตรียมเส้นใย

3.1.3.1 แช่กาบกล้วยน้ำว้า ชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 ด้วยน้ำสะอาดในถังที่มีฝาปิด รอให้กาบกล้วยน้ำว้าและชานพันธุ์สุพรรณ 50 จนสามารถแยกเส้นใยออกมาได้

3.1.3.2 แยกเส้นใยออกจากกาบกล้วยน้ำว้า ชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 โดยการสางด้วยมือเพื่อคัดแยกเส้นใยที่เหนียวและมีความยาวตามที่ต้องการคือ 20 เซนติเมตร สำหรับเส้นใยกล้วยน้ำว้าและ 5 เซนติเมตร สำหรับเส้นใยจากชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50

3.1.3.3 นำเส้นใยไปตากแห้ง อบด้วยอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

3.1.3.4 นำเส้นใยจากกาบกล้วยน้ำว้า ชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 จำนวนอย่างละ 100 กรัม แช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 2 w/v เป็นเวลา 30 นาทีที่อุณหภูมิห้อง แล้วล้างเส้นใยทั้งสองชนิดด้วยน้ำสะอาด อบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงและนำไปใส่ในตู้ดูดความชื้นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.1.3.5 เตรียมไวนิลไตรเอททอกซีไซเลนร้อยละ 5, ร้อยละ 10, ร้อยละ 20 ของน้ำหนักเส้นใย ในสารละลายเมทานอลต่อน้ำ ในอัตราส่วน 90 ต่อ 10 จากนั้นปรับ PH ด้วย แอซิติก

ให้ได้ PH 3.5 แล้วใส่เส้นใยกาบกล้วยน้ำว้าและชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 ในข้อ 3.1.3.4 ใส่ลงในสารละลายไซเลนที่เตรียมได้ กวนสารละลายทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง

3.1.3.6 กรองเส้นใยออก แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงและนำเส้นใยที่ได้เก็บไว้ในตู้ดูดความชื้น

## 3.2 การเตรียมชิ้นงานทดสอบ

### 3.2.1 วัสดุและสารเคมี

3.2.1.1 เส้นใยจากกาบกล้วยน้ำว้าและเส้นใยจากชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 ที่ความยาว 20 เซนติเมตร และ 5 เซนติเมตร ตามลำดับ

3.2.1.2 พลาสติกชีวภาพ PLA เกรด 2002D

### 3.2.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.2.2.1 เครื่องอัดขึ้นรูปพลาสติก (Compression Molding)

3.2.2.2 แม่พิมพ์ชิ้นงานที่มีความหนา 1 มิลลิเมตร, 2 มิลลิเมตร และ 4 มิลลิเมตร

3.2.2.3 แผ่นพลาสติกใส ชนิดสำหรับถ่ายเอกสาร

3.2.2.4 เครื่องชั่ง

### 3.2.3 วิธีเตรียมชิ้นงานทดสอบ

3.2.3.1 เตรียมแม่พิมพ์ก่อนอัดขึ้นรูปชิ้นงานโดยอุ่นแม่พิมพ์ที่จะใช้ในการอัดขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบให้ร้อน

3.2.3.2 ขึ้นรูปพลาสติกชีวภาพ PLA บริสุทธิ์ ที่มีความหนา 1 มิลลิเมตร และ 2 มิลลิเมตรด้วยเครื่องเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding) ที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส

3.2.3.3 ขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบที่ทำจากพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพลาสติกชีวภาพ PLA และเส้นใยจากกาบกล้วยน้ำว้าและชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 ในอัตราส่วนร้อยละ 1 ที่ความหนา 2 มิลลิเมตร

ก. ชั่งเส้นใยที่เตรียมได้จากข้อ 3.1 ในปริมาณร้อยละ 1 ของน้ำหนักพลาสติกชีวภาพต่อชิ้นงานหนึ่งชิ้น

ข. อุ่นแม่พิมพ์ที่จะใช้ในการอัดขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบให้ร้อน

ค. นำแผ่นพลาสติกชีวภาพ PLA หนา 1 มิลลิเมตร จำนวน 2 แผ่นและเส้นใยที่เตรียมไว้มาประกบ โดยให้เส้นใยกระจายอย่างสม่ำเสมออยู่ตรงกลางระหว่างแผ่นพลาสติกชีวภาพแล้วทำการอัดขึ้นรูป

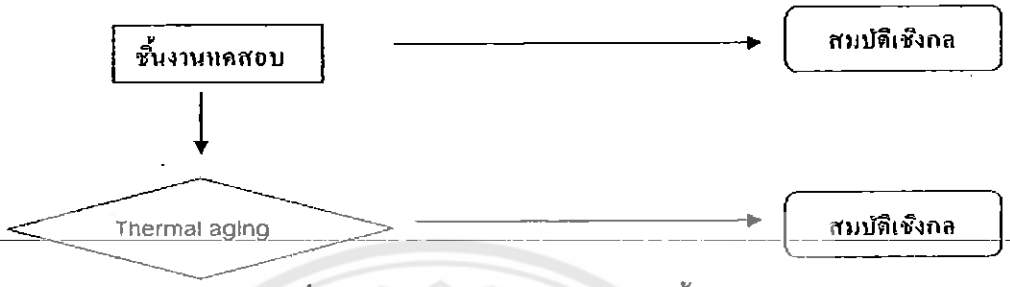
3.2.3.4 ขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบที่ทำจากพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพลาสติกชีวภาพ PLA และเส้นใยจากกาบกล้วยน้ำว้าและชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 ในอัตราส่วนร้อยละ 1 ของน้ำหนักพลาสติกชีวภาพ ที่ความหนา 4 มิลลิเมตร

ก. ชั่งเส้นใยที่เตรียมได้จากข้อ 3.1 ในปริมาณร้อยละ 1 ของน้ำหนักพลาสติกชีวภาพต่อชิ้นงานหนึ่งชิ้น

ข. อุ่นแม่พิมพ์ที่จะใช้ในการอัดขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบให้ร้อน

ค. นำแผ่นพลาสติกชีวภาพ PLA หนา 2 มิลลิเมตร จำนวน 2 แผ่นและเส้นใยที่เตรียมไว้มาประกบ โดยให้เส้นใยกระจายอย่างสม่ำเสมออยู่ตรงกลางระหว่างแผ่นพลาสติกชีวภาพแล้วทำการอัดขึ้นรูป

## 3.3 การทดสอบสมบัติเชิงกลของชิ้นงานทดสอบ




**รูปที่ 3.1** แผนภาพแสดงการทดสอบชิ้นงาน

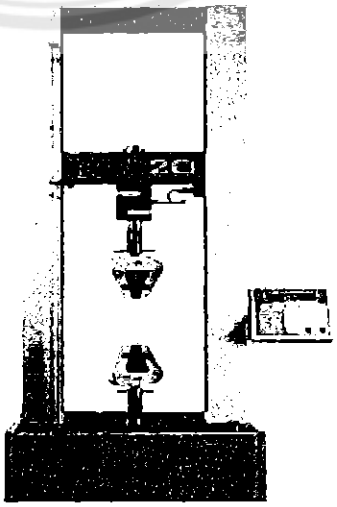
จากภาพแสดงการทดสอบชิ้นงาน คือนำชิ้นงานกลุ่มแรกไปศึกษาสมบัติเชิงกลและนำชิ้นงานกลุ่มที่สองไปบ่มด้วยความร้อน หลังผ่านการบ่มด้วยความร้อนแล้วนำชิ้นงานดังกล่าวไปศึกษาสมบัติเชิงกล ได้แก่สมบัติการรับแรงดึง สมบัติต้านทานต่อแรงกระแทกและสมบัติความแข็ง

### 3.3.1 สมบัติการรับแรงดึง

สมบัติการรับแรงดึง ทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบการดึง (Tensile Testing Machine, Lloyd Instruments Type LR 10 K PLUS ) ตามมาตรฐาน ASTM D 638 ใช้ชิ้นงานทดสอบตามขนาดมาตรฐาน ASTM D 638 type I ชนิดละ 6 ตัวอย่าง

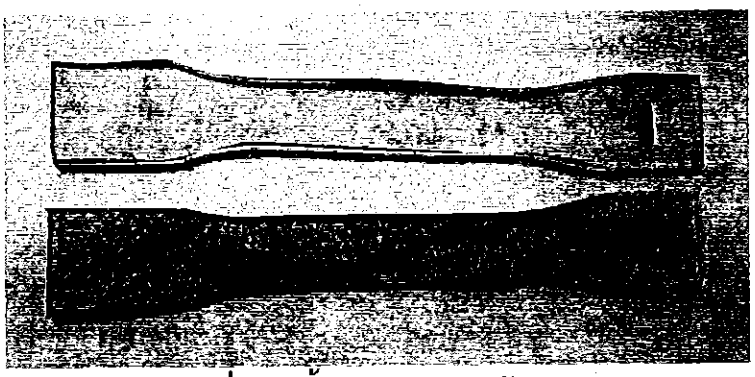
#### 3.3.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบสมบัติการรับแรงดึง

ก. เครื่องทดสอบสมบัติการรับแรงดึง (Tensile Testing Machine, Lloyd Instruments Type LR 10 K PLUS )



**รูปที่ 3.2** เครื่องทดสอบสมบัติการรับแรงดึง

ข. ชิ้นงานทดสอบรูปดัมเบล



**รูปที่ 3.3 ชิ้นงานทดสอบรูปดัมเบล**

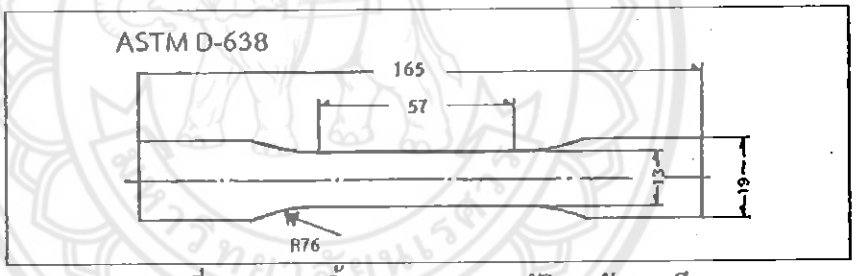
ค. สกรูที่ใช้ยึดหัวจับ Load

ง. เวอร์เนียร์

จ. แปรงทำความสะอาด

3.3.1.2 วิธีการทดสอบสมบัติการรับแรงดึง

ก. ตัดชิ้นงานหนา 2 มิลลิเมตร เป็นรูปดัมเบลโดยให้มีขนาดตามมาตรฐาน ASTM D 638 type I ดังภาพ (ขนาดเป็นมิลลิเมตร)




**รูปที่ 3.4 แบบชิ้นงานทดสอบสมบัติการรับแรงดึง**

ข. ตั้งค่าต่างภายในเครื่อง โดยใช้ค่าดังต่อไปนี้

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

ค. นำ load มาติดตั้ง โดยเลือก load ที่เราต้องการและขันหัวจับ load โดยใช้สกรูยึดหัวจับ load ให้แน่น ปรับหัวจับให้ได้ระยะที่ต้องการโดยใช้หน้าจอคำสั่งในการสั่งงาน

ง. ใส่ชิ้นงานทดสอบมาใส่ในเครื่องโดยปรับระยะให้ได้ตามความยาว แล้วใช้มือหมุนยึดให้แน่น

จ. เริ่มการทดสอบสมบัติการรับแรงดึง และบันทึกผลการทดลองในตารางบันทึกผล

**ตารางที่ 3.1** ตารางบันทึกผลการทดสอบสมบัติการรับแรงดึง

| ตารางบันทึกผลการทดสอบสมบัติการรับแรงดึง | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ชนิดของเส้นใย | ปริมาณสารคู่ควบ (%w/w) | Tensile Strength (MPa) | | | | | | เฉลี่ย (MPa) |
| | | ชิ้นที่ 1 | ชิ้นที่ 2 | ชิ้นที่ 3 | ชิ้นที่ 4 | ชิ้นที่ 5 | ชิ้นที่ 6 | |
| Pure PLA | - | | | | | | | |
| กล้วยน้ำว้า | 0% | | | | | | | |
| | 5% | | | | | | | |
| | 10% | | | | | | | |
| | 20% | | | | | | | |
| ชานอ้อย | 0% | | | | | | | |
| | 5% | | | | | | | |
| | 10% | | | | | | | |
| | 20% | | | | | | | |

**3.3.2 การทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก**

สมบัติความต้านท้านต่อแรงกระแทก (Impact Strength) ตรวจสอบโดยการใช้เครื่องมือทดสอบโดยใช้เครื่องมือทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก (Impact Tester, Model XC- 227) ตามมาตรฐาน ASTM D 256 โดยการใช้ค้อนตีขนาด 2.75 จูลล์ จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบชนิดละ 12 ตัวอย่าง

สมบัติความต้านท้านต่อแรงกระแทก (J/mm²) คำนวณจากนำค่าพลังงานที่ตัวอย่างดูดกลืนหารด้วยพื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ

**3.3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบสมบัติความต้านท้านต่อแรงกระแทก**

ก. ค้อนตีขนาด 2.75 จูลล์

ข. เครื่องทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก

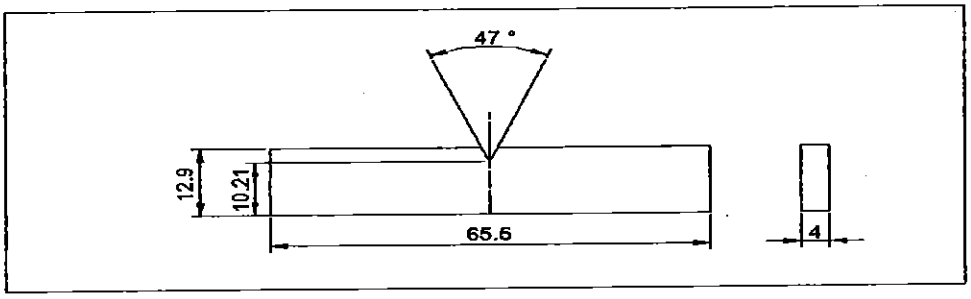
รูปที่ 3.5 เครื่องทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก

ค. ชิ้นงานทดสอบรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีรอยบาก

**รูปที่ 3.6 ชิ้นงานทดสอบรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีรอยบาก**

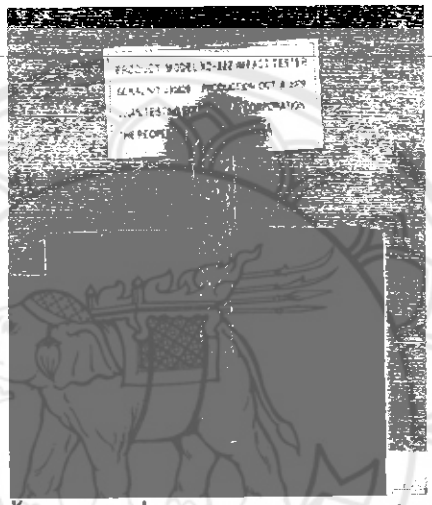
**3.3.2.2 วิธีการทดสอบค่าสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก**

ก. ตัดชิ้นงานหนา 4 มิลลิเมตร เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ให้มีขนาดตามมาตรฐาน ASTM D 256 ดังรูป (ขนาดหน่วยเป็น มิลลิเมตร)




รูปที่ 3.7 แบบชิ้นงานทดสอบรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีรอยบาก

ข. นำชิ้นงานใส่เครื่องโดยหมุนมือจับล็อตชิ้นงานไว้กับเครื่อง



รูปที่ 3.8 รูปการนำชิ้นงานใส่เครื่องทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก

ค. ใช้มือหมุนสเกลให้มาอยู่ที่ตำแหน่ง 0

รูปที่ 3.9 สเกลเครื่องทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก

ง. เริ่มการทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทกและบันทึกผลลงในตารางบันทึกผลสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก

**ตารางที่ 3.2** ตารางบันทึกผลการทดสอบสมบัติต้านทานต่อแรงกระแทก

| ตารางบันทึกผลการทดสอบสมบัติต้านทานต่อแรงกระแทก | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ชนิดของเส้นใย | ปริมาณสารคู่ควบ (%w/t) | ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทก (J/mm²) | | | | | | | | | | | | เฉลี่ย(J/mm²) |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
| Pure PLA | - | | | | | | | | | | | | | |
| กล้วยน้ำว้า | 0% | | | | | | | | | | | | | |
| | 5% | | | | | | | | | | | | | |
| | 10% | | | | | | | | | | | | | |
| | 20% | | | | | | | | | | | | | |
| ชานอ้อย | 0% | | | | | | | | | | | | | |
| | 5% | | | | | | | | | | | | | |
| | 10% | | | | | | | | | | | | | |
| | 20% | | | | | | | | | | | | | |

**3.3.3 การทดสอบสมบัติความแข็ง**

สมบัติความแข็งของชิ้นงานทดสอบ (Hardness) โดยใช้เครื่องทดสอบหาค่าความแข็งแบบ ชอร์ดี (Shore D Hardness) ตามมาตรฐาน ASTM D 2240 โดยให้แรงกดผ่านอุปกรณ์ลงไปยังชิ้นงาน 4.53 กิโลกรัม ขนาดหัวทดสอบ กว้าง 1.27+0.012 มิลลิเมตร ทำการทดสอบโดยการกดลงบนชิ้นงาน ชิ้นละ 5 จุด

**รูปที่ 3.10** เครื่องทดสอบสมบัติความแข็งแบบ Durometer

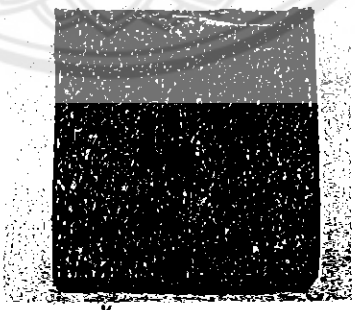
**3.3.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบสมบัติความแข็ง**

ก. เครื่องทดสอบสมบัติความแข็งแบบชอร์ ดูโรมิเตอร์

ข. ชิ้นงานทดสอบรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส

**3.3.3.2 วิธีทดสอบสมบัติความแข็ง**

ก. ตัดชิ้นงานหนา 4 มิลลิเมตร เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสให้มีขนาดตามมาตรฐาน ASTM D 2240



**รูปที่ 3.11** รูปชิ้นงานทดสอบสมบัติความแข็ง

ข. นำชิ้นงานทดสอบสมบัติความแข็งแบบชอร์ดูโรมิเตอร์ โดยอ่านค่าภายใน 15 วินาที

ค. บันทึกผลการทดลองลงในตารางบันทึกผลสมบัติความแข็งแรง

**ตารางที่ 3.3** ตารางบันทึกผลการทดสอบความแข็ง

| ตารางบันทึกผลการทดสอบความแข็ง | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ชนิดของเส้นใย | ปริมาณสารคู่ควบ (%w/w) | Hardness (Shore) | | | | | เฉลี่ย (Shore) |
| | | จุดที่ 1 | จุดที่ 2 | จุดที่ 3 | จุดที่ 4 | จุดที่ 5 | |
| Pure PLA | - | | | | | | |
| กล้วยน้ำว้า | 0% | | | | | | |
| | 5% | | | | | | |
| | 10% | | | | | | |
| | 20% | | | | | | |
| ชานอ้อย | 0% | | | | | | |
| | 5% | | | | | | |
| | 10% | | | | | | |
| | 20% | | | | | | |

3.3.4 การบ่มด้วยความร้อน

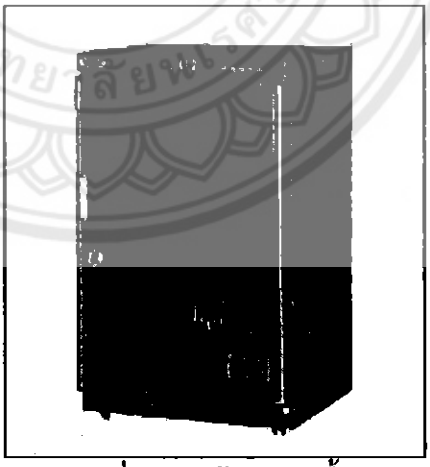
การบ่มด้วยความร้อน (Thermal aging) เป็นการทดสอบชิ้นงานเพื่อศึกษาถึงสมบัติเชิงกลที่เปลี่ยนไปเมื่อได้รับความร้อนและความชื้นที่เพิ่มขึ้น ณ ช่วงเวลาหนึ่ง การทดสอบการบ่มด้วยความร้อนของพอลิแลกติกแอซิดคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใย ตามมาตรฐาน ASTM D 756 Procedure G

3.3.4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบการบ่มด้วยความร้อน

ก. เตาอบไฟฟ้า

รูปที่ 3.12 เตาอบไฟฟ้า

ข. ตู้ดูดความชื้น รุ่น DRY VERSION



รูปที่ 3.13 ตู้ดูดความชื้น

3.3.4.2 วิธีการทดสอบการบ่มด้วยความร้อน

ก. ตัดชิ้นงานทดสอบตามขนาดมาตรฐาน ASTM D638, ASTM D256 และ ASTM D2240 เพื่อใช้ในการทดสอบสมบัติการรับแรงดึง (Tensile Strength) สมบัติต้านทานต่อแรงกระแทก (Impact Strength) และสมบัติความแข็ง (Hardness) ตามลำดับ

ข. นำชิ้นงานทดสอบไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ค. นำชิ้นงานที่ผ่านการบ่มด้วยความร้อนไปใส่ตู้ดูดความชื้นปล่อยให้เย็นตัวในตู้ดูดความชื้น โดยใช้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ร้อยละ 60 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ง. นำชิ้นงานที่ผ่านการบ่มด้วยความร้อนไปทดสอบสมบัติเชิงกล ได้แก่ สมบัติการรับแรงดึง สมบัติต้านทานต่อแรงกระแทกและสมบัติความแข็ง ตามวิธีการทดสอบ ในหัวข้อที่ 3.3.1, 3.3.2 และ 3.3.3

**ตารางที่ 3.4** ตารางบันทึกผลการทดสอบสมบัติการรับแรงดึงหลังการบ่มด้วยความร้อน

| ตารางบันทึกผลการทดสอบสมบัติการรับแรงดึงหลังการบ่มด้วยความร้อน | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ชนิดของเส้นใย | ปริมาณสารคู่ควบ (%wt) | Tensile Strength (MPa) | | | | | | เฉลี่ย (MPa) |
| | | ชิ้นที่ 1 | ชิ้นที่ 2 | ชิ้นที่ 3 | ชิ้นที่ 4 | ชิ้นที่ 5 | ชิ้นที่ 6 | |
| Pure PLA | - | | | | | | | |
| กล้วยน้ำว้า | 0% | | | | | | | |
| | 5% | | | | | | | |
| | 10% | | | | | | | |
| | 20% | | | | | | | |
| ชานอ้อย | 0% | | | | | | | |
| | 5% | | | | | | | |
| | 10% | | | | | | | |
| | 20% | | | | | | | |

**ตารางที่ 3.5** ตารางบันทึกผลการทดสอบสมบัติด้านทานต่อแรงกระแทกหลังการบ่มด้วยความร้อน

| ตารางบันทึกผลการทดสอบสมบัติด้านทานต่อแรงกระแทกหลังการบ่มด้วยความร้อน | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ชนิดของเส้นใย | ปริมาณเส้นใยสาคู (%wt) | ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทก (J/mm²) | | | | | | | | | | | | เฉลี่ย (J/mm²) |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
| Pure PLA | - | | | | | | | | | | | | | |
| กล้วยน้ำว้า | 0% | | | | | | | | | | | | | |
| | 5% | | | | | | | | | | | | | |
| | 10% | | | | | | | | | | | | | |
| | 20% | | | | | | | | | | | | | |
| ชานอ้อย | 0% | | | | | | | | | | | | | |
| | 5% | | | | | | | | | | | | | |
| | 10% | | | | | | | | | | | | | |
| | 20% | | | | | | | | | | | | | |

i551 8817
ว5
2114ค
2553

**ตารางที่ 3.6** ตารางบันทึกผลการทดสอบความแข็งหลังการบ่มด้วยความร้อน

| ตารางบันทึกผลการทดสอบความแข็งหลังการบ่มด้วยความร้อน | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ชนิดของเส้นใย | ปริมาณสารคู่ควบ (%wt) | Hardness (Shore) | | | | | เฉลี่ย (Shore) |
| | | จุดที่ 1 | จุดที่ 2 | จุดที่ 3 | จุดที่ 4 | จุดที่ 5 | |
| Pure PLA | - | | | | | | |
| กล้วยน้ำว้า | 0% | | | | | | |
| | 5% | | | | | | |
| | 10% | | | | | | |
| | 20% | | | | | | |
| ชานอ้อย | 0% | | | | | | |
| | 5% | | | | | | |
| | 10% | | | | | | |
| | 20% | | | | | | |

## 3.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

การวิเคราะห์ข้อมูลโดยการวิเคราะห์ผลกระทบจากปัจจัยหลัก คือ ปริมาณสารคู่ควบ ชนิดของเส้นใยและการทดสอบการบ่มด้วยความร้อน การวิเคราะห์ผลกระทบร่วมของผลกระทบหลัก เพื่อวิเคราะห์ถึงอิทธิพลของปัจจัยดังกล่าว ที่มีผลกระทบต่อสมบัติการรับแรงดึง สมบัติการรับแรงกระแทกและสมบัติความแข็งของคอมโพสิตชีวภาพ

# บทที่ 4
# ผลการทดลองและการวิเคราะห์

## 4.1 เส้นใยจากพืช

จากการทดลองคัดแยกเส้นใยหลังจากการแช่กาบกล้วยน้ำว้าและชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 ในน้ำสะอาดในถังปิดฝา พบว่าสามารถแยกเส้นใยได้ในระยะเวลาต่างกันดังนี้

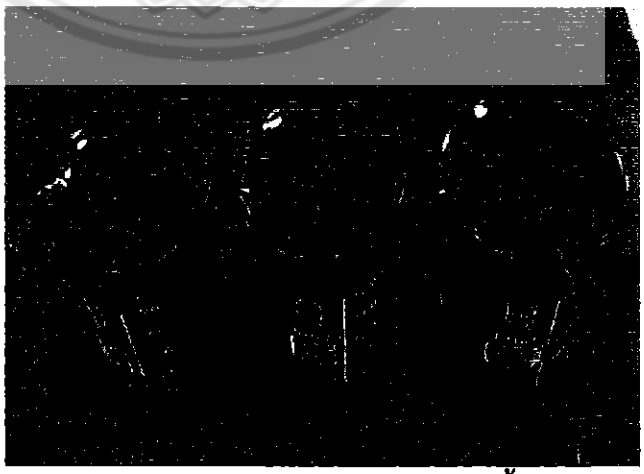
กาบกล้วยน้ำว้า ที่ระยะเวลา 3 สัปดาห์

ชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 ที่ระยะเวลา 4 สัปดาห์

หลังจากการแยกเส้นในแล้วล้างด้วยน้ำสะอาดแล้วนำไปตากแห้ง เส้นใยจากกาบกล้วยน้ำว้าและเส้นใยจากชานอ้อยมีความยาวของเส้นใยได้ตามที่กำหนดคือ 20 เซนติเมตร 5 เซนติเมตร

เมื่อทำการปรับปรุงผิวสัมผัสของเส้นใยทั้งสองชนิดด้วยสารคู่ควบในกลุ่มไซเลนที่ความเข้มข้นร้อยละ 5, ร้อยละ 10 และร้อยละ 20 ของน้ำหนักเส้นใยเป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่า เส้นใยมีมีความสะอาดมากขึ้นและเส้นใยทั้งสองชนิดมีสีที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม มีความอ่อนนุ่มมากกว่าเดิม

รูปที่ 4.1 การปรับปรุงผิวสัมผัสของเส้นใยชานอ้อยพันธ์สุพรรณ 50 ด้วยสารไซเลน



รูปที่ 4.2 การปรับปรุงผิวสัมผัสของเส้นใยกาบกล้วยน้ำว้า ด้วยสารไซเลน

## 4.2 ชิ้นงานทดสอบ

เมื่อขึ้นรูปพอลิแลกติกแอซิดคอมโพสิต บริสุทธิ์ ที่มีความหนา 1 มิลลิเมตร และ 2 มิลลิเมตร ด้วยเครื่องเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding) ที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่า

อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส พบว่า เม็ดพลาสติกละลายน้อยมาก การเพิ่มเวลาในการกดอัดเม็ดพลาสติกยังคงสภาพเป็นสีขาวขุ่น ยังคงสภาพของเม็ดแต่ละเม็ดให้เห็นชัดเจน

อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส พบว่า เม็ดพลาสติกมีการละลายมากขึ้น มีส่วนที่ละลายจนใสและมีบางส่วนที่ยังละลายไม่หมด การเพิ่มเวลาการกดอัดพบว่า เม็ดพลาสติกในส่วนที่ยังละลายไม่หมดมีการละลายเพิ่มขึ้นแต่สีของแผ่นพลาสติกที่ได้ ไม่มีความใสเหมือนบริเวณที่เกิดการละลายแล้วก่อนหน้า

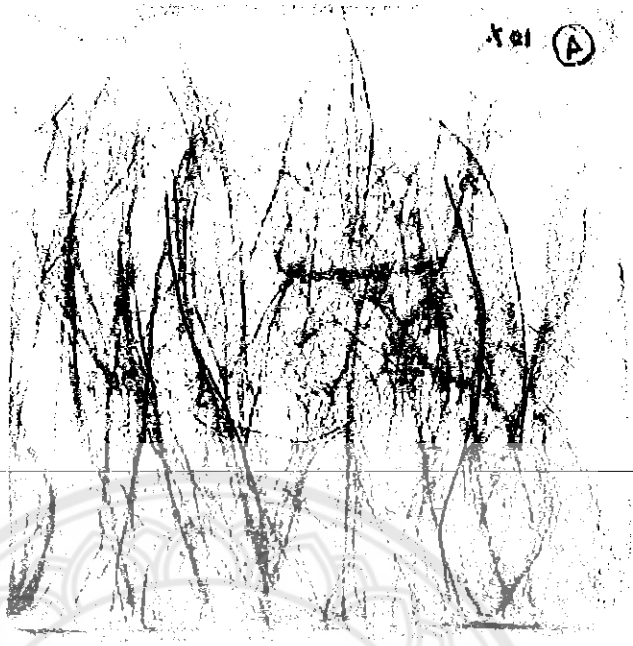
อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส พบว่า เม็ดพลาสติกละลายได้หมดจนเป็นแผ่นใส แต่จะมีบางส่วนที่มีการกระจายของเม็ดพลาสติกที่ไม่สม่ำเสมอ โดยเฉพาะส่วนที่อยู่ชิดกัน เมื่อเกิดการละลายแล้วจะเห็นเป็นขอบเกรนเหลือให้เห็นได้ชัด

การอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส พบว่าพลาสติกบริสุทธิ์ที่มีความหนา 1 มิลลิเมตรใช้เวลาการกดอัดเป็นเวลานานกว่า 2 มิลลิเมตร คือเวลาการกดอัดที่ 350 วินาทีและ 500 วินาทีตามลำดับ นอกจากนั้นการอุ่นแม่พิมพ์ก่อนการกดอัดทำให้การละลายของเม็ดพลาสติกได้ดีกว่า น้ำหนักของเม็ดพลาสติกที่ใช้กับแม่พิมพ์ขนาด 18x18 เซนติเมตร คือ พลาสติกชีวภาพความหนา 1 มิลลิเมตร ใช้เม็ดพลาสติก 42 กรัมและพลาสติกชีวภาพความหนา 2 มิลลิเมตร ใช้เม็ดพลาสติก 84 กรัม

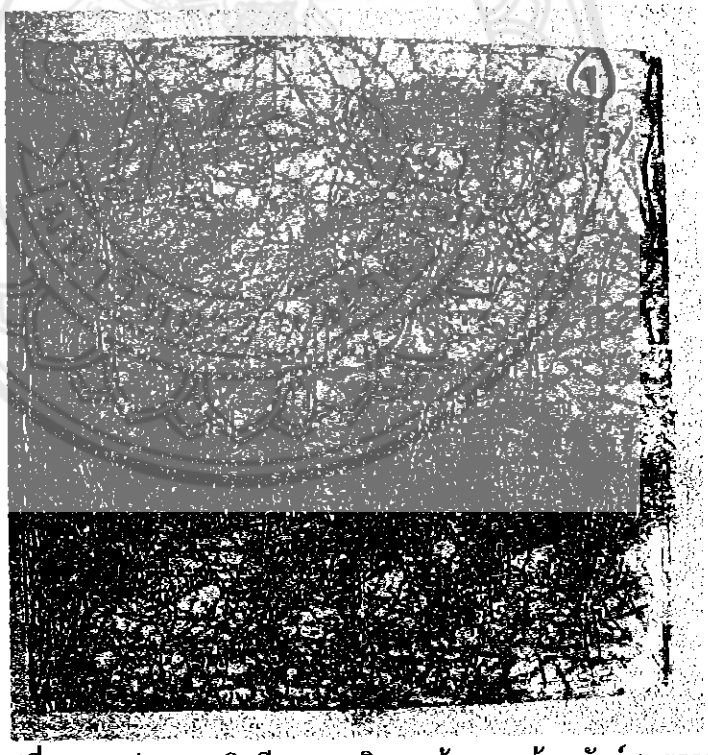
**รูปที่ 4.3** แผ่นพลาสติกชีวภาพ

การขึ้นรูปพลาสติกชีวภาพและเส้นใยที่มีความหนา 2 มิลลิเมตรและ 4 มิลลิเมตร ด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding) โดยการจัดเรียงเส้นใยในแนวยาวของแผ่นพลาสติกชีวภาพประกบแผ่นพลาสติกชีวภาพ ในแม่พิมพ์แล้วนำไปกดอัดที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสโดยต้องจัด เรียงเส้นใยจากกาบกล้วยน้ำว้าและซานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 ที่เตรียมไว้ในปริมาณ 1 ร้อยละของน้ำหนักซึ่งจะใช้เส้นใยในปริมาณ ต่างๆ ดังนี้

เส้นใยหนัก 1.6 กรัม สำหรับชิ้นงานความหนา 4 มิลลิเมตร



**รูปที่ 4.4** แผ่นพลาสติกชีวภาพเสริมแรงด้วยเส้นใยจากกาบกล้วยน้ำว้า

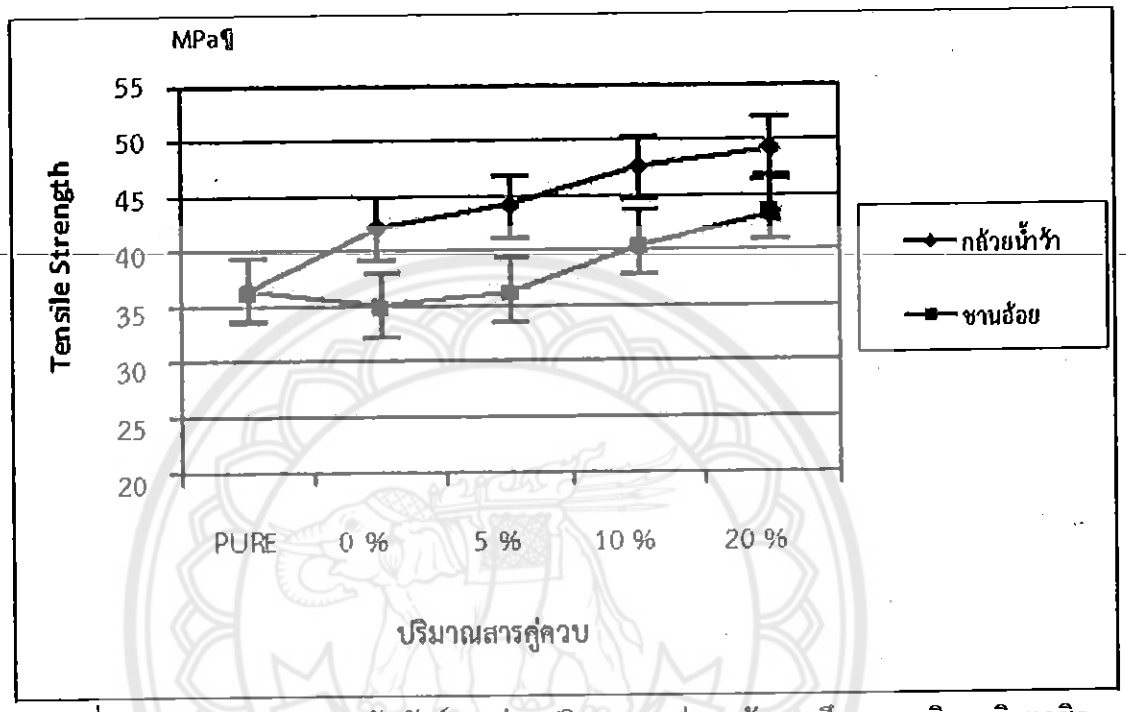


**รูปที่ 4.5** แผ่นพลาสติกชีวภาพเสริมแรงด้วยชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ50

## 4.3 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล

### 4.3.1 ผลการทดสอบสมบัติการรับแรงดึง

ผลการทดสอบสมบัติการรับแรงดึงของชิ้นงานทดสอบแต่ละชนิด ชนิดละ 6 ตัวอย่าง ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ATM D 638 ให้ผลการทดสอบที่ในตาราง ก.1 (ภาคผนวก ก)




**รูปที่** 4.6 กราฟแสดง ความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณสารคู่ควบกับแรงดึงของพอลิแลกติกแอซิด-คอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยกาบกล้วยน้ำว้า และชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50

จากรูปที่ 4.6 กราฟแสดงผลการทดสอบสมบัติการรับแรงดึงของพอลิแลกติกแอซิดคอมโพสิต ที่เสริมแรงด้วยเส้นใยจากกาบกล้วยน้ำว้าและเส้นใยจากชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 โดยใช้สารคู่ควบเป็นตัวประสานในปริมาณร้อยละ 0, ร้อยละ 5, ร้อยละ 10 และร้อยละ20 ของน้ำหนักของเส้นใย พบว่า

การรับแรงดึงของชิ้นงานทดสอบที่เสริมแรงด้วยเส้นใยจากกาบกล้วยน้ำว้ามีค่าสูงกว่าพอลิแลกติกแอซิดบริสุทธิ์และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณสารคู่ควบ การเติมสารคู่ควบได้เพิ่มปริมาณจาก ปริมาณเดิมหนึ่งเท่าตัว คือร้อยละ 0, ร้อยละ 5, ร้อยละ 10 และร้อยละ 20 ของน้ำหนักเส้นใย พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณสารคู่ควบเป็นร้อยละ 10 ของน้ำหนักเส้นใยมีอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าการรับแรงดึงมากที่สุดคือร้อยละ 7 และการใช้สารคู่ควบปริมาณร้อยละ 20 ของน้ำหนักเส้นใยให้ค่าการรับแรงดึงสูงสุด

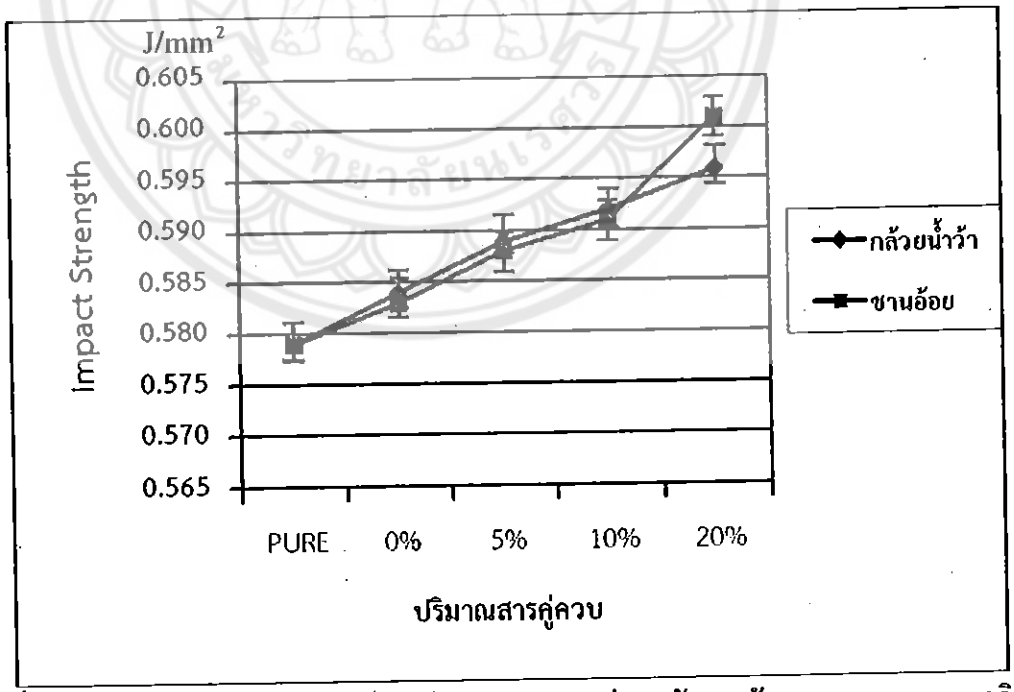
การรับแรงดึงของชิ้นงานทดสอบที่เสริมแรงด้วยเส้นใยจากชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพอลิแลกติกแอซิดบริสุทธิ์กับพอลิแลกติกแอซิดคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยจากชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 ค่าการรับแรงดึงลดลงและเมื่อใช้สารคู่ควบในปริมาณต่างๆค่าการรับแรงดึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและสูงกว่าพอลิแลกติกแอซิดบริสุทธิ์และพบว่าเมื่อ

เพิ่มปริมาณสารคู่ควบเป็นร้อยละ 10 ของน้ำหนักเส้นใยมีอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าการรับแรงดึงมากที่สุดคือ ร้อยละ 10.54 และการใช้สารคู่ควบปริมาณร้อยละ 20 ของน้ำหนักเส้นใยให้ค่าการรับแรงดึงสูงสุด

เนื่องจากปริมาณของสารคู่ควบที่เพิ่มขึ้นนั้นทำให้ความสามารถในการประสานระหว่างเส้นใยและพอลิแลกติกแอซิดสามารถประสานกันได้ดีขึ้น ซึ่งพอลิแลกติกแอซิดคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยจากจากกาบกล้วยน้ำว้าให้ค่าการรับแรงดึงได้สูงกว่าเส้นใยจากชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 เนื่องจากความยาวและขนาดที่แตกต่างของเส้นใยทั้งสอง เส้นใยจากกาบกล้วยน้ำว้ามีความยาวมากว่าเส้นใยจากชานอ้อย ทำให้การเรียงตัวในแนวยาวของเส้นใยจากกาบกล้วยน้ำว้าสามารถเรียงตัวในแนวยาวได้ดีกว่าเส้นใยจากชานอ้อย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของอัจฉรา แสงทนต์ (2548) ซึ่งศึกษาศึกษาผลของสารประสานคู่ควบซนิดไวนิลไตรเอทอกซีไซเลนที่มีต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเอทิลีนผสมกับเส้นใยชานอ้อยที่เป็นวัสดุเสริมแรง พบว่า สมบัติการรับแรงดึงของพอลิเอทีลีนผสมกับเส้นใยชานอ้อยที่ใช้สารคู่ควบจะมีค่าสูงกว่าพอลิเอทีลีนผสมกับเส้นใยชานอ้อยที่ไม่ใช้สารคู่ควบ การใช้สารคู่ควบทำให้สมบัติการรับแรงดึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณสารคู่ควบ (ช่วงปริมาณสารคู่ควบร้อยละ 10-20 ของน้ำหนักเส้นใย)

4.3.2 ผลการทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก

ผลการทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทกของชิ้นงานทดสอบแต่ละชนิด ชนิดละ 12 ตัวอย่าง ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 256 ให้ผลการทดสอบที่ในตาราง ก.2 (ภาคผนวก ก)




**รูปที่ 4.7** กราฟแสดง ความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณสารคู่ควบกับการรับแรงกระแทกของพอลิแลกติกแอซิดที่เสริมแรงด้วยเส้นใยกาบกล้วยน้ำว้าและชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50

จากรูปที่ 4.7 กราฟแสดงผลการทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทกของพอลิแลกติกแอซิดคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยจากกาบกล้วยน้ำว้าและเส้นใยจากชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 โดยใช้สารคู่ควบเป็นตัวประสานในปริมาณร้อยละ 0, ร้อยละ 5, ร้อยละ 10 และร้อยละ 20 ของน้ำหนักเส้นใย พบว่า สมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทกของชิ้นงานทดสอบที่เสริมแรงด้วยเส้นใยจากจากกล้วยน้ำว้าและเส้นใยจากชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 มีค่าใกล้เคียงกันและมีค่าสูงกว่าพอลิแลกติกแอซิดคอมโพสิตบริสุทธิ์ การเติมสารคู่ควบได้เพิ่มปริมาณจากปริมาณเดิมหนึ่งเท่าตัว คือร้อยละ 0, ร้อยละ 5, ร้อยละ 10 และร้อยละ 20 ของน้ำหนักเส้นใย การเพิ่มปริมาณสารคู่ควบดังกล่าวทำให้สมบัติการับแรงกระแทกมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ

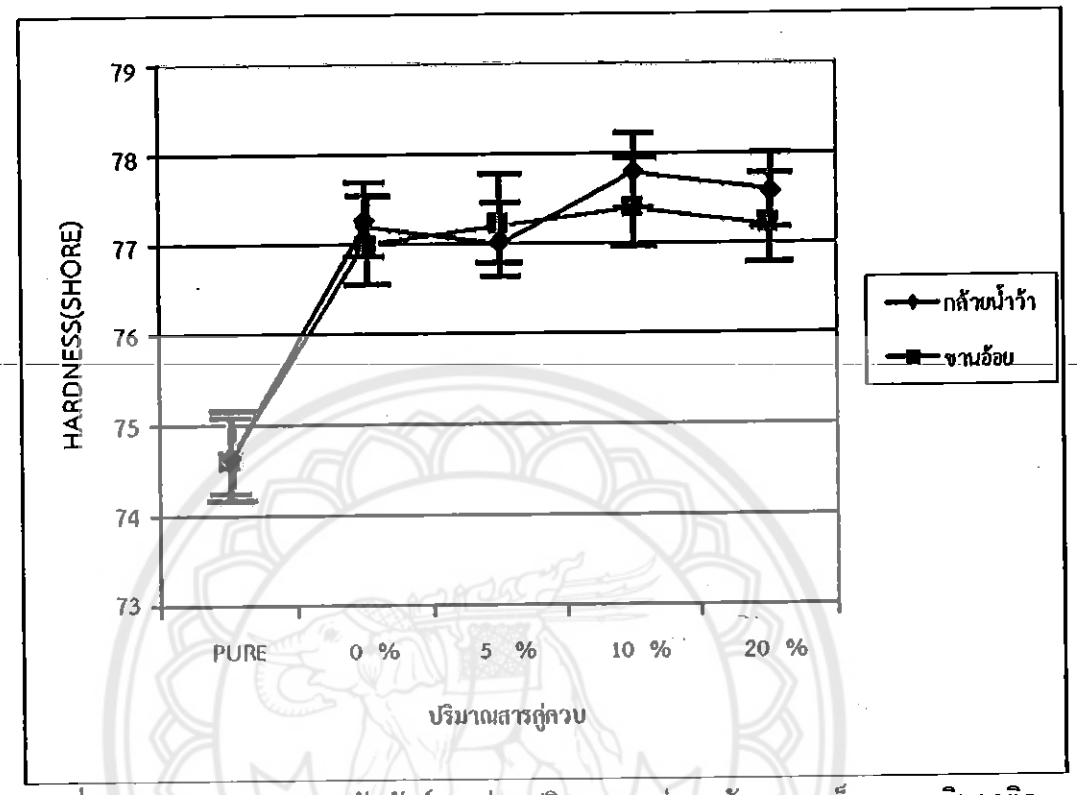
พอลิแลกติกแอซิดคอมโพสิต ที่เสริมแรงด้วยเส้นใยจากกาบกล้วยน้ำว้า มีสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทกที่สูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณสารคู่ควบ และพบว่าสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทกมีค่าสูงสุดเมื่อใช้สารคู่ควบร้อยละ 20 ของน้ำหนักเส้นใย

พอลิแลกติกแอซิดคอมโพสิต ที่เสริมแรงด้วยเส้นใยจากชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 มีสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทกที่สูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณสารคู่ควบ และพบว่าสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทกมีค่าสูงสุดและมีอัตราการเพิ่มขึ้นสูงสุดเมื่อใช้สารคู่ควบร้อยละ 20 ของน้ำหนักเส้นใย

จากผลการทดสอบดังกล่าวสอดคล้องกับกับงานวิจัยของ อัจฉรา แสงทนต์ (2548) ซึ่งศึกษาศึกษาผลของสารประสานคู่ควบชนิดไวนิลไตรเอทอกซีไซเลนที่มีต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเอทิลีนผสมกับเส้นใยชานอ้อยที่เป็นวัสดุเสริมแรง พบว่าสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทกมีค่าเพิ่มขึ้นจากจุดหนึ่งจนถึงจัดหนึ่งจะมีค่าลดลง โดยปริมาณสารคู่ควบร้อยละ 20 ของน้ำหนักเส้นใยสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทกจะมีค่าสูงสุด

4.3.3 ผลการทดสอบสมบัติความแข็ง

ผลการทดสอบสมบัติความแข็งของชิ้นงานทดสอบแต่ละชนิด กดลงบนชิ้นงานชิ้นละ 5 จุด ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 2240 ให้ผลการทดสอบที่ในตาราง ก.3 (ภาคผนวก ก)




**รูปที่** 4.8 กราฟแสดง ความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณสารคู่ควบกับความแข็งของพอลิแลกติก-แอซิดคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยกาบกล้วยน้ำว้าและเส้นขานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50

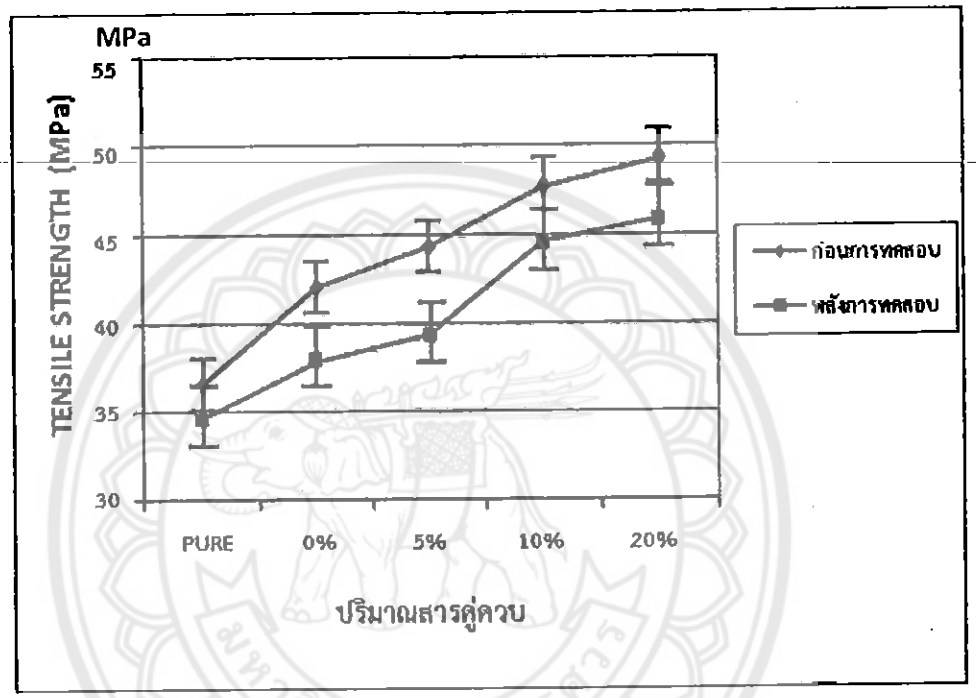
จากรูปที่ 4.8 กราฟแสดงผลการทดสอบสมบัติความแข็งของพอลิแลกติกแอซิดคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยจากกาบกล้วยน้ำว้าและเส้นใยจากขานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 โดยใช้สารคู่ควบเป็นตัวประสานในปริมาณร้อยละ 0, ร้อยละ 5, ร้อยละ 10 และร้อยละ 20 ของน้ำหนักเส้นใย พบว่าสมบัติความแข็งของพอลิแลกติกแอซิดคอมโพสิต ที่เสริมแรงด้วยเส้นใยทั้งสองชนิดมีค่าคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามปริมาณสารคู่ควบและมีค่าสูงกว่าพลาสติกชีวภาพ PLA บริสุทธิ์ สมบัติความแข็งมีค่าโดยประมาณไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ จุฑามาส สานต๊ะและมณีรัตน์ แซ่อ่อง (2549) ได้ศึกษาถึงผลของชนิดและปริมาณเส้นใย ที่มีผลต่อสมบิตเชิงกลของคอมโพสิตชีวภาพที่มีพอลิแลกติกแอซิดคอมโพสิต เป็นวัสดุเนื้อหลัก พบว่าสมบัติความแข็งของพอลิแลกติกแอซิดคอมโพสิต มีค่าสูงขึ้นเมื่อใช้เส้นใยเพื่อเสริมแรง และสอดคล้องกับงานวิจัยของอัจฉรา แสงทนต์ (2548) ซึ่งศึกษาศึกษาผลของสารประสานคู่ควบชนิดไวนิลไตรเอทอกซีไซเลนที่มีต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเอทิลีนผสมกับเส้นใยขานอ้อยที่เป็นวัสดุเสริมแรง พบว่าการใช้สารคู่ควบที่ปริมาณต่างๆ ทำให้สมบัติความแข็งพอลิเอทิลีนผสมกับเส้นใยขานอ้อยโดยประมาณไม่แตกต่างกัน

4.3.4 ผลการทดสอบของการบ่มด้วยความร้อน

ผลของการทดสอบบ่มด้วยความร้อนของชิ้นงานทดสอบแต่ละชนิดโดยการนำชิ้นงานทดสอบไปบ่มด้วยความร้อนและผ่านความชื้น ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 756 Procedure G ให้ผลการทดสอบดังนี้

4.3.4.1 การทดสอบสมบัติการรับแรงดึง

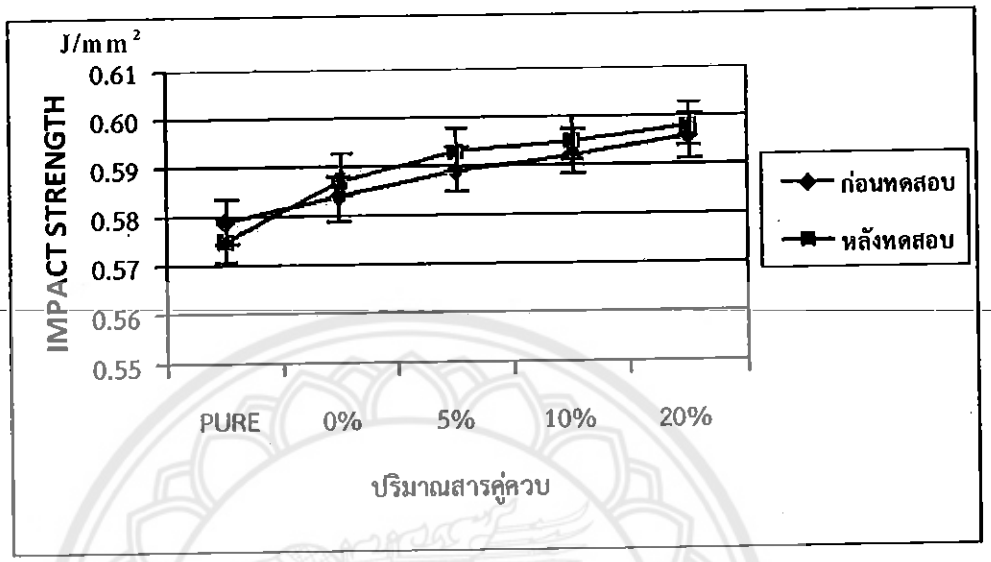
ผลการทดสอบสมบัติการรับแรงดึงของชิ้นงาน ก่อนและหลังการทดสอบการบ่มด้วยความร้อนของพอลิแลกติกแอซิดคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยจากกาบกล้วยน้ำว้า ให้ผลการทดสอบในตารางที่ ก.4 (ภาคผนวก ก)



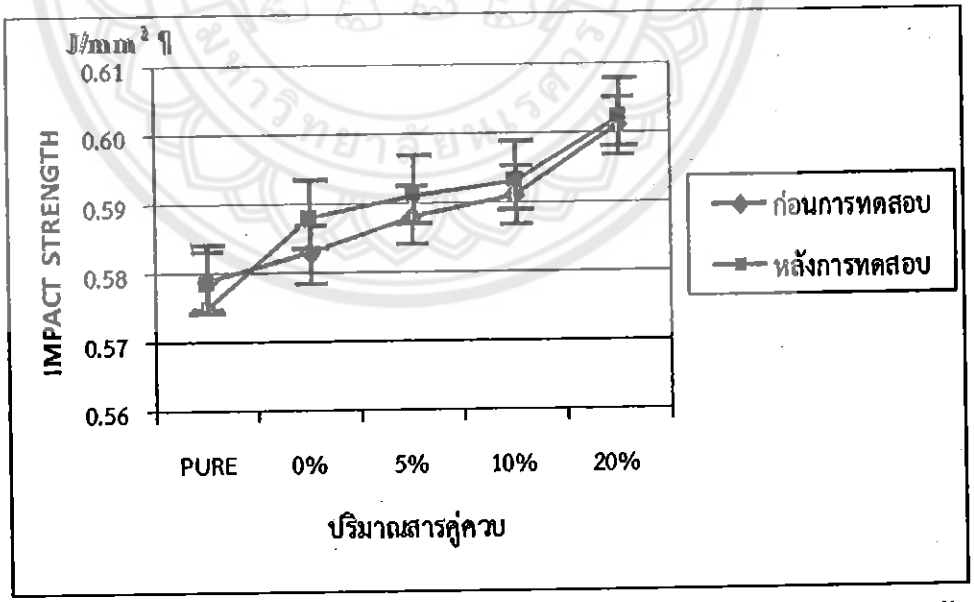

**รูปที่** 4.9 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสมบัติการรับแรงดึงก่อนและหลังการทดสอบการบ่มด้วยความร้อน ของพอลิแลกติกแอซิดคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยกาบกล้วยน้ำว้า

4.3.4.2 การทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก

ผลการทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทกของชิ้นงาน ก่อนและหลังการทดสอบการบ่มด้วยความร้อนของพอลิแลกติกแอซิตคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยจากกาบกล้วยน้ำว้า ให้ผลการทดสอบในตารางที่ ก.5 (ภาคผนวก ก)




รูปที่ 4.11 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก ก่อนและหลังการทดสอบการบ่มด้วยความร้อน ของพอลิแลกติกแอซิตคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยกาบกล้วยน้ำว้า




รูปที่ 4.12 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก ก่อนและหลังการทดสอบการบ่มด้วยความร้อนของพอลิแลกติกแอซิตคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยจากชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50

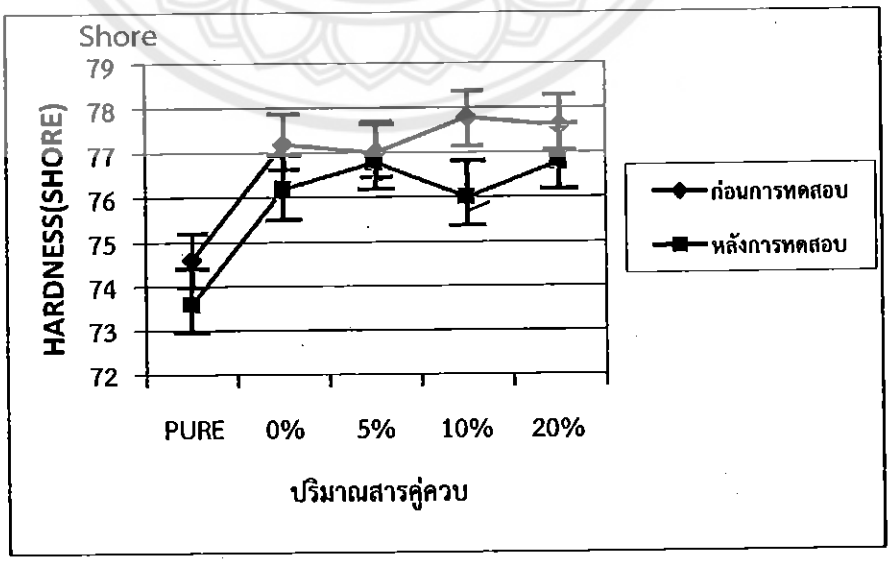
จากรูปที่ 4.11 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทกก่อนและหลังการทดสอบการบ่มด้วยความร้อน พบว่าพลาสติกชีวภาพ PLA บริสุทธิ์มีสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทกหลังการทดสอบการบ่มด้วยความร้อนที่ต่ำลง ส่วนพอลิแลกติกแอซิตคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยจากกาบกล้วยน้ำว้า พบว่าสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทกหลังการทดสอบการบ่มด้วยความร้อนมีค่าเพิ่มสูงขึ้น

รูปที่ 4.12 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทกของพอลิแลกติกแอซิตคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยจากจากชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 พบว่าพลาสติกชีวภาพ PLA บริสุทธิ์มีค่าสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทกหลังการทดสอบการบ่มด้วยความร้อนที่ต่ำลดลง ส่วนพอลิแลกติกแอซิตคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยจากกาบกล้วยน้ำว้า พบว่าสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทกหลังการทดสอบการบ่มด้วยความร้อนมีค่าเพิ่มสูงขึ้น

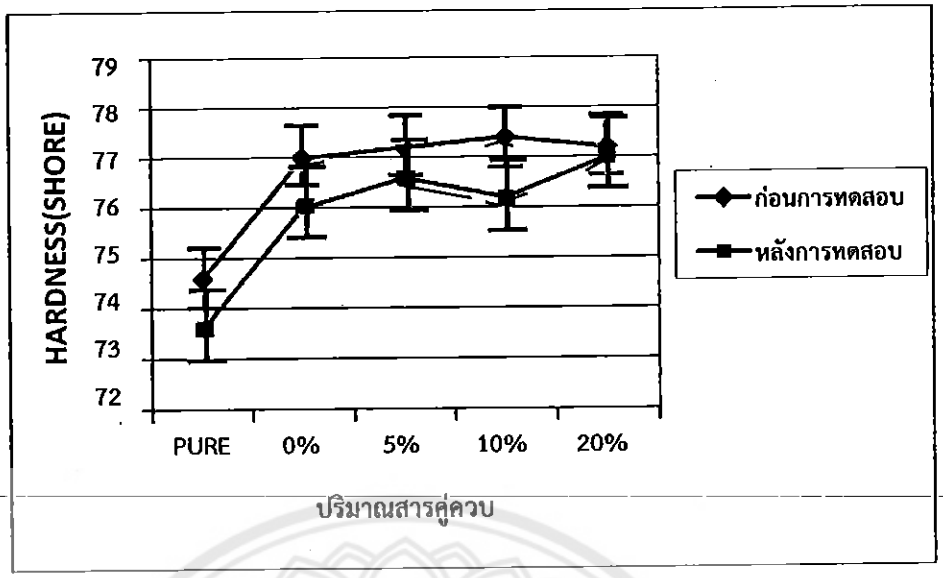
การทดสอบสมบัติรับแรงกระแทกของชิ้นงานทดสอบ ซึ่งลักษณะของการเสริมแรงของเส้นใยในพลาสติกชีวภาพ PLA เกิดขึ้นในแนวยาว เนื่องจากการทดสอบแรงกระแทกทดสอบโดยการกระแทกจากด้านข้างของชิ้นงานโดยให้ชิ้นงานขาดออกจากกัน นั้นคือ ต้องใช้แรงระดับหนึ่งที่สามารถทำให้ชิ้นงานขาดออกจากกัน การบ่มด้วยความร้อนอาจทำให้เกิดการสูญเสียสภาพของสายโซ่ระหว่างพลาสติก PLA กับเส้นใย แต่เนื่องจากความชื้นส่งผลให้เส้นใยที่ใช้เสริมแรงขยายตัวทำให้มีความเหนียวเพิ่มขึ้น ดังนั้น แรงที่จะสามารถทำให้ชิ้นงานที่มีพลาสติกชีวภาพกับเส้นใยที่มีความเหนียวจึงต้องใช้แรงที่จะทำให้ชิ้นงานมากขึ้น ทำให้สมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้น ขณะที่พลาสติกชีวภาพ PLA บริสุทธิ์มีค่าลดลงเนื่องจากการไม่มีเส้นใยที่ใช้เสริมแรง

4.3.4.3 การทดสอบสมบัติความแข็ง

ผลการทดสอบสมบัติความแข็งของชิ้นงาน ก่อนและหลังการทดสอบการบ่มด้วยความร้อนของพอลิแลกติกแอซิตคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยจากกาบกล้วยน้ำว้า ให้ผลการทดสอบในตารางที่ ก.6 (ภาคผนวก ก)




รูปที่ 4.13 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสมบัติความแข็ง ก่อนและหลังการทดสอบการบ่มด้วยความร้อน ของพอลิแลกติกแอซิตคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยกาบกล้วยน้ำว้า




รูปที่ 4.14 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสมบัติความแข็ง ก่อนและหลังการทดสอบการบ่มด้วยความร้อน ของพอลิแลกติกแอซิตคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยจากชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50

จากรูปที่ 4.13 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสมบัติความแข็งของพอลิแลกติกแอซิตคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยกาบกล้วยน้ำว้า พบว่า สมบัติความแข็งมีค่าลดลงหลังจากผ่านการทดสอบการบ่มด้วยความร้อน สมบัติความแข็งพลาสติกชีวภาพ PLA บริสุทธิ์ มีค่าลดลงมากที่สุด ส่วนคอมโพสิตพลาสติกที่เสริมแรงด้วยเส้นใยกาบกล้วยน้ำว้ามีค่าลดลง

จากรูปที่ 4.14 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสมบัติความแข็งของพอลิแลกติกแอซิตคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยจากชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 พบว่า สมบัติความแข็งมีค่าลดลงหลังจากผ่านการทดสอบการบ่มด้วยความร้อน สมบัติความแข็งพลาสติกชีวภาพ PLA บริสุทธิ์ มีค่าลดลงมากที่สุด ส่วนคอมโพสิตพลาสติกที่เสริมแรงด้วยเส้นใยชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 มีค่าลดลง

สมบัติความแข็งของพอลิแลกติกแอซิตคอมโพสิตมีค่าลดลงหลังจากการทดสอบการบ่มด้วยความร้อน ชิ้นงานทดสอบประกอบด้วยพลาสติกชีวภาพ PLA เส้นใยและสารคู่ควบ เนื่องจากความแข็งของชิ้นงานทดสอบ เส้นใยไม่ใช่ส่วนที่ช่วยรับแรงโดยตรง แต่เส้นใยเป็นส่วนที่ช่วยกระจายแรง ส่วนที่รับแรงโดยตรงคือ พลาสติกชีวภาพ PLA ซึ่งจะเห็นได้จากผลการทดสอบ เมื่อใช้เส้นใยเสริมแรงในพลาสติกชีวภาพ PLA สมบัติความแข็งจะมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ชนิดของเส้นใยและปริมาณของสารคู่ควบที่เติมลงไปเพื่อเพิ่มความเชื่อมโยง มีผลต่อความสามารถในการรับแรงกดหรือสมบัติความแข็งของชิ้นงานไม่มากนัก ดังนั้นเมื่อผ่านการทดสอบการบ่มด้วยความร้อน สมบัติความแข็งของชิ้นงานทดสอบ จะลดลงเพียงเล็กน้อย

## 4.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล

เมื่อได้ผลการทดลองผู้วิจัยเลือกใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติซึ่งโปรแกรมที่สามารถวิเคราะห์ความแปรปรน (ANOVA) เพื่อกรองปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลอันได้แก่สมบัติการรับแรงดึง สมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก สมบัติความแข็งทั้งก่อนและหลังการบ่มด้วยความร้อน ที่ระดับนัยสำคัญที่เราต้องการนำมาเป็นเครื่องมือช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูล การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัย คือ ปริมาณสารคู่ควบ ชนิดของเส้นใยและการบ่มด้วยความร้อน ที่ส่งผลต่อสมบัติการรับแรงดึง สมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก สมบัติความแข็งโดยการทำการพิจารณาค่านัยสำคัญ (Sig.)

ถ้าค่านัยสำคัญ > ระดับนัยสำคัญ 0.05 ยอมรับสมมุติฐานหลัก ($H_O$)

ถ้าค่านัยสำคัญ < ระดับนัยสำคัญ 0.05 ปฏิเสธสมมุติฐานหลัก ($H_O$)

กำหนดให้ A แทนปัจจัย ปริมาณสารคู่ควบ

B แทนปัจจัย ชนิดของเส้นใย

C แทนปัจจัย การบ่มด้วยความร้อน

AB ผลกระทบร่วมของ ปริมาณสารคู่ควบ และชนิดของเส้นใย

AC ผลกระทบร่วมของ ปริมาณสารคู่ควบ และการบ่มด้วยความร้อน

BC ผลกระทบร่วมของ ชนิดของเส้นใยและการบ่มด้วยความร้อน

ABC ผลกระทบร่วมของ ปริมาณสารคู่ควบ ชนิดของเส้นใย และการบ่มด้วยความร้อน

### 4.4.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อสมบัติการรับแรงดึง

**ตารางที่ 4.1** ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อสมบัติการรับแรงดึง

| Source | DF | Seq SS | Mean Square | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| A | 3 | 994.50 | 331.50 | 81.56 | 0.000 |
| B | 1 | 1152.07 | 1152.07 | 283.44 | 0.000 |
| C | 1 | 343.63 | 343.63 | 84.54 | 0.000 |
| A*B | 3 | 5.04 | 1.68 | 0.41 | 0.744 |
| A*C | 3 | 7.38 | 2.46 | 0.60 | 0.614 |
| B*C | 1 | 0.17 | 0.17 | 0.04 | 0.838 |
| A*B*C | 3 | 2.74 | 0.91 | 0.22 | 0.879 |
| Error | 80 | 325.17 | 4.06 | | |
| Total | 95 | 2830.70 | | | |

4.4.1.1 ตรวจสอบอิทธิพลของปัจจัยที่ 1 คือ ปริมาณสารคู่ควบ

$H_0$ คือ ปริมาณสารคู่ควบไม่มีผลกระทบต่อสมบัติการรับแรงดึง

$H_1$ คือ ปริมาณสารคู่ควบมีผลกระทบต่อสมบัติการรับแรง

ค่านัยสำคัญ = 0.000 < 0.05 จึงปฏิเสธ $H_0$ ยอมรับ $H_1$ นั่นคือ ปริมาณสารคู่ควบมีผลกระทบต่อสมบัติการรับแรงดึง ปริมาณสารคู่ควบแตกต่างกันให้สมบัติสมบัติการรับแรงดึงที่แตกต่างกัน

4.4.1.2 ตรวจสอบอิทธิพลของปัจจัยที่ 2 คือ ชนิดของเส้นใย

$H_0$ คือ ชนิดของเส้นใยไม่มีผลกระทบต่อสมบัติการรับแรงดึง

$H_1$ คือ ชนิดของเส้นใยมีผลกระทบต่อสมบัติการรับแรงดึง

ค่านัยสำคัญ = 0.000 < 0.05 จึงปฏิเสธ $H_0$ ยอมรับ $H_1$ นั่นคือ ชนิดของเส้นใยมีผลกระทบต่อสมบัติการรับแรงดึง ชนิดของเส้นใยแตกต่างกันให้สมบัติสมบัติการรับแรงดึงที่แตกต่างกัน

4.4.1.3 ตรวจสอบอิทธิพลของปัจจัยที่ 3 คือ การทดสอบการบ่มด้วยความร้อน

$H_0$ คือ การทดสอบการบ่มด้วยความร้อนไม่มีผลกระทบต่อสมบัติการรับแรงดึง

$H_1$ คือ การทดสอบการบ่มด้วยความร้อนมีผลกระทบต่อสมบัติการรับแรงดึง

ค่านัยสำคัญ = 0.000 < 0.05 จึงปฏิเสธ $H_0$ ยอมรับ $H_1$ นั่นคือ การทดสอบการบ่มด้วยความร้อนมีผลกระทบต่อสมบัติการรับแรงดึง

4.4.1.4 ตรวจสอบอิทธิพลของผลกระทบร่วมของ ปริมาณสารคู่ควบ และชนิดของเส้นใย

$H_0$ คือ ปริมาณสารคู่ควบและชนิดของเส้นใยไม่มีผลกระทบร่วมกันต่อสมบัติการรับแรงดึง

$H_1$ คือ ปริมาณสารคู่ควบ และชนิดของเส้นใยมีผลกระทบร่วมต่อสมบัติการรับแรงดึง

ค่านัยสำคัญ = 0.744 > 0.05 จึงปฏิเสธ $H_1$ ยอมรับ $H_0$ นั่นคือ ผลกระทบร่วมของ ปริมาณสารคู่ควบ และชนิดของเส้นใยไม่มีผลกระทบร่วมกันต่อสมบัติการรับแรงดึง

4.4.1.5 ตรวจสอบอิทธิพลของ ผลกระทบร่วมของปริมาณสารคู่ควบ และการบ่มด้วยความร้อน

$H_0$ คือ ปริมาณสารคู่ควบ และการบ่มด้วยความร้อนไม่มีผลกระทบร่วมกันต่อสมบัติการรับแรงดึง

$H_1$ คือ ปริมาณสารคู่ควบ และการบ่มด้วยความร้อนมีผลกระทบร่วมกันต่อสมบัติการรับแรงดึง

ค่านัยสำคัญ = 0.614 > 0.05 จึงปฏิเสธ $H_1$ ยอมรับ $H_0$ นั่นคือ ผลกระทบร่วมของปริมาณสารคู่ควบ และการบ่มด้วยความร้อนไม่มีผลกระทบร่วมกันต่อสมบัติการรับแรงดึง

4.4.1.6 ตรวจสอบอิทธิพลของ ผลกระทบร่วมของ ชนิดของเส้นใย และการบ่มด้วยความร้อน

$H_0$ คือ ชนิดของเส้นใยและการบ่มด้วยความร้อนไม่มีผลกระทบร่วมกันต่อสมบัติการรับแรงดึง

$H_1$ คือ ชนิดของเส้นใยและการบ่มด้วยความร้อนมีผลกระทบร่วมกันต่อสมบัติการรับแรงดึง

ค่านัยสำคัญ = 0.838 > 0.05 จึงปฏิเสธ $H_1$ ยอมรับ $H_0$ นั่นคือ ผลกระทบร่วมของชนิดของเส้นใย และการบ่มด้วยความร้อนไม่มีผลกระทบร่วมกันต่อสมบัติการรับแรงดึง

4.4.1.7 ตรวจสอบอิทธิพลของ ผลกระทบร่วมของ ปริมาณสารคู่ควบชนิดของเส้นใยและการบ่มด้วยความร้อน

$H_0$ คือ ปริมาณสารคู่ควบ ชนิดของเส้นใย และการบ่มด้วยความร้อนไม่มีผลกระทบร่วมกันต่อสมบัติการรับแรงดึง

$H_1$ คือ ปริมาณสารคู่ควบ ชนิดของเส้นใย และการบ่มด้วยความร้อนมีผลกระทบร่วมกันต่อสมบัติการรับแรงดึง

ค่านัยสำคัญ = 0.879 > 0.05 จึงปฏิเสธ $H_1$ ยอมรับ $H_0$ นั่นคือ ผลกระทบร่วมของ ปริมาณสารคู่ควบ ชนิดของเส้นใย และการบ่มด้วยความร้อนไม่มีผลกระทบร่วมกันต่อสมบัติการรับแรงดึง

**ตารางที่ 4.2** ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก

| Source | DF | Seq SS | Mean Square | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| A | 3 | 0.0049488 | 0.0016496 | 21.98 | 0.000 |
| B | 1 | 0.0000101 | 0.0000101 | 0.13 | 0.714 |
| C | 1 | 0.0003741 | 0.0003741 | 4.98 | 0.027 |
| AB | 3 | 0.0002594 | 0.0000865 | 1.15 | 0.330 |
| AC | 3 | 0.0000524 | 0.0000175 | 0.23 | 0.873 |
| BC | 1 | 0.0000053 | 0.0000053 | 0.07 | 0.790 |
| ABC | 3 | 0.0000113 | 0.0000038 | 0.05 | 0.985 |
| Error | 176 | 0.0132105 | 0.0000751 | | |
| Total | 191 | 0.0188719 | | | |

4.4.2.1 ตรวจสอบอิทธิพลของปัจจัยที่ 1 คือ ปริมาณสารคู่ควบ

$H_0$ คือ ปริมาณสารคู่ควบไม่มีผลกระทบต่อสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก

$H_1$ คือ ปริมาณสารคู่ควบมีผลกระทบต่อสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก

ค่านัยสำคัญ = 0.000 < 0.05 จึงปฏิเสธ $H_0$ ยอมรับ $H_1$ นั่นคือ ปริมาณสารคู่ควบมีผลกระทบต่อสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก ปริมาณสารคู่ควบแตกต่างกันให้สมบัติสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทกที่แตกต่างกัน

4.4.2.2 ตรวจสอบอิทธิพลของปัจจัยที่ 2 คือ ชนิดของเส้นใย

$H_0$ คือ ชนิดของเส้นใยไม่มีผลกระทบต่อสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก

$H_1$ คือ ชนิดของเส้นใยมีผลกระทบต่อสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก

ค่านัยสำคัญ = 0.714 > 0.05 จึงปฏิเสธ $H_1$ ยอมรับ $H_0$ นั่นคือ ชนิดของเส้นใยไม่มีผลกระทบต่อสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก ชนิดของเส้นใยแตกต่างกันให้สมบัติสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทกที่แตกต่างกัน

4.4.2.3 ตรวจสอบอิทธิพลของปัจจัยที่ 3 คือ การทดสอบการบ่มด้วยความร้อน

$H_0$ คือ การทดสอบการบ่มด้วยความร้อนไม่มีผลกระทบต่อสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก

$H_1$ คือ การทดสอบการบ่มด้วยความร้อนมีผลกระทบต่อสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก

ค่านัยสำคัญ = 0.027 < 0.05 จึงปฏิเสธ $H_0$ ยอมรับ $H_1$ นั่นคือ การทดสอบการบ่มด้วยความร้อนมีผลกระทบต่อสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก

$H_1$ คือ การทดสอบการบ่มด้วยความร้อนมีผลกระทบต่อสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก

ค่านัยสำคัญ = 0.027 < 0.05 จึงปฏิเสธ $H_0$ ยอมรับ $H_1$ นั่นคือ การทดสอบการบ่มด้วยความร้อนมีผลกระทบต่อสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก

4.4.2.4 ตรวจสอบอิทธิพลของ ผลกระทบร่วมของปริมาณสารคู่ควบ และชนิดของเส้นใย

$H_0$ คือ ปริมาณสารคู่ควบ และชนิดของเส้นใยไม่มีผลกระทบร่วมกันต่อสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก

$H_1$ คือ ปริมาณสารคู่ควบ และชนิดของเส้นใยมีผลกระทบร่วมต่อสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก

ค่านัยสำคัญ = 0.330 > 0.05 จึงยอมรับ $H_0$ นั่นคือ ผลกระทบร่วมของปริมาณสารคู่ควบ และชนิดของเส้นใยไม่มีผลกระทบร่วมกันต่อสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก

4.4.2.5 ตรวจสอบอิทธิพลของ ผลกระทบร่วมของปริมาณสารคู่ควบ และการบ่มด้วยความร้อน

$H_0$ คือ ปริมาณสารคู่ควบและการบ่มด้วยความร้อนไม่มีผลกระทบร่วมกันต่อสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก

$H_1$ คือ ปริมาณสารคู่ควบและการบ่มด้วยความร้อนมีผลกระทบร่วมกันต่อสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก

ค่านัยสำคัญ = 0.873 > 0.05 จึงยอมรับ $H_0$ นั่นคือ ผลกระทบร่วมของปริมาณสารคู่ควบและการบ่มด้วยความร้อนไม่มีผลกระทบร่วมกันต่อสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก

4.4.2.6 ตรวจสอบอิทธิพลของ ผลกระทบร่วมของชนิดของเส้นใยและการบ่มด้วยความร้อน

$H_0$ คือ ชนิดของเส้นใยและการบ่มด้วยความร้อนไม่มีผลกระทบร่วมกันต่อสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก

$H_1$ คือ ชนิดของเส้นใยและการบ่มด้วยความร้อนมีผลกระทบร่วมกันต่อสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก

ค่านัยสำคัญ = 0.790 > 0.05 จึงยอมรับ $H_0$ นั่นคือ ผลกระทบร่วมของ ชนิดของเส้นใย และการบ่มด้วยความร้อนไม่มีผลกระทบร่วมกันต่อสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก

4.4.2.7 ตรวจสอบอิทธิพลของ ผลกระทบร่วมของปริมาณสารคู่ควบ ชนิดของเส้นใย และการบ่มด้วยความร้อน

$H_0$ คือ ปริมาณสารคู่ควบ ชนิดของเส้นใย และการบ่มด้วยความร้อนไม่มีผลกระทบร่วมกันต่อสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก

$H_1$ คือ ปริมาณสารคู่ควบ ชนิดของเส้นใย และการบ่มด้วยความร้อนมีผลกระทบร่วมกันต่อสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก

ค่านัยสำคัญ = 0.985 > 0.05 จึงยอมรับ $H_0$ นั่นคือ ผลกระทบร่วมของปริมาณสารคู่ควบ ชนิดของเส้นใย และการบ่มด้วยความร้อนไม่มีผลกระทบร่วมกันต่อสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก

### 4.4.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อสมบัติความแข็ง

**ตารางที่ 4.3** ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อสมบัติความแข็ง

| Source | DF | Seq SS | Mean Square | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| A | 3 | 3.050 | 1.017 | 0.46 | 0.708 |
| B | 1 | 0.200 | 0.200 | 0.09 | 0.763 |
| C | 1 | 14.450 | 14.450 | 6.61 | 0.013 |
| A*B | 3 | 0.100 | 0.033 | 0.02 | 0.997 |
| A*C | 3 | 3.850 | 1.283 | 0.59 | 0.626 |
| B*C | 1 | 0.200 | 0.200 | 0.09 | 0.763 |
| A*B*C | 3 | 0.900 | 0.300 | 0.14 | 0.937 |
| Error | 64 | 140.000 | 2.188 | | |
| Total | 79 | 162.750 | | | |

4.4.3.1 ตรวจสอบอิทธิพลของปัจจัยที่ 1 คือ ปริมาณสารคู่ควบ

$H_0$ คือ ปริมาณสารคู่ควบไม่มีผลกระทบต่อสมบัติความแข็ง

$H_1$ คือ ปริมาณสารคู่ควบมีผลกระทบต่อสมบัติความแข็ง

ค่านัยสำคัญ = 0.708 > 0.05 จึงปฏิเสธ $H_1$ ยอมรับ $H_0$ นั่นคือ ปริมาณสารคู่ควบมีผลกระทบต่อสมบัติความแข็ง ปริมาณสารคู่ควบแตกต่างกันให้สมบัติสมบัติความแข็งที่แตกต่างกัน

4.4.3.2 ตรวจสอบอิทธิพลของปัจจัยที่ 2 คือ ชนิดของเส้นใย

$H_0$ คือ ชนิดของเส้นใยไม่มีผลกระทบต่อสมบัติความแข็ง

$H_1$ คือ ชนิดของเส้นใยมีผลกระทบต่อสมบัติความแข็ง

ค่านัยสำคัญ = 0.763 > 0.05 จึงปฏิเสธ $H_1$ ยอมรับ $H_0$ นั่นคือ ชนิดของเส้นใยไม่มีผลกระทบต่อสมบัติความแข็ง ชนิดของเส้นใยแตกต่างกันให้สมบัติสมบัติความแข็งที่แตกต่างกัน

4.4.3.3 ตรวจสอบอิทธิพลของปัจจัยที่ 3 คือ การทดสอบการบ่มด้วยความร้อน

$H_0$ คือ การทดสอบการบ่มด้วยความร้อนไม่มีผลกระทบต่อสมบัติความแข็ง

$H_1$ คือ การทดสอบการบ่มด้วยความร้อนมีผลกระทบต่อสมบัติความแข็ง

ค่านัยสำคัญ = 0.013 < 0.05 จึงปฏิเสธ $H_0$ ยอมรับ $H_1$ นั่นคือ การทดสอบการบ่มด้วยความร้อนมีผลกระทบต่อสมบัติความแข็ง

4.4.3.4 ตรวจสอบอิทธิพลของผลกระทบร่วมของปริมาณสารคู่ควบและชนิดของเส้นใย

$H_0$ คือ ปริมาณสารคู่ควบและชนิดของเส้นใยไม่มีผลกระทบร่วมกันต่อสมบัติความแข็ง

$H_1$ คือ ปริมาณสารคู่ควบ และชนิดของเส้นใยมีผลกระทบร่วมต่อสมบัติความแข็ง

ค่านัยสำคัญ = 0.997 > 0.05 จึงปฏิเสธ $H_1$ ยอมรับ $H_0$ นั่นคือ ผลกระทบร่วมของปริมาณสารคู่ควบ และชนิดของเส้นใยไม่มีผลกระทบร่วมกันต่อสมบัติความแข็ง

4.4.3.5 ตรวจสอบอิทธิพลของผลกระทบร่วมของปริมาณสารคู่ควบ และการบ่มด้วยความร้อน

$H_0$ คือ ปริมาณสารคู่ควบ และการบ่มด้วยความร้อนไม่มีผลกระทบร่วมกันต่อสมบัติความแข็ง

$H_1$ คือ ปริมาณสารคู่ควบ และการบ่มด้วยความร้อนมีผลกระทบร่วมกันต่อสมบัติความแข็ง

ค่านัยสำคัญ = 0.626 > 0.05 จึงปฏิเสธ $H_1$ ยอมรับ $H_0$ นั่นคือ ผลกระทบร่วมของปริมาณสารคู่ควบ และการบ่มด้วยความร้อนไม่มีผลกระทบร่วมกันต่อสมบัติความแข็ง

4.4.3.6 ตรวจสอบอิทธิพลของผลกระทบร่วมของชนิดของเส้นใย และการบ่มด้วยความร้อน

$H_0$ คือ ชนิดของเส้นใยและการบ่มด้วยความร้อนไม่มีผลกระทบร่วมกันต่อสมบัติความแข็ง

$H_1$ คือ ชนิดของเส้นใย และการบ่มด้วยความร้อนมีผลกระทบร่วมกันต่อสมบัติความแข็ง

ค่านัยสำคัญ = 0.763 > 0.05 จึงปฏิเสธ $H_1$ ยอมรับ $H_0$ นั่นคือ ผลกระทบร่วมของ ชนิดของเส้นใย และการบ่มด้วยความร้อนไม่มีผลกระทบร่วมกันต่อสมบัติความแข็ง

4.4.3.7 ตรวจสอบอิทธิพลของผลกระทบร่วมของ ปริมาณสารคู่ควบ ชนิดของเส้นใย และการบ่มด้วยความร้อน

$H_0$ คือ ปริมาณสารคู่ควบ ชนิดของเส้นใยและการบ่มด้วยความร้อนไม่มีผลกระทบร่วมกันต่อสมบัติความแข็ง

$H_1$ คือ ปริมาณสารคู่ควบ ชนิดของเส้นใย และการบ่มด้วยความร้อนมีผลกระทบร่วมกันต่อสมบัติความแข็ง

ค่านัยสำคัญ = 0.937 > 0.05 จึงปฏิเสธ $H_1$ ยอมรับ $H_0$ นั่นคือ ผลกระทบร่วมของปริมาณสารคู่ควบ ชนิดของเส้นใย และการบ่มด้วยความร้อนไม่มีผลกระทบร่วมกันต่อสมบัติความแข็ง

## 4.5 การวิเคราะห์ผลทางสถิติจากข้อมูลการทดสอบ

การวิเคราะห์ผลของสมบัติเชิงกลที่ได้จากการทดลอง โดยการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปซึ่งประกอบด้วย แผนภูมิกราฟดังนี้

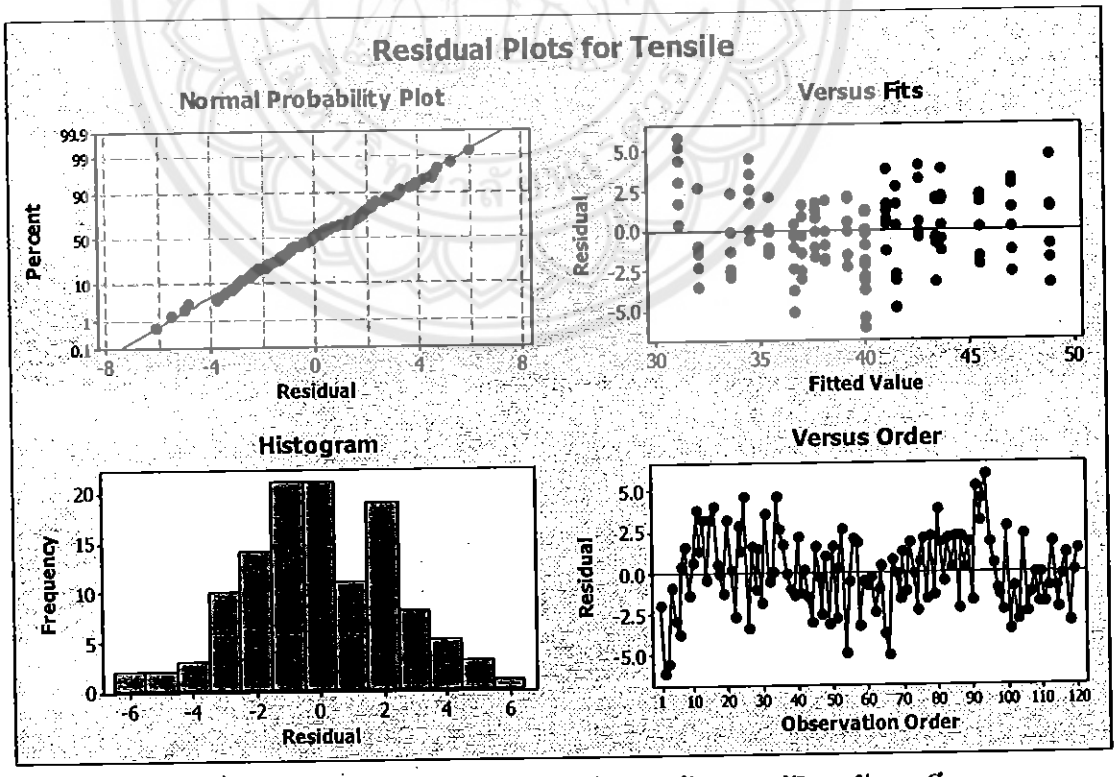
4.5.1 Normal Probability plot เป็นแผนภูมิกราฟแสดงค่าการกระจายตัวของข้อมูลส่วนตกค้าง จุดที่แสดงบนกราฟจะเรียงตัวเป็นลักษณะเส้นตรง มีการกระจายตัวหนาแน่นบริเวณศูนย์ซึ่งจะสามารถ สรุปได้ว่า ข้อมูลส่วนที่ตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ

4.5.2 Residuals Versus เป็นแผนภูมิกราฟที่ใช้ในการตรวจสอบลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลส่วนที่ตกค้างในแต่ละช่วง ซึ่งควรมีลักษณะกระจายตัวใกล้ๆ กัน ลักษณะของแผนภูมิกราฟควรกระจายรอบค่าศูนย์

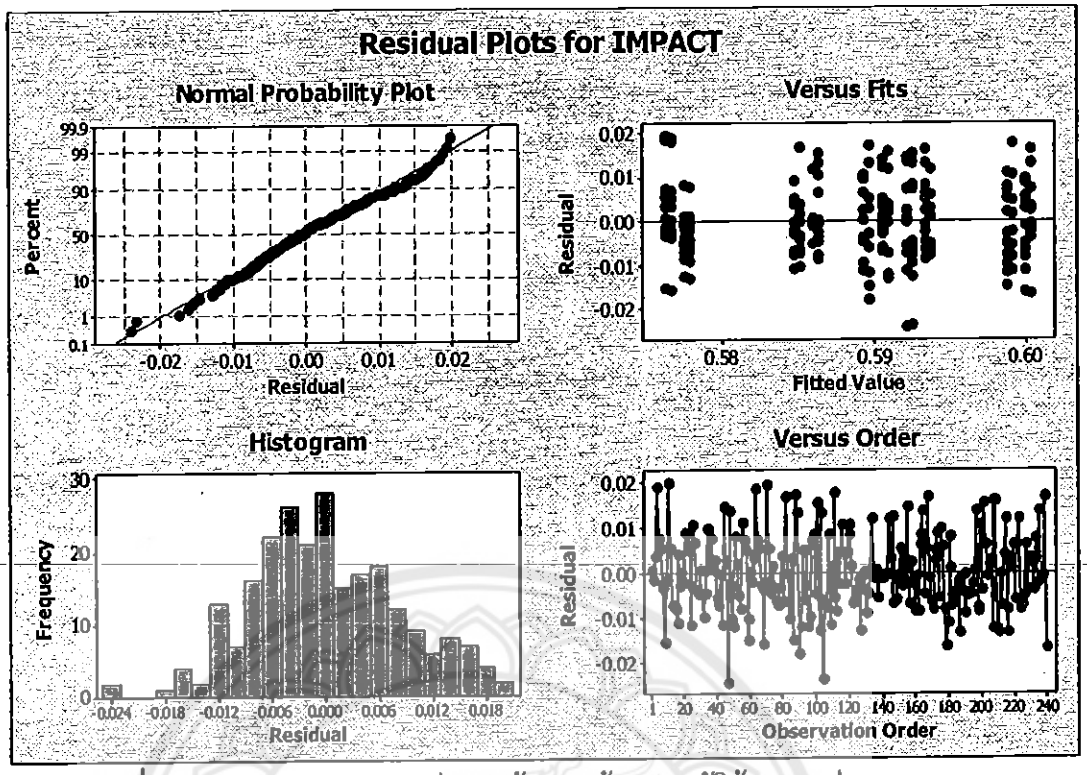
4.5.3 Histogram เป็นแผนภูมิกราฟที่ใช้ตรวจสอบการกระจายตัวแบบปกติของข้อมูลตกค้าง ซึ่งกราฟฮิสโตแกรมควรมีรูปทรงสมมาตร เป็นรูประฆังคว่ำและมีการกระจายตัวแบบสุ่มรอบค่าศูนย์

4.5.4 Versus Order เป็นแผนภูมิกราฟที่ใช้ตรวจสอบข้อมูลส่วนตกค้างเทียบกับเวลา ในการเก็บข้อมูลซึ่งอาจมีค่าที่เปลี่ยนแปลง ซึ่งบนแผนภูมิกราฟควรมีการกระจายตัวขึ้นลงอย่างสม่ำเสมอ ไม่ควรปรากฏแนวโน้มอย่างชัดเจน

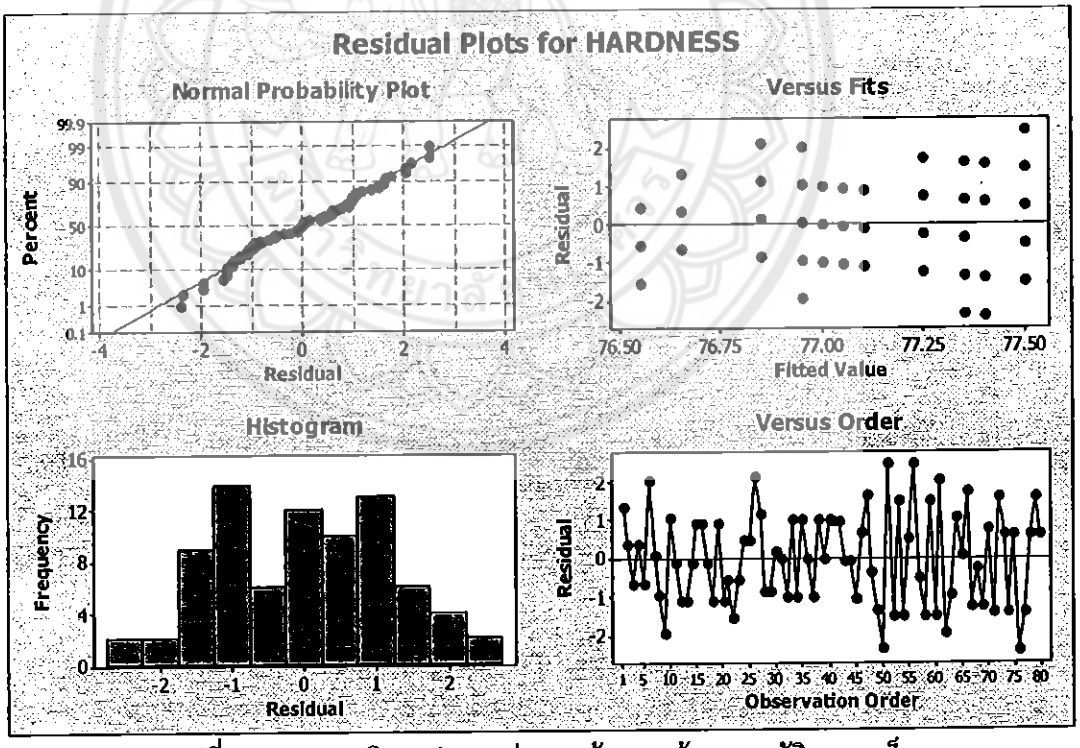
ข้อมูลสมบัติการรับแรงดึง สมบัติต้านทานต่อแรงกระแทกและสมบัติความแข็งของชิ้นงานทดสอบ เมื่อนำมาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติได้ดังนี้




รูปที่ 4.15 แผนภูมิกราฟแสดงส่วนตกค้างของข้อมูลสมบัติการรับแรงดึง




รูปที่ 4.16 แผนภูมิกราฟแสดงส่วนตกค้างของข้อมูลสมบัติต้านทานต่อแรงกระแทก




รูปที่ 4.17 แผนภูมิกราฟแสดงส่วนตกค้างของข้อมูลสมบัติความแข็ง

จากข้อมูลผลการทดสอบสมบัติการรับแรงดึง สมบัติต้านทานต่อแรงกระแทก และความแข็ง เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรมทางสถิติ พบว่า แผนภูมิกราฟที่แสดงตรงตามลักษณะของแผนภูมิที่เชื่อถือได้ ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า ข้อมูลผลการทดสอบสมบัติเชิงกล มีค่าเชื่อถือได้

# บทที่ 5
# บทสรุปและข้อเสนอแนะ

## 5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 การศึกษาสมบัติเชิงกล ได้แก่ สมบัติการรับแรงดึง ความต้านทานต่อแรงกระแทกและความแข็ง ของพอลิแลกติกแอซิดคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยจากกาบกล้วยน้ำว้าและชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 เมื่อเติมสารคู่ควบในกลุ่มไซเลนที่ปริมาณต่างๆ

สมบัติการรับแรงดึงของพอลิแลกติกแอซิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยด้วยเส้นใยจากกาบกล้วยน้ำว้า และชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 มีค่าเพิ่มสูงขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณสารคู่ควบ เมื่อเทียบกับพลาสติกชีวภาพ PLA บริสุทธิ์ โดยพอลิแลกติกแอซิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยด้วยเส้นใยจากกาบกล้วยน้ำว้าให้ค่าที่สูงกว่าชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50

สมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทกของพอลิแลกติกแอซิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยจากกาบกล้วยน้ำว้าและชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 มีค่าเพิ่มสูงขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณสารคู่ควบและสูงกว่าเมื่อเทียบกับพลาสติกชีวภาพ PLA บริสุทธิ์ โดยพอลิแลกติกแอซิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยด้วยเส้นใยจากกาบกล้วยน้ำว้า และชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 มีค่าใกล้เคียงกัน

สมบัติความแข็งของพอลิแลกติกแอซิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยด้วยเส้นใยจากกาบกล้วยน้ำว้า และชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 มีค่าโดยประมาณค่อนข้างคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเพิ่มปริมาณสารคู่ควบ โดยพอลิแลกติกแอซิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยด้วยเส้นใยจากกาบกล้วยน้ำว้าและชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 มีค่าใกล้เคียงกัน

5.1.2 การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อสมบัติเชิงกล ได้แก่ สมบัติการรับแรงดึง ความต้านทานต่อแรงกระแทกและความแข็งของพอลิแลกติกแอซิดคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยจากกาบกล้วยน้ำว้าและชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 เมื่อเติมสารคู่ควบในกลุ่มไซเลนที่ปริมาณต่างๆภายหลังการทดสอบการบ่มด้วยความร้อน

สมบัติการรับแรงดึงของพอลิแลกติกแอซิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยด้วยเส้นใยจากกาบกล้วยน้ำว้าและชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 และพลาสติกชีวภาพ PLA บริสุทธิ์ มีค่าลดลงหลังผ่านการทดสอบการบ่มด้วยความร้อน พอลิแลกติกแอซิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยด้วยเส้นใยจากกาบกล้วยน้ำว้ามีค่าลดลงมากกว่าพอลิแลกติกแอซิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยด้วยเส้นใยชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50

สมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทกของพอลิแลกติกแอซิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยด้วยเส้นใยจากกาบกล้วยน้ำว้าและชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 มีค่าเพิ่มสูงขึ้นหลังการทดสอบการบ่มด้วยความร้อน พลาสติกชีวภาพ PLA บริสุทธิ์ มีค่าลดลงหลังการทดสอบการบ่มด้วยความร้อน

สมบัติความแข็งของพอลิแลกติกแอซิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยด้วยเส้นใยจากกาบกล้วยน้ำว้าและชานอ้อยพันธุ์สุพรรณ 50 มีค่าลดลงใกล้เคียงกัน พลาสติกชีวภาพ PLA บริสุทธิ์มีค่าลดลงมากที่สุด

5.1.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์ผลการทดลอง 4.4.1- 4.4.3 สามรถสรุปผลได้ว่า

ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติการรับแรงดึงคือ ปริมาณสารคู่ควบ ชนิดของเส้นใย และการทดสอบการบ่มด้วยความร้อน

ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติการรับแรงกระแทกคือ ปริมาณสารคู่ควบและการทดสอบการบ่มด้วยความร้อน

ปัจจัยที่มีผลต่อความแข็งคือ การทดสอบการบ่มด้วยความร้อน

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การเตรียมเส้นใยมีวิธีการที่หลากหลาย ผู้ที่ทำการศึกษาควรเลือกวิธีที่เหมาะสมกับหัวข้อการศึกษาและระยะเวลาที่มี

5.2.2 การเลือกสารคู่ควบที่ใช้ในการทดลอง ผู้ศึกษาควรศึกษาให้แน่ชัดโดยสารคู่ควบที่ใช้ต้องสามารถเข้ากับวัสดุเนื้อหลักและวัสดุเสริมแรง

5.2.3 ผู้ศึกษาควรทำการทดลองเพื่อหาอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการใช้เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding)

5.2.4 ผู้ทำการศึกษาควรศึกษาวิธีการใช้งานเครื่องทดสอบสมบัติเชิงกลต่างๆให้แน่ชัด เพื่อผลการทดลองที่ถูกต้อง

5.2.5 ผู้ทำการศึกษาควรศึกษาในเรื่องมาตรฐานการทดสอบสมบัติเชิงกลที่เป็นสากล

5.2.6 ในการทดสอบชิ้นงานมักจะมีความผิดพลาดเกิดขึ้นเสมอ จึงควรเตรียมชิ้นงานทดสอบไว้เผื่อความผิดพลาด

5.2.7 เนื่องจากต้องใช้เครื่องมือในทดลองและการทดสอบ จึงควรวางแผนการใช้งานไว้ล่วงหน้า

5.2.8 ในการนำชิ้นงานออกจากตู้ที่มีความร้อน ควรระวังการบิดงอจากการอ่อนตัวของชิ้นงาน

5.2.9 การวิเคาะห์ข้อมูล ควรศึกษาเพื่อเลือกใช้โปรแกรมสำเร็จรูปช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อความสะดวกและความถูกต้องของข้อมูล

5.2.10 ผู้ที่ต้องการศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องสมบัติเชิงกลของพอลิแลกติกแอซิดคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใย เพื่อให้ทราบถึงลักษณะการเสริมแรงของเส้นใย ผู้ศึกษาควรใช้ เครื่องมือทดสอบที่มีกำลังขยายสูง เช่น กล้องไมโครสโคป เพื่อให้ลักษณะของการเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่ ซึ่งจะทำให้สามารถวิเคราะห์ผลได้มากขึ้น

# เอกสารอ้างอิง


กุลประภา กลุ่มรักษ์โลก [นามแฝง] . (2551). **พลาสติกชีวภาพ ย่อยสลายได้เพื่อสิ่งแวดล้อม.**

จุฑามาส สานต๊ะ และมณีรัตน์ แซ่อ่อง .(2552). **ผลของการใช้เส้นใยจากพืชต่อสมบัติของคอมโพ-**
**-สิตชีวภาพ. :** ปริญญานิพนธ์ วศบ.,มหาวิทยาลัยนเรศวร ,พิษณุโลก

จินตมัย สุวรรณประทีป. (2547). **การทดสอบสมบัติเชิงกลของพลาสติก. :** สมาคมส่งเสริม
เทคโนโลยี (ส.ส.ท.).

จิรพรรณ หน่ายคอน และมาริสา ตันติลักขณา. (2541). **วัสดุคอมโพสิตจากพอลิเมอร์ผสม**
**ระหว่างพอลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับพอลิพอพีลีนและเส้นใยอ้อย. :** วิทยานิพนธ์
วทม., สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.,กรุงเทพมหานคร

ชัยณรงค์ รัตนกรีฑากุล. (2547). **วัสดุย่อยสลายได้ทางชีวภาพกับการใช้ประโยชน์ในปัจจุบัน.**

นันทพร พันธุ์ภักดี และเรวดี สกุลอาริยะ. (2540). **วัสดุคอมโพสิตจากโพลีโพพิลีนและเส้นใย**
**อ้อย. :** วิทยานิพนธ์ปริญญา วทบ., สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
,กรุงเทพมหานคร

นิทัศน์ จิระอรุณ. (2542). **วัสดุพอลิเมอร์. :** ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.,เชียงใหม่

บุญรักษ์ กาญจนวรวณิชย์. (2545). โพลิเมอร์คอมโพสิต .กรุงเทพมหานคร. : ศูนย์เทคโนโลยีโลหะ
และวัสดุแห่งชาติ.

บุษรา สร้อยระย้า. **การใช้ประโยน์จากกล้วย.** สืบค้น 5 กรกฎาคม 2553,จาก
http://www.ku.ac.th/e-agazine/november45/agri/banana.html

ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา. (2551). **การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง . : ภาควิชา**
วิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ปรีชา พหลเทพ. (2533). พอลิเมอร์. (พิมพ์ครั้งที่ 4). กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัย
รามคำแหง.

สุปราณี แสงทอง. (2549). **การปรับปรุงผิวเส้นใยธรรมชาติโดยใช้ปฏิกิริยาแอดไมเซลลาพอลิเมอ**
**ไร เซชันสำหรับทำวัสดุประกอบ.วิทยานิพนธ์** วศ.ม.,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนคร
เหนือ.,กรุงเทพมหานคร

เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์.(2545) **วิทยศาสตร์โพลิเมอร์ 1.** ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อัจฉรา แสงทนต์ และ นิทัศน์ จิระอรุณ .(2548). **ผลของเส้นใยชานอ้อยต่อสมบัติเชิงกลของขวดน้ำ**
**ดื่มพอลีเอทิลีนความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่. :** วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัย
เชียงใหม่,เชียงใหม่

# เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

อรอุษา สรวารี (2546). **สารเติมแต่งพอลิเมอร์ เล่ม 1.** : กรุงเทพมหานคร. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Park, B. and Balatinecz, J.J. (1998). Short Tern Flexulral Creep Behaveior of wood fiber/Polypropylene Composites. Polymer Composites. University of Toron.

Wambua, P., Ivens, J. and Verpoest, I. (2003). **Natural fibers: can they replace glass in Fibre reinforced plastics.** Composites Science and Technology.

# ภาคผนวก ก

## ตารางการบันทึกผลการทดสอบสมบัติแรงดึง สมบัติต้านทานต่อแรงกระแทก สมบัติความแข็ง และหลังการทดสอบการบ่มด้วยความร้อน

ตารางที่ ก.1 ตารางบันทึกผลการทดสอบสมบัติการรับแรงดึง

**ตารางบันทึกผลการทดสอบสมบัติการรับแรงดึง**

| ชนิดของเส้นใย | ปริมาณสารคู่ควบ (%wt) | Tensile Strength (MPa) | | | | | | เฉลี่ย (MPa) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ชิ้นที่ 1 | ชิ้นที่ 2 | ชิ้นที่ 3 | ชิ้นที่ 4 | ชิ้นที่ 5 | ชิ้นที่ 6 | |
| Pure PLA | - | 38.125 | 34.513 | 36.258 | 39.105 | 37.138 | 33.796 | 36.489 |
| กล้วยน้ำว้า | 0% | 41.405 | 42.607 | 39.645 | 41.597 | 44.791 | 42.289 | 42.056 |
| | 5% | 45.738 | 42.083 | 45.785 | 46.641 | 43.11 | 42.42 | 44.296 |
| | 10% | 45.737 | 50.27 | 47.146 | 44.378 | 49.911 | 48.366 | 47.635 |
| | 20% | 53.624 | 45.493 | 50.463 | 47.943 | 50.361 | 47.119 | 49.167 |
| ขานอ้อย | 0% | 35.373 | 34.439 | 34.059 | 37.624 | 34.242 | 35.632 | 35.228 |
| | 5% | 35.552 | 34.002 | 38.624 | 36.676 | 34.429 | 37.969 | 36.209 |
| | 10% | 38.394 | 43.133 | 38.71 | 41.756 | 44.203 | 36.64 | 40.473 |
| | 20% | 42.902 | 45.398 | 45.256 | 40.165 | 42.871 | 42.563 | 43.193 |

ตารางที่ ก.1 ตารางบันทึกผลการทดสอบสมบัติการรับแรงดึง

ตารางที่ ก.2 ตารางบันทึกผลการทดสอบสมบัติต้านทานต่อแรงกระแทก

| ตารางบันทึกผลการทดสอบสมบัติต้านทานต่อแรงกระแทก | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ชนิดของเส้นใย | ปริมาณสารคู่ควบ (%wt) | ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทก (J/mm²) | | | | | | | | | | | | เฉลี่ย(J/mm²) |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
| Pure PLA | - | 0.577 | 0.575 | 0.58 | 0.595 | 0.584 | 0.582 | 0.574 | 0.573 | 0.561 | 0.575 | 0.596 | 0.582 | 0.579 |
| กล้วยน้ำว้า | 0% | 0.578 | 0.578 | 0.577 | 0.574 | 0.589 | 0.582 | 0.585 | 0.583 | 0.594 | 0.59 | 0.594 | 0.582 | 0.584 |
| | 5% | 0.578 | 0.6 | 0.596 | 0.586 | 0.585 | 0.59 | 0.585 | 0.58 | 0.59 | 0.585 | 0.599 | 0.592 | 0.589 |
| | 10% | 0.6 | 0.593 | 0.595 | 0.587 | 0.585 | 0.592 | 0.592 | 0.581 | 0.607 | 0.595 | 0.568 | 0.606 | 0.592 |
| | 20% | 0.589 | 0.587 | 0.596 | 0.607 | 0.601 | 0.594 | 0.591 | 0.61 | 0.606 | 0.604 | 0.584 | 0.589 | 0.596 |
| ชานอ้อย | 0% | 0.581 | 0.587 | 0.582 | 0.579 | 0.579 | 0.578 | 0.582 | 0.589 | 0.579 | 0.602 | 0.585 | 0.575 | 0.583 |
| | 5% | 0.593 | 0.593 | 0.575 | 0.607 | 0.603 | 0.572 | 0.578 | 0.595 | 0.584 | 0.587 | 0.595 | 0.578 | 0.588 |
| | 10% | 0.583 | 0.6 | 0.601 | 0.588 | 0.608 | 0.58 | 0.606 | 0.587 | 0.569 | 0.586 | 0.585 | 0.601 | 0.591 |
| | 20% | 0.588 | 0.601 | 0.594 | 0.617 | 0.591 | 0.604 | 0.597 | 0.61 | 0.604 | 0.597 | 0.604 | 0.61 | 0.601 |

ตารางที่ ก.3 ตารางบันทึกผลการทดสอบความแข็ง

| ตารางบันทึกผลการทดสอบความแข็ง | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ชนิดของเส้นใย | ปริมาณสารคู่ควบ (%wt) | Hardness (Shore) | | | | | เฉลี่ย (Shore) |
| | | ชิ้นที่ 1 | ชิ้นที่ 2 | ชิ้นที่ 3 | ชิ้นที่ 4 | ชิ้นที่ 5 | |
| Pure PLA | - | 75 | 72 | 76 | 74 | 76 | 74.6 |
| กล้วยน้ำว้า | 0% | 78 | 78 | 77 | 77 | 76 | 77.2 |
| | 5% | 78 | 79 | 77 | 76 | 75 | 77 |
| | 10% | 80 | 76 | 79 | 76 | 78 | 77.8 |
| | 20% | 80 | 77 | 76 | 79 | 76 | 77.6 |
| ชานอ้อย | 0% | 79 | 75 | 76 | 78 | 77 | 77 |
| | 5% | 79 | 76 | 77 | 76 | 78 | 77.2 |
| | 10% | 76 | 79 | 78 | 76 | 78 | 77.4 |
| | 20% | 75 | 76 | 78 | 79 | 78 | 77.2 |

ตารางที่ ก.4 ตารางบันทึกผลการทดสอบสมบัติการรับแรงดึงหลังการบ่มด้วยความร้อน

| ตารางบันทึกผลการทดสอบสมบัติการรับแรงดึงหลังการบ่มด้วยความร้อน | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ชนิดของเส้นใย | ปริมาณสารคู่ควบ (%wt) | Tensile Strength (MPa) | | | | | | เฉลี่ย (MPa) |
| | | ชิ้นที่ 1 | ชิ้นที่ 2 | ชิ้นที่ 3 | ชิ้นที่ 4 | ชิ้นที่ 5 | ชิ้นที่ 6 | |
| Pure PLA | - | 36.386 | 34.244 | 35.615 | 37.066 | 32.911 | 31.10 | 34.554 |
| กล้วยน้ำว้า | 0% | 38.361 | 37.508 | 35.947 | 38.868 | 36.503 | 39.367 | 37.759 |
| | 5% | 39.126 | 36.881 | 39.736 | 41.168 | 37.571 | 41.325 | 39.301 |
| | 10% | 42.290 | 47.474 | 45.504 | 43.055 | 45.749 | 43.947 | 44.67 |
| | 20% | 47.697 | 43.348 | 47.758 | 45.755 | 47.330 | 43.812 | 45.95 |
| ชานอ้อย | 0% | 31.056 | 30.669 | 29.738 | 34.813 | 28.548 | 31.103 | 30.988 |
| | 5% | 30.755 | 31.121 | 35.941 | 31.237 | 32.352 | 33.538 | 32.491 |
| | 10% | 36.231 | 37.985 | 36.324 | 37.222 | 40.056 | 36.530 | 37.391 |
| | 20% | 37.817 | 39.860 | 41.095 | 36.919 | 39.579 | 41.337 | 39.434 |

ตารางที่ ก.5 ตารางบันทึกผลการทดสอบสมบัติด้านทานต่อแรงกระแทกหลังการบ่มด้วยความร้อน

| ตารางบันทึกผลการทดสอบสมบัติด้านทานต่อแรงกระแทกหลังการบ่มด้วยความร้อน | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ชนิดของเส้นใย | ปริมาณสารคู่ควบ (%wt) | ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทก (J/mm²) | | | | | | | | | | | | . เฉลี่ย (J/mm²) |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
| Pure PLA | - | 0.572 | 0.574 | 0.576 | 0.586 | 0.577 | 0.574 | 0.578 | 0.569 | 0.571 | 0.579 | 0.573 | 0.565 | 0.575 |
| กล้วยน้ำว้า | 0% | 0.586 | 0.585 | 0.581 | 0.598 | 0.585 | 0.598 | 0.585 | 0.585 | 0.586 | 0.587 | 0.586 | 0.587 | 0.587 |
| | 5% | 0.594 | 0.584 | 0.603 | 0.59 | 0.585 | 0.59 | 0.596 | 0.588 | 0.594 | 0.589 | 0.605 | 0.592 | 0.593 |
| | 10% | 0.6 | 0.593 | 0.599 | 0.585 | 0.585 | 0.602 | 0.596 | 0.589 | 0.607 | 0.591 | 0.587 | 0.61 | 0.595 |
| | 20% | 0.599 | 0.594 | 0.592 | 0.603 | 0.605 | 0.609 | 0.595 | 0.61 | 0.606 | 0.592 | 0.584 | 0.589 | 0.598 |
| ชานอ้อย | 0% | 0.582 | 0.582 | 0.584 | 0.587 | 0.6 | 0.578 | 0.579 | 0.597 | 0.583 | 0.602 | 0.593 | 0.586 | 0.588 |
| | 5% | 0.593 | 0.594 | 0.579 | 0.607 | 0.579 | 0.578 | 0.591 | 0.607 | 0.584 | 0.595 | 0.603 | 0.578 | 0.591 |
| | 10% | 0.587 | 0.6 | 0.595 | 0.6 | 0.6 | 0.586 | 0.606 | 0.587 | 0.586 | 0.588 | 0.589 | 0.597 | 0.593 |
| | 20% | 0.584 | 0.597 | 0.6 | 0.617 | 0.599 | 0.604 | 0.597 | 0.598 | 0.614 | 0.603 | 0.604 | 0.608 | 0.602 |

ตารางที่ ก.6 ตารางบันทึกผลการทดสอบความแข็งหลังการบ่มด้วยความร้อน

| ตารางบันทึกผลการทดสอบความแข็งหลังการบ่มด้วยความร้อน | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ชนิดของเส้นใย | ปริมาณสารคู่ควบ (%w/t) | Hardness (Shore) | | | | | เฉลี่ย (Shore) |
| | | ชิ้นที่ 1 | ชิ้นที่ 2 | ชิ้นที่ 3 | ชิ้นที่ 4 | ชิ้นที่ 5 | |
| Pure PLA | - | 75 | 72 | 76 | 74 | 76 | 74.6 |
| กล้วยน้ำว้า | 0% | 78 | 78 | 77 | 77 | 76 | 77.2 |
| | 5% | 78 | 79 | 77 | 76 | 75 | 77 |
| | 10% | 80 | 76 | 79 | 76 | 78 | 77.8 |
| | 20% | 80 | 77 | 76 | 79 | 76 | 77.6 |
| ชานอ้อย | 0% | 79 | 75 | 76 | 78 | 77 | 77 |
| | 5% | 79 | 76 | 77 | 76 | 78 | 77.2 |
| | 10% | 76 | 79 | 78 | 76 | 78 | 77.4 |
| | 20% | 75 | 76 | 76 | 78 | 79 | 77.2 |

# ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน

ชื่อ นายสมภพ โนติ๊บ
ภูมิลำเนา 12 หมู่ 8 ต.สถาน อ.นาน้อย จ.น่าน 55150
ประวัติการศึกษา
- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนนาน้อย
ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
- สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
E-mail: Sp.notip@gmail.com

ชื่อ นายมงคล กาศมณี
ภูมิลำเนา 38 หมู่ 3 ต.แม่ปืม อ.เมือง จ.พะเยา 56000
ประวัติการศึกษา
- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนพะเยาพิทยาคม
ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
- สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: Sey_hiha@hotmail.com