

การพัฒนาการอัดขึ้นรูปกระถางต้นไม้จากผักตบชวา
DEVELOPMENT OF WATER HYACINTH PLANT POT
BY COMPRESSION MOLDING PROCESS




นายฐานุเดช ไพฑูรย์ ณ ออยุธยา
MR. THANUDET PHAITHOON NA AYUTHAYA
นายณัชพล อักษรเจริญสุข
MR. NUTCHAPOL AKSORNCHAROENSUK
นายธนโชติ แนนขุนทด
MR. TANACHOT NAMKHUNTOD

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF WATER HYACINTH PLANT POT BY COMPRESSION MOLDING PROCESS



MR. THANUDET PHAITHOON NA AYUTHAYA
MR. NUTCHAPOL AKSORNCHAROENSUK
MR. TANACHOT NAMKHUNTOD

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INDUSTRIAL ENGINEERING
SCHOOL OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2023

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์

การพัฒนาการอัดขึ้นรูปกระถางต้นไม้จากผักตบชวา
DEVELOPMENT OF WATER HYACINTH PLANT POT
BY COMPRESSION MOLDING PROCESS

นักศึกษา

นายฐานุเดช ไพฑูรย์ ณ อยุธยา รหัสประจำตัว 63010258
นายณัชพล อักษรเจริญสุข รหัสประจำตัว 63010293
นายธนโชติ แนมขุนทด รหัสประจำตัว 63010400

หลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์



(รศ.ดร.กรรณชัย กัลยาศิริ)

หัวข้อปริญญานิพนธ์

นักศึกษา

หลักสูตร

ปีการศึกษา

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

การพัฒนาการอัดขึ้นรูปกระถางต้นไม้จากผักตบชวา

นายฐานุเดช ไพฑูรย์ ณ อยุธยา

นายณัฏพล อักษรเจริญสุข

นายธนโชติ แนมขุนทด

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2566

รศ.ดร.กรรณชัย กัลยาศิริ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาการอัดขึ้นรูปกระถางต้นไม้จากผักตบชวา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำผักตบชวาที่เป็นวัชพืชภายในชุมชนมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดและเพื่อศึกษาส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างผักตบชวากับกาบแป้งมันสำปะหลัง 2 ชนิด ได้แก่ กาบ BESTAK D-545 WD และ กาบ BESTAK D-470 ที่ส่งผลต่อความแข็งแรงของวัสดุเชิงประกอบโดยใช้วิธีการออกแบบของผสม (Mixture Design) และทำการศึกษาอัตราส่วนระหว่างกาบแป้งมันสำปะหลัง 2 ชนิด ต่อผักตบชวาที่อัตราส่วนโดยน้ำหนัก 90:10, 85:15, 80:20, 75:25 และ 70:30 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ จากนั้นทำการทดสอบแรงดัดโค้งแบบ 3 จุด พบว่า อัตราส่วนผสมที่เหมาะสม คือ กาบ BESTAK D-545 WD 90 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักกับผักตบชวา 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยได้ค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงของชิ้นงานเท่ากับ 2.33 MPa และสุดท้ายทำการออกแบบแม่พิมพ์ ขึ้นรูปเป็นกระถางต้นไม้เพื่อทดลองใช้งานจริง และกระถางต้นไม้จากผักตบชวาสามารถใช้เป็นต้นแบบในการนำไปประยุกต์ใช้ได้ภายในชุมชนที่มีผักตบชวาเป็นจำนวนมากให้สามารถนำผักตบชวาไปใช้ประโยชน์อัดขึ้นรูปกระถางต้นไม้จากผักตบชวาได้ เพื่อใช้สำหรับปลูกพืชเองหรือจำหน่ายเพื่อเพิ่มรายได้ให้ชาวบ้านในชุมชน

Thesis Title	Development of Water Hyacinth Plant Pot By Compression Molding Process
Student	Mr. Thanudet Phaithoon Na Ayutthaya Mr. Nutchapol Aksorncharoensuk Mr. Tanachot Namkhuntod
Degree	Bachelor of Engineering in Industrial Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year	2023
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr. Kannachai Kanlayasiri

ABSTRACT

This research is a development of molded plant pots from water hyacinth with the objectives of maximizing the utilization of water hyacinth, a common weed in communities, and studying the suitable composition between water hyacinth and two types of tapioca starch glue, namely BESTAK D-545 WD and BESTAK D-470, in terms of their effect on the strength of the composite material using a Mixture Design approach. The proportions of the two types of glue were tested at weight ratios of 90:10, 85:15, 80:20, 75:25, and 70:30 percent, respectively. The strength test by three points bending revealed that the optimal mixture ratio was 90 percent by weight of BESTAK D-545 WD glue and 10 percent by weight of water hyacinth, resulting in an average bending strength of 2.33 MPa. Subsequently, a mold was designed to create the plant pots, which proved to be suitable for practical use. These plant pots made from water hyacinth can serve as a prototype for community applications, particularly in communities with plenty water hyacinth, enabling them to utilize the method of molding plant pots from water hyacinth for personal gardening or income generation within the community.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่อง “การพัฒนาการอัดขึ้นรูปกระดาษต้นไม้จากผักตบชวา” สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ข้าพเจ้าขอขอบคุณผู้มีส่วนเกี่ยวข้องที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำและตรวจทานแก้ไขข้อบกพร่อง กระทั่งโครงการฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.กรรณชัย กัลยาศิริ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่กรุณาในการแนะนำและเสนอแนวทางแก้ไขข้อบกพร่องระหว่างการศึกษาวิจัยด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างดี ทำให้โครงการฉบับนี้มีความถูกต้อง และสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ นายกำธร สุขพิมาย และนายสิทธิชัย บุญกิจ วิศวกร และเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ที่ให้ความรู้ คำแนะนำ ดูแลช่วยเหลือ และแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น ในการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์การทดลองและการทดสอบต่าง ๆ ระหว่างการศึกษาวิจัยจนกระทั่งสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คณะอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ที่ได้เสนอแนะ รวมถึงถ่ายทอดความรู้ และประสบการณ์ให้แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ เจ้าของหนังสือ ตำรา เอกสาร และงานวิจัยอ้างอิงต่าง ๆ ที่เขียนเรียบเรียง รวบรวมข้อมูล และความรู้ต่าง ๆ ไว้เป็นอย่างดี ทำให้เป็นประโยชน์ต่อการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ บริษัท เบสเทคเคมีคอล จำกัด ถ.เทพารักษ์ ต.เทพารักษ์ อ.เมืองสมุทรปราการ จ.สมุทรปราการ ที่ให้ความอนุเคราะห์กาวแป้งมันสำปะหลัง สำหรับการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่คอยอบรมสั่งสอน และ เพื่อนทุกคนที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกเรื่อง

นายฐานุเดช ไพฑูรย์ ณ อยุธยา
นายณัชพล อักษรเจริญสุข
นายธนโชติ แนนขุนทด

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.5 แผนการดำเนินงาน.....	3
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ผักตบชวา.....	4
2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของผักตบชวา.....	4
2.1.2 คุณสมบัติของเส้นใยผักตบชวา.....	5
2.2 กาวแป้งมันสำปะหลัง.....	6
2.2.1 มันสำปะหลัง.....	6
2.2.2 กาวจากธรรมชาติ.....	6
2.3 เครื่องทดสอบแรงดึง.....	7
2.3.1 หลักการทำงานของเครื่องทดสอบแรงดึง.....	7
2.4 การออกแบบการทดลอง.....	8
2.4.1 การออกแบบการทดลองแบบส่วนผสม.....	8

สารบัญ

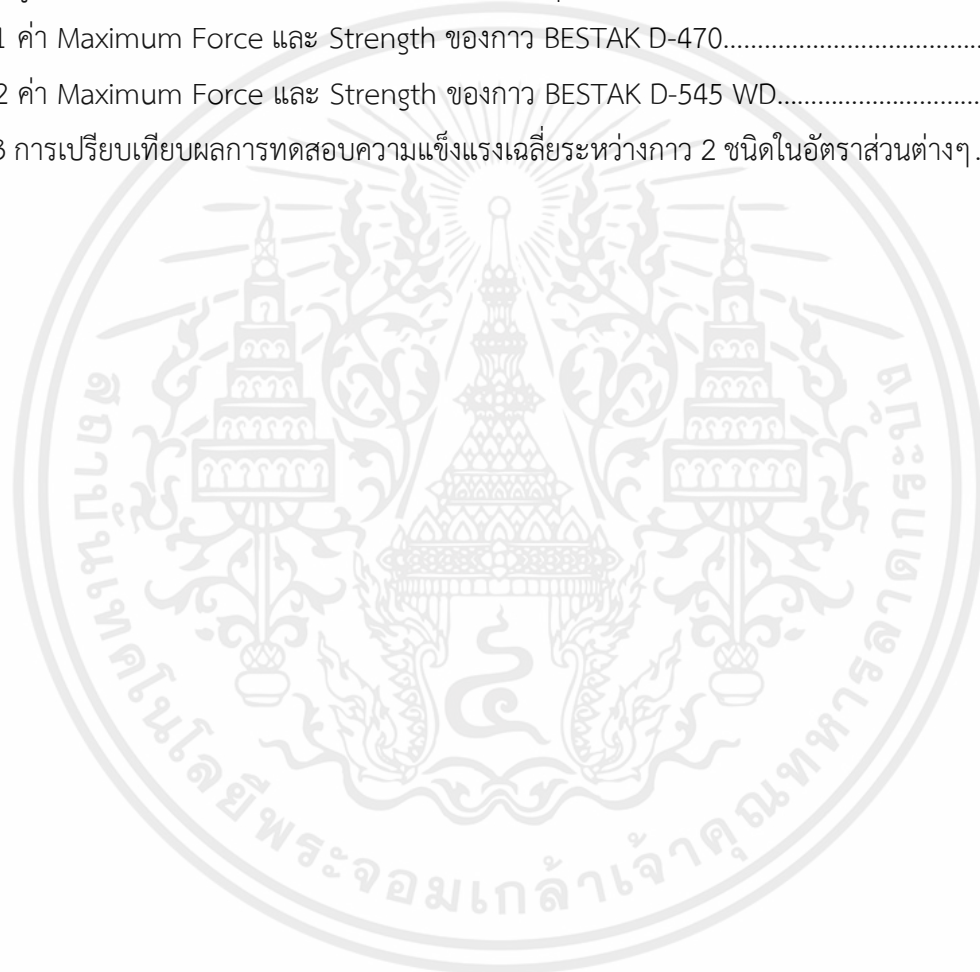
	หน้า
2.5 โปรแกรมซอลิดเวิร์กส์ (SolidWorks).....	10
2.6 สมบัติทางกลและการสอบ.....	10
2.6.1 สมบัติทางกล.....	10
2.6.2 การทดสอบแรงดัดโค้ง.....	12
2.6.3 Flexural Strength.....	13
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	
3.1 การออกแบบการทดลอง.....	15
3.2 การสร้างชิ้นงานต้นแบบ.....	16
3.2.1 วัสดุและอุปกรณ์.....	16
3.2.2 วิธีการทำชิ้นงานต้นแบบเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสม.....	16
3.3 การทดสอบแรงดัดโค้งแบบ 3 จุด.....	21
3.3.1 วัสดุและอุปกรณ์.....	21
3.3.2 วิธีการทดลอง.....	21
3.4 การขึ้นรูปกระถางต้นไม้ด้วยวิธีการอัดขึ้นรูป.....	22
3.4.1 วัสดุและอุปกรณ์.....	22
3.4.2 การออกแบบแม่พิมพ์.....	22
3.4.3 วิธีการขึ้นรูปกระถางต้นไม้.....	24
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย	
4.1 ผลการออกแบบการทดลอง.....	26
4.1.1 ผลการขึ้นรูปกระถางต้นไม้ด้วยวิธีการอัดขึ้นรูป.....	26
4.2 ผลการสร้างชิ้นงานต้นแบบ.....	27
4.3 ผลการทดสอบแรงดัดโค้งแบบ 3 จุด.....	27
4.3.1 กาว BESTAK D-470.....	27

สารบัญ

	หน้า
4.3.2 กาว BESTAK D-545 WD	30
4.3.3 ผลการเปรียบเทียบผลการทดสอบความแข็งแรง.....	32
4.4 ผลการขึ้นรูปกระดาษต้นไม้ด้วยวิธีการอัดขึ้นรูป	33
4.4.1 เส้นใยผักตบชวา กับกาว BESTAK D-545 WD ที่อัตราส่วน 90 : 10 โดยน้ำหนัก	33
4.4.2 ผลของความหนาของกันกระดาษที่แตกต่างกัน	34
4.5 อภิปรายผล.....	35
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงานวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการดำเนินการ	36
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	37
เอกสารอ้างอิง	38
ภาคผนวก ก.....	40
ภาคผนวก ข	43
ภาคผนวก ค.....	46

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน.....	3
ตารางที่ 2.1 สูตรการคำนวณในการทดสอบแรงดัดโค้งแบบ 3 จุด.....	13
ตารางที่ 4.1 ค่า Maximum Force และ Strength ของกาว BESTAK D-470.....	28
ตารางที่ 4.2 ค่า Maximum Force และ Strength ของกาว BESTAK D-545 WD.....	30
ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบผลการทดสอบความแข็งแรงเฉลี่ยระหว่างกาว 2 ชนิดในอัตราส่วนต่างๆ.....	32



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ผักตบชวา.....	5
รูปที่ 2.2 เครื่องทดสอบแรงดึง AG-X Series Shimadzu Precision Universal Tester.....	7
รูปที่ 2.3 แผนภาพจำลองการทดลองแบบซิมเพิลิกซ์แอกเซียล.....	9
รูปที่ 2.4 กราฟแสดงค่า Flexural Strength ของชิ้นงานที่มีหน้าตัดสี่เหลี่ยม.....	14
รูปที่ 3.1 การออกแบบการทดลอง โดยใช้แบบ Simple Lattice 2 องค์ประกอบ.....	15
รูปที่ 3.2 การกำหนดค่าอัตราส่วนโดยน้ำหนักสูงสุดและต่ำสุดของเส้นใยผักตบชวาและกาวแปงมันสำปะหลัง	16
รูปที่ 3.3 ส่วนลำต้นของผักตบชวา.....	17
รูปที่ 3.4 ส่วนใบของผักตบชวา	17
รูปที่ 3.5 การหั่นผักตบชวาให้มีขนาด 1 นิ้ว.....	17
รูปที่ 3.6 การปั่นผักตบชวาให้ละเอียด.....	18
รูปที่ 3.7 ผักตบชวาที่ถูกปั่นละเอียด.....	18
รูปที่ 3.8 การตากเส้นใยผักตบชวาให้แห้ง	18
รูปที่ 3.9 เส้นใยผักตบชวาที่ถูกเก็บในถุงซิปล็อค.....	19
รูปที่ 3.10 เส้นใยผักตบชวาแห้งที่สุ่มวัดขนาด.....	19
รูปที่ 3.11 แม่พิมพ์อลูมิเนียม.....	20
รูปที่ 3.12 เครื่องทดสอบแรงดัดโค้งแบบ 3 จุด AG-X Series Shimadzu Precision Universal Tester.....	21
รูปที่ 3.13 แท่งวางชิ้นงานทดสอบ.....	21
รูปที่ 3.14 ชิ้นงานขณะทำการทดสอบ.....	22
รูปที่ 3.15 ภาพจำลองการขึ้นรูปกระถาง.....	22
รูปที่ 3.16 แบบแม่พิมพ์ตัวผู้.....	23
รูปที่ 3.17 แบบแม่พิมพ์ตัวเมีย.....	23
รูปที่ 3.18 แม่พิมพ์ตัวผู้.....	23
รูปที่ 3.19 แม่พิมพ์ตัวเมีย.....	23
รูปที่ 3.20 การขึ้นรูปกระถางแบบปกติ.....	24
รูปที่ 3.21 การขึ้นรูปกระถางแบบเพิ่มความหนาของก้นกระถาง	25

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 4.2 อัตราส่วนระหว่างกาบ BESTAK D-545 WD และเส้นใยผักตบชวาที่ได้จากการออกแบบการทดลอง.....	27
รูปที่ 4.3 ชิ้นงานต้นแบบ.....	27
รูปที่ 4.4 กราฟ Boxplot ค่าความแข็งแรง ของกาบ BESTAK D-470	29
รูปที่ 4.5 การใช้ฟังก์ชัน Mixture Design วิเคราะห์หาอัตราส่วนที่เหมาะสมของกาบ BESTAK D-470.....	30
รูปที่ 4.6 กราฟ Boxplot ค่าความแข็งแรง ของกาบ BESTAK D-545 WD.....	31
รูปที่ 4.7 การใช้ฟังก์ชัน Mixture Design วิเคราะห์หาอัตราส่วนที่เหมาะสมของกาบ BESTAK D-545 WD.....	32
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลการทดสอบความแข็งแรงเฉลี่ยระหว่างกาบ 2 ชนิดในอัตราส่วนต่างๆ....	33
รูปที่ 4.9 ภาพกระถางต้นไม้	34
รูปที่ 4.10 ภาพการทดลองปลูกต้นไม้	34

บทที่ 1

บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของงานวิจัย เรื่องการพัฒนาการอัดขึ้นรูปกระดาษต้นไม้จากผักตบชวา ดังแสดงในหัวข้อต่อไปนี้

1. ที่มาและความสำคัญ
2. วัตถุประสงค์
3. ขอบเขตของปริญญานิพนธ์
4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ
5. แผนการดำเนินงาน

1.1 ที่มาและความสำคัญ

น้ำเป็นปัจจัยสำคัญในการดำรงชีวิตของคนและสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ เป็นแหล่งกำเนิดของสัตว์น้ำและพืชหลากหลายชนิด นอกจากนี้ น้ำยังมีประโยชน์ต่อเกษตรกรรม อุตสาหกรรม และช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์แก่สิ่งมีชีวิตได้ ในอดีตมนุษย์สามารถนำทรัพยากรน้ำจากแหล่งน้ำตามธรรมชาติมาใช้ประโยชน์ได้ แต่ปัจจุบันมีปัญหาด้านคุณภาพของน้ำ หรือมลพิษทางน้ำที่เกิดขึ้นจนไม่สามารถนำน้ำจากแหล่งน้ำตามธรรมชาติมาใช้ได้ ซึ่งปัญหาเหล่านี้เกิดขึ้นได้จากสาเหตุหลัก [1] คือ การเน่าเสียของแหล่งน้ำตามธรรมชาติเนื่องจากขาดออกซิเจน โดยส่วนมากเกิดจากการเพิ่มจำนวนแพลงก์ตอนและพืชลอยน้ำต่าง ๆ ซึ่งพืชลอยน้ำที่พบเห็นโดยทั่วไปและมีปริมาณมากในแหล่งน้ำธรรมชาติคือ ผักตบชวา [2]

ผักตบชวาเป็นวัชพืชที่ขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็วที่สุด มีเมล็ดถึง 5,000 เมล็ดต่อต้น และสามารถขยายพันธุ์ได้เร็วกว่า 30 วัน ผลกระทบจากการแพร่กระจายของผักตบชวาในแหล่งน้ำและแม่น้ำทำให้เกิดความเสียหายต่อสภาพแวดล้อม รวมถึงเป็นปัญหาที่มีผลกระทบต่อเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม ทั้งในด้านการชลประทานและการผลิตไฟฟ้า [3]

การกำจัดผักตบชวาเป็นหนึ่งในปัจจัยที่สำคัญในการบำบัดและการดูแลสวนพืช เนื่องจากผักตบชวา มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชที่เราปลูกได้อย่างมาก ดังนั้นเหตุผลหลักๆ ที่ทำให้การกำจัดผักตบชวาเป็นสิ่งสำคัญในการดูแลสวนพืชและควรถูกดำเนินการให้เหมาะสม ผักตบชวามีระบบรากที่แข็งแรงและมากมาย ซึ่งสามารถแย่งอาหารและน้ำที่เป็นสารอาหารสำคัญของพืชที่เราปลูกได้ [4] การเป็นวัชพืชชนิดนี้อาจทำให้พืชที่เราปลูกไม่ได้รับอาหารเพียงพอและมีโอกาสในการเจริญเติบโตน้อยลง ผักตบชวามีความสามารถในคุกคามพื้นที่ ทำให้

มีความเสี่ยงที่จะแย่งพื้นที่ในสวนพืชของเราได้ การคุกคามพื้นที่โดยผักตบชวาอาจทำให้พืชที่เราปลูกไม่สามารถขยายพื้นที่รากหรือรับน้ำได้อย่างเพียงพอ ผักตบชวาอาจทำหน้าที่เป็นแหล่งเชื้อโรคหรือแมลงที่สามารถทำลายพืชได้ การปล่อยให้ผักตบชวาเจริญเติบโตอย่างเต็มที่อาจส่งผลให้เกิดการแพร่ระบาดของโรคและแมลงในสวนพืช การกำจัดผักตบชวาเป็นวิธีหนึ่งในการควบคุมการเจริญเติบโตของวัชพืชที่ไม่พึงประสงค์ในสวนพืช เพื่อให้พืชที่เราปลูกได้รับประโยชน์สูงสุดและไม่ต้องแย่งทรัพยากรกับวัชพืช การกำจัดผักตบชวาเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการดูแลสวนพืช เพื่อให้พืชที่เราปลูกสามารถเจริญเติบโตและผลิตผลผลิตที่ดีได้อย่างไม่มีข้อจำกัดใดๆ และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการสวนพืชโดยรวมได้ [5]

การใช้ผักตบชวาในการทำกระถางต้นไม้เป็นวิธีที่สามารถใช้ประโยชน์จากวัชพืชที่มักถูกถือว่าเป็นสิ่งที่ไม่พึงประสงค์ได้ การใช้ผักตบชวาเป็นวัสดุทดแทนในการผลิตกระถางต้นไม้ช่วยลดการใช้งานพลาสติก ซึ่งเป็นวัสดุที่มีผลต่อสิ่งแวดล้อมเสียหายนานๆ การนำผักตบชวามาใช้ทำกระถางไม้ช่วยลดปริมาณของพลาสติกที่ใช้ในการผลิตและลดการสร้างขยะพลาสติกที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม [6] ผักตบชวามีคุณสมบัติทางกายภาพที่ดีสำหรับการใช้เป็นวัสดุในการทำกระถางต้นไม้ มันเป็นวัสดุที่เหนียวและทนทาน เมื่อผสมกับวัสดุประสานอื่น ๆ อาจทำให้ได้กระถางที่มีความแข็งแรงและทนทานต่อสภาพอากาศได้ดี อาจช่วยลดการใช้สารเคมีในกระบวนการผลิต ซึ่งสามารถส่งผลให้มีกระถางที่ปลอดภัยและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น การใช้ผักตบชวาในการทำกระถางต้นไม้เป็นตัวอย่างที่ดีในการส่งเสริมแนวคิดที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งอาจส่งเสริมให้คนอื่น ๆ ตัดสินใจใช้วัสดุทดแทนที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในการผลิตสิ่งต่าง ๆ อีกเช่นกัน [7]

จากปัญหาที่เกิดขึ้นการใช้ประโยชน์จากผักตบชวาที่มีผลต่อสภาพแวดล้อมนั้นเป็นทางเลือกที่เหมาะสมโดยมีคุณสมบัติเฉพาะของก้านผักตบชวาที่แห้ง เช่น ความเหนียวและความทนทาน ซึ่งเป็นเหตุผลว่าทำไมผักตบชวาได้ถูกนำมาใช้ในการขึ้นรูปกระถางต้นไม้ เพื่อลดการใช้วัสดุและการผลิตที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยใช้ผักตบชวาเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตวัสดุต้นแบบ และใช้กาวออร์แกนิกจากธรรมชาติเป็นตัวประสาน เพื่อลดการใช้วัสดุที่ทำลายธรรมชาติและการใช้สารเคมี โดยมีการปรับเปลี่ยนชนิดและปริมาณของผักตบชวาและตัวประสาน เพื่อเพิ่มคุณภาพทางกลของวัสดุต้นแบบ ซึ่งเป็นทางเลือกที่มีคุณค่าต่อสิ่งแวดล้อม

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อทดลองหาอัตราส่วนของกาวและเส้นใยผักตบชวาที่เหมาะสม สำหรับการทำกระถางต้นไม้
2. เพื่อพัฒนากระบวนการอัดขึ้นรูปสำหรับการผลิตกระถางต้นไม้จากผักตบชวา

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. สร้างกระถางต้นไม้จากผักตบชวาโดยมีส่วนผสมคือเส้นใยผักตบชวาและกาวออร์แกนิก
2. ใช้กระบวนการการอัดขึ้นรูปในการผลิตกระถางต้นไม้ได้ง่าย สามารถทำได้ภายในชุมชน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ลดวัชพืชภายในชุมชนลงและสามารถนำมาใช้ประโยชน์ต่อได้
2. ชุมชนที่มีผักตบชวาเป็นจำนวนมากสามารถใช้วิธีการอัดขึ้นรูปกระถางต้นไม้จากผักตบชวาเพื่อใช้สำหรับปลูกพืชเองหรือจำหน่ายเพื่อเพิ่มรายได้
3. ช่วยส่งเสริมการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมโดยลดการใช้พลาสติก

1.5 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

รายการ	ก.ค. 2566	ส.ค. 2566	ก.ย. 2566	ต.ค. 2566	พ.ย. 2566	ธ.ค. 2566	ม.ค. 2567	ก.พ. 2567	มี.ค. 2567
1. กำหนดหัวข้อปริญญานิพนธ์	➔								
2. ศึกษาวิธีการอัดขึ้นรูป		➔							
3. ทดลองหาอัตราส่วนของกาวและเส้นใยผักตบชวาที่เหมาะสมที่สุด		➔							
4. ออกแบบแม่พิมพ์กระถางต้นไม้					➔				
5. ทำแม่พิมพ์กระถางต้นไม้						➔			
6. ทดลองอัดขึ้นรูปกระถางต้นไม้และแก้ไขปรับปรุง							➔		
7. สรุปผลการดำเนินงาน								➔	
8. จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์									➔

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงลักษณะของวัสดุ สารประกอบ เครื่องมือและอุปกรณ์ โปรแกรมในออกแบบและวิเคราะห์ข้อมูลการทดลอง และทฤษฎีต่างๆที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ซึ่งประกอบด้วยหัวข้อดังนี้

1. ผักตบชวา
2. กาวแป้งมันสำปะหลัง
3. เครื่องทดสอบแรงดึง
4. การออกแบบการทดลอง
5. โปรแกรมซอลิดเวิร์กส์ (SolidWorks)
6. สมบัติทางกล และการทดสอบ

2.1 ผักตบชวา

ผักตบชวาเป็นพืชน้ำล้มลุก มีถิ่นกำเนิดอยู่ในประเทศบราซิล ทวีปอเมริกาใต้ แถบลุ่มแม่น้ำแอมะซอน ผักตบชวาได้รับการค้นพบครั้งแรกในปี พ.ศ.2367 โดย Kari Von Matius นักพฤกษศาสตร์ชาวเยอรมัน และมีการขยายพันธุ์อย่างกว้างขวางไปในประเทศเขตร้อน และกึ่งเขตร้อนทั่วโลก สำหรับประเทศไทยผักตบชวาถูกนำเข้ามาจากประเทศอินโดนีเซีย ในปี พ.ศ. 2444 โดยนำมาปลูกครั้งแรกที่วังสระปทุมและได้แพร่กระจายออกไปตามแหล่งน้ำต่าง ๆ ทั่วประเทศ คนไทยมีชื่อผักตบชวาแตกต่างกันไปตามท้องถิ่น โดยภาคกลางใช้ชื่อ ผักปอด ผักตบปอง และผักสวะ ภาคใต้ใช้ชื่อ ผักตบ ภาคเหนือใช้ชื่อ ผักบัวลอย และภาคตะวันออกเฉียงเหนือใช้ชื่อ ผักโป่ง ผักบ่ง และผักปอง [8]

2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของผักตบชวา

ผักตบชวา มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms และมีชื่อสามัญว่า Lilac devil หรือ Water Hyacinth เป็นพืชล้มลุก อยู่ในวงศ์ Pontederiaceae โดยมีส่วนประกอบ ดังรูปที่ 2.1 ประกอบด้วย ลำต้นที่มีหัวราก (Rhizomatous System) ลักษณะอวบน้ำ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นประมาณ 5 - 6 เซนติเมตร และยาวประมาณ 30 เซนติเมตร ผิวลำต้นเรียบ มีสีเขียวอ่อนและเข้ม กลุ่มใบเรียงกันเป็นกลีบชั้น (Rosettes) ใบเป็นใบเดี่ยวรูปไข่หรือเกือบกลม ก้านใบกลมอวบน้ำ ตรงกลางพองออก ภายในเป็นรูพรุน ช่วยพยุงลำต้นให้ลอยน้ำได้ มีไหลเกิดตามซอกใบ ซึ่งไหลจะเจริญเติบโตเป็นต้นอ่อน มีดอกสีม่วงอ่อนเป็นช่อ ซึ่งดอกมีดอกย่อย 3 - 25 ดอก มีกลีบดอก 6 ผักตบชวามีระบบรากเป็นรากฝอย โดยแตกออกจากข้อบนของลำต้น มีความยาว

ตั้งแต่ 10 - 90 เซนติเมตร และมีสีม่วงดำ ถ้าน้ำต้นผักตบชวาจะหยั่งรากลงดิน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซึมธาตุอาหารต่าง ๆ

ผักตบชวาเป็นพืชน้ำที่เจริญเติบโตได้รวดเร็ว โดยสามารถขยายพันธุ์ได้ทั้งแบบใช้เพศ (Sexual Reproduction) และไม่ใช้เพศ (Vegetative Propagation) แต่โดยทั่วไปนิยมขยายพันธุ์โดยการแตกหน่อ(แบบไม่ใช้เพศ) สำหรับการขยายพันธุ์แบบใช้เพศ พบการผสมเกสรภายในตนเอง (Self - Pollination) เป็นหลัก แต่บางครั้งสามารถผสมข้ามต้นได้ โดยจะเกิดขึ้นเฉพาะฤดูแล้งเท่านั้น

ผักตบชวาสามารถอยู่ได้ทุกสภาพน้ำ ทั้งน้ำสกปรกและน้ำสะอาด เจริญเติบโตได้ดีในน้ำที่มีค่า pH 4- 10 และอุณหภูมิของน้ำไม่สูงกว่า 36 องศาเซลเซียส ส่วนประกอบส่วนรากของผักตบชวาประกอบไปด้วยน้ำ โดยลำต้นของผักตบชวาจะมีน้ำเฉลี่ยประมาณร้อยละ 95 ในใบร้อยละ 89 และในก้านใบร้อยละ 96 [9][10]



รูปที่ 2.1 ผักตบชวา [9]

2.1.2 คุณสมบัติของเส้นใยผักตบชวา

เส้นใยจากผักตบชวาเป็นเส้นใยธรรมชาติประเภทเส้นใยเซลลูโลส ลักษณะของเส้นใยจะค่อนข้างหยาบ ในตัวเส้นใยจะประกอบด้วยเส้นใยกลวงเล็ก ๆ เกาะติดกัน โดยส่วนที่พบว่ามีปริมาณเส้นใยค่อนข้างมากจะเป็นในส่วนของลำต้น [11]

โดยต้นผักตบชวา 100 กิโลกรัม หลังจากตากให้แห้งแล้ว น้ำหนักจะเหลือประมาณ 5 กิโลกรัมคิดเป็นน้ำหนักอบแห้งเฉลี่ยร้อยละ 5 ของน้ำหนักทั้งหมด จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของเส้นใยผักตบชวา พบว่า เส้นใยจากผักตบชวาประกอบไปด้วยองค์ประกอบ ทางเคมี 3 ชนิด คือ เซลลูโลส (Cellulose), เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) และลิกนิน (Lignin) ซึ่งสมบัติขององค์ประกอบทั้ง 3 ชนิด สะท้อนไปยัง คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่นำเส้นใยนี้ไปใช้ อธิบายได้ดังนี้

1. เซลลูโลส (Cellulose) เป็นสารประกอบอินทรีย์ โดยมีสูตรโมเลกุล คือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ บนผิวของเซลลูโลส จะเต็มไปด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl Group; OH) ซึ่งเป็นจุดที่เกิดพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen Bonds)

2. เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) ประกอบด้วยมอนอเมอร์หลายชนิด ทำให้ผิวของเฮมิเซลลูโลสเต็มไปด้วยหมู่ไฮดรอกซิลอิสระ ซึ่งเป็นจุดที่น้ำและตัวประสานต่างๆ สามารถเข้ามาจับและเกิดพันธะกับเนื้อไม้หรือเส้นใย

3. ลิกนิน (Lignin) ไม่ละลายในตัวทำละลายเกือบทุกชนิด มีจุดหลอมเหลวประมาณ 150 - 180 องศาเซลเซียส เนื่องจากมีสมบัติความเป็นเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) ทำให้สามารถแปรรูปเส้นใยในรูปแบบต่าง ๆ ได้โดยอาศัยคุณสมบัติดังกล่าว เช่น การเกิดพันธะการยึดติด ของเส้นใยภายในแผ่นใยไม้อัด ที่มีความหนาแน่นสูง เป็นต้น ซึ่งสารประกอบเหล่านี้ ส่งผลถึงคุณสมบัติในการยึดติดของตัวประสานต่าง ๆ ด้วย [12]

2.2 กาวแป้งมันสำปะหลัง

2.2.1 มันสำปะหลัง

มันสำปะหลัง (*Manihot esculenta* Crantz) เป็นหนึ่งในพืชไร่สำคัญของไทย ข้อมูลในปีการผลิต 2551/2552 มีพื้นที่ ปลูก 8.292 ล้านไร่ ได้ผลผลิตหัวมัน ประมาณ 30 ล้านตัน หัวมันสำปะหลังมีสตาร์ชสูงและมี ส่วนประกอบอื่นๆ เช่น โปรตีนและลิปิด ในปริมาณน้อย มันสำปะหลังจึงเป็นแหล่งของสตาร์ชที่เหมาะสมกับการใช้งานหลากหลาย ตัวอย่างเช่น แป้งมันสำปะหลังถูกใช้ในกระบวนการผลิตกระดาษ ใช้เป็นสารเคลือบ และใช้ปรับสภาพผิวกระดาษ ใช้ในอุตสาหกรรมกาวต้องการแป้งที่มีคุณสมบัติต่างๆ ขึ้นกับประเภทของผลิตภัณฑ์ซึ่งแป้งมันสำปะหลังสามารถตอบสนองความต้องการเหล่านั้นได้เป็นอย่างดี และแป้งมันสำปะหลังถูกใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ เนื่องจากมีความเหนียว สามารถเลือกความหนืดที่เหมาะสมและลดขนาดได้ง่าย

ลักษณะที่สำคัญที่สุดของแป้งมันสำปะหลังคือ รสชาติจืดชืดไร้กลิ่น การไม่มีกลิ่นและรสชาติอันไม่พึงประสงค์ทำให้สามารถผสมผสานกับเครื่องปรุง ส่วนผสมอื่นๆ ได้อย่างสะดวกและง่ายดาย และตัวเลือกที่ยอดเยียมสำหรับผลิตภัณฑ์นมและข้าวสาลีปลอดกลูเตน แป้งมันสำปะหลังปรุงสุกจะให้เนื้อครีมที่มีลักษณะใส จึงเหมาะสำหรับการผสมกับสารแต่งสีอื่นๆ แป้งมันสำปะหลังให้ความหนืดสูงสุดแต่มีศักยภาพในการรีโทรเกรดต่ำ เนื่องจากมีปริมาณอะมิโลเพกตินสูง ส่งผลให้เจลมีความคงตัวในการแช่แข็งละลาย [13]

2.2.2 กาวจากธรรมชาติ

กาวธรรมชาติได้มาจากแหล่งอินทรีย์ กาวสามารถเกิดขึ้นได้จากสารที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติหลายชนิด รวมถึงโปรตีน เช่น เจลาติน แป้ง และเซลลูโลส โดยกาวแป้งและเดกซ์ทรินเป็นกาวยอดนิยมบางชนิดที่ใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษและบรรจุภัณฑ์ กาวเหล่านี้มีแนวโน้มที่จะเป็นกาวที่มีราคาถูกที่สุดสำหรับบรรจุภัณฑ์กระดาษ เนื่องจากมีจำหน่ายง่ายและค่อนข้างง่ายสำหรับผู้ผลิต กาวทั้งสองประเภทใช้ส่วนผสมหลักเหมือนกัน นั่นก็คือ แป้งจากผักและพืช กาวเดกซ์ทรินเพียงผ่านกระบวนการไฮโดรไลซิสเพิ่มเติม แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของอาหารของมนุษย์และทำหน้าที่เป็นโพลีแซ็กคาไรด์ ซึ่งหมายความว่าประกอบด้วยโมเลกุลน้ำตาลจำนวนมากที่เกาะติดกัน [14]

2.3 เครื่องทดสอบแรงดึง

เครื่องทดสอบแรงดึง เป็นเครื่องมือที่ใช้การทดสอบเนื้อสัมผัส (Texture Analysis) โดยใช้แรงดึง (Tensile Force) ดึงวัสดุอย่างช้า ๆ ทำให้วัสดุยืดยาวขึ้น โดยเพิ่มแรงดึงขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งชิ้นทดสอบขาด ในการศึกษาครั้งนี้คณะผู้จัดทำใช้เครื่องทดสอบแรงดึง คือ AG-X Series Shimadzu Precision Universal Tester (100 kN, 5 kN) ดังรูปที่ 2.2 และมีรายละเอียดของเครื่อง ดังนี้

1. ความสามารถของเครื่อง (capacity) เท่ากับ 10N - 50 KN (Table top type)
2. ผลการทดสอบมีคุณภาพสูง มีช่วงความละเอียดสูง 1/1000 เท่าของโหลดเซลล์
3. เรียงค่าผลการทำงานอย่างต่อเนื่อง
4. แสดงผลด้วยค่าแรง และระยะการเคลื่อนที่
5. มีระบบ Over-stroke limit และ Emergency-stop switch ให้เคลื่อนที่ถูกต้องทิศทาง ไม่เกินระยะที่กำหนดไว้ และมีปุ่มการเคลื่อนที่กลับ (Return)



รูปที่ 2.2 เครื่องทดสอบแรงดึง AG-X Series Shimadzu Precision Universal tester

2.3.1 หลักการทำงานของเครื่องทดสอบแรงดึง

เมื่อติดตั้งชิ้นงานเข้าที่จับชิ้นงานแล้ว จึงเริ่มสั่งโปรแกรมให้ทำงาน โดยโปรแกรมจะให้แรงดึงกับชิ้นทดสอบด้วยอัตราเร็วในการดึงคงที่ และบันทึกค่าแรงดึง (Tension Force) ที่เปลี่ยนแปลงไปตามระยะการยืดตัว (Deformation) ของวัสดุ โดยขณะชิ้นทดสอบยืดออกจะมีแรงต้าน ซึ่งแรงต้านของชิ้นงานทดสอบนี้ มีผลทำให้ตัววัดแรงสามารถวัดแรงออกมาได้ แรงที่วัดออกมามีหน่วยเป็นกิโลกรัม (kg) หรือนิวตัน (N) ในการทดสอบจะต้องดึงชิ้นทดสอบจนกระทั่งชิ้นทดสอบขาดออกจากกัน ซึ่งแรงต้านสูงสุดของชิ้นทดสอบเป็นผลที่ได้จากการวัดแรง ดังนั้นชิ้นงานทดสอบสามารถทนแรงดึงสูงสุดเท่ากับแรงต้านของชิ้นงานที่ทนได้ก่อนขาดจากกัน ลักษณะของผลที่ได้

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น (Stress) กับความเครียด (Strain) ซึ่งการบันทึกค่าต่าง ๆ จะบันทึกลงในโปรแกรม คอมพิวเตอร์ [15][16]

2.4 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) เป็นการออกแบบเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความเหมาะสม โดยการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) อาศัยแบบจำลองหรือสมการทางคณิตศาสตร์มาอธิบายความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ สามารถศึกษาผลของหลาย ๆ ปัจจัยพร้อมกันในเวลาเดียวกันด้วยวิธีใช้จำนวนการทดลองน้อยกว่าการศึกษาทีละปัจจัย การออกแบบการทดลองจึงเป็นวิธีการเก็บข้อมูลที่มีประสิทธิภาพโดยการเปลี่ยนแปลงหรือปรับค่าของปัจจัย (Factors) อย่างมีจุดมุ่งหมายที่จะสังเกตการเปลี่ยนแปลงของผลตอบ (Response) ที่เกิดขึ้นกระบวนการที่มีปัจจัย หรือผลตอบสนอง (Response: X1, X2, X3, X4) ต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อค่า ซึ่งเป็นคุณลักษณะด้านคุณภาพ (Quality Characteristic) ของกระบวนการ ในการออกแบบการทดลองต้องทำการทดลองอย่างเป็นระบบเพื่อหาความสัมพันธ์เชิงสถิติของ Y และ X อื่น ๆ โดยที่พยายามใช้ทรัพยากรในการทดลองให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด ความสัมพันธ์เชิงสถิติทำให้มีความรู้เกี่ยวกับกระบวนการ (Process Knowledge) เพื่อนำไปปรับปรุง กระบวนการต่อไป [17]

2.4.1 การออกแบบการทดลองแบบส่วนผสม

การออกแบบการทดลองแบบส่วนผสม (Mixture Design) เป็นการออกแบบการทดลองเพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมของปัจจัยเชิงปริมาณตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป โดยยึดหลักว่าผลรวมปริมาณของปัจจัยทั้งหมดจะต้องเป็น 1.0 (หรือ 100 เปอร์เซ็นต์) เสมอ ซึ่งมีวัตถุประสงค์ คือ สรรวจผลตอบสนองเพื่อประมาณค่าพารามิเตอร์ของแต่ละส่วนประกอบที่จะทำให้ผลตอบสนองมีค่าที่ดีที่สุด หรือเป็นไปตามที่ผู้ทดลองต้องการ จะแตกต่างจากการทดลองที่ไม่ใช่แบบผสม ที่ตัวแปรแต่ละตัวเป็นอิสระจากกันในการออกแบบการทดลอง [17] การออกแบบการทดลองแบบส่วนผสม แบ่งเป็น 4 แบบ ดังนี้

1. แบบเซฟเฟอซิมเพล็กซ์แลตทิซ (Scheffe Simplex Lattice) เป็นการออกแบบสำหรับการทดลองที่มีส่วนผสมตั้งแต่ 2 ถึง 30 ส่วนผสม ซึ่งส่วนผสมทั้งหมดจะต้องมีสัดส่วนที่เท่ากันทุก ปัจจัย โดยจำนวนของการทดลองสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2.1

$$x_i = 0, \frac{1}{m}, \frac{2}{m}, \dots, 1 \quad (2.1)$$

โดยที่ $i = 1, 2, 3, \dots, n$

$m =$ เป็นสัดส่วนของแต่ละปัจจัยจาก 0 – 1 (0 – 100 เปอร์เซ็นต์)

2. แบบเซฟเฟมเพล็กซ์เซนทรอยด์ (Scheffe Simplex - Centroid) เป็นการออกแบบสำหรับการทดลองที่มีส่วนผสมตั้งแต่ 3 ถึง 8 ส่วนผสม ซึ่งส่วนผสมทั้งหมดต้องมีสัดส่วนที่เท่ากันทุกปัจจัย และไม่มีข้อจำกัดในเรื่องของปัจจัย

3. แบบซิมเพล็กซ์แอกเซียล (Simplex - Axial) หรือ Screening Design เป็นการออกแบบส่วนผสมที่ใช้ในการประมาณแบบจำลองเชิงเส้น โดยเน้นจุดที่เป็นส่วนประกอบต่าง ๆ ของทุกปัจจัย ยกตัวอย่างเช่น จากรูปที่ 2.3 ให้จุดทรงกลมแทนปัจจัยในการทดลอง



รูปที่ 2.3 แผนภาพจำลองการทดลองแบบซิมเพล็กซ์แอกเซียล [17]

สังเกตจากจุดเอช (H) ไอ (I) และเจ (J) โดย จุดทั้ง 3 มาจากจุดกึ่งกลางของแต่ละส่วนย่อย หากพิจารณาจุดเอ (A) ดี (D) และอี (E) จะมีลักษณะเป็นสามเหลี่ยมย่อย โดยมีจุดเอช (H) เป็นจุดกึ่งกลางสามเหลี่ยมดังกล่าว ซึ่งเป็นเช่นเดียวกับจุดไอ (I) และเจ (J) ซึ่งหมายความว่าสามารถศึกษาการออกแบบจากด้านใดก็ได้เพราะมีค่าเท่ากัน เนื่องจากการศึกษาและให้ความสนใจในจุดที่เป็น การศึกษาและให้ความสนใจส่วนประกอบต่าง ๆ ของทุกปัจจัย

4. แบบเอ็กซ์ทรีมเวอร์ทิส (Extreme Vertices) หรือ Optimal (custom) Designs เป็นการออกแบบการทดลองแบบที่มีข้อจำกัด คือ การทดลองนี้ระดับของปัจจัยในแต่ละปัจจัยไม่จำเป็นต้องเป็น 0 – 100 เปอร์เซ็นต์ อาจเป็น 30 - 40 เปอร์เซ็นต์ หรือ 15 - 25 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากความจำเป็นโดยพื้นฐานในการทดสอบบางอย่างที่อาจมีความแตกต่างกัน ซึ่งการออกแบบดังกล่าวนี้จะใช้เมื่อกระบวนการนั้น ต้องการปรับเปลี่ยนปัจจัยการทดสอบที่มีความแตกต่างระหว่างค่าสูงต่ำขององค์ประกอบส่วนผสมทั้งหมด ในส่วนของจำนวนการทดลอง (Run) ในการออกแบบที่ดีที่สุด ขึ้นอยู่กับจำนวนเงื่อนไขในโอบเทลและจำนวนบล็อกในโมเดล [17]

2.5 โปรแกรมซอลิดเวิร์กส์ (SolidWorks)

โปรแกรมซอลิดเวิร์กส์ (SolidWorks) ถูกใช้โดยนักออกแบบและวิศวกรหลายล้านคนในบริษัทนับแสนแห่ง เป็นหนึ่งในซอฟต์แวร์การออกแบบและวิศวกรรมที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในตลาด โดยโปรแกรมซอลิดเวิร์กส์เป็นที่รู้จักในด้านคุณสมบัติที่หลากหลายและฟังก์ชันการทำงานระดับสูง ถูกนำมาใช้ในหลากหลายอาชีพและอุตสาหกรรมต่างๆ ทั่วโลก

โปรแกรมซอลิดเวิร์กส์ใช้การออกแบบแบบพารามิτρิก ซึ่งเป็นเหตุผลว่าทำไมจึงเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสำหรับนักออกแบบและวิศวกร ซึ่งหมายความว่าผู้ออกแบบสามารถดูได้ว่าการเปลี่ยนแปลงจะส่งผลต่อส่วนประกอบใกล้เคียงอย่างไร หรือแม้แต่โซลูชันโดยรวม ตัวอย่างเช่น หากขนาดของส่วนประกอบชิ้นเดียวเพิ่มขึ้น สิ่งนี้จะส่งผลต่อข้อต่อหรือรูที่ติดอยู่ ช่วยให้ผู้ออกแบบสามารถระบุและแก้ไขปัญหาได้อย่างรวดเร็วและง่ายดาย

คุณสมบัติของซอลิดเวิร์กส์หลักๆ ได้แก่ การออกแบบ 3D CAD ที่เรียบง่ายแต่ซับซ้อน สามารถใช้เทมเพลตและไลบรารี CAD เพื่อประสิทธิภาพที่ดีขึ้น ระบบอัตโนมัติและการออกแบบสามารถนำกลับมาใช้ใหม่เพื่อเร่งกระบวนการให้เร็วขึ้น เป็นเครื่องมือประมาณต้นทุนช่วยให้คุณติดตามได้แบบเรียลไทม์ สามารถทำให้ผู้ใช้ตรวจสอบให้แน่ใจว่าตรวจพบความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นได้ตั้งแต่เนิ่นๆ ด้วยการตรวจสอบสัญญาณรบกวน อีกทั้งยังสามารถสร้างแบบ 2D เพื่อการผลิตได้อย่างรวดเร็ว รวมถึงการสร้างภาพเคลื่อนไหวและการเรนเดอร์เสมือนจริงได้อย่างง่ายดาย [18]

2.6 สมบัติทางกลและการสอบ

2.6.1 สมบัติทางกล

สมบัติทางกล หมายถึง พฤติกรรมที่วัสดุแสดงออกมาเมื่อมีแรงภายนอกมากระทำ เช่น ความแข็งแรง ความแข็ง ความยืดหยุ่น และความเหนียว เป็นต้น ซึ่งสมบัติทางกลนั้นเป็นสมบัติที่มีความสำคัญที่สุดในการเลือกใช้วัสดุในงานวิศวกรรม หากออกแบบเครื่องจักร หรือโครงสร้างใด ๆ ต้องเลือกใช้วัสดุที่มีความแข็งแรง (Strength) ที่สามารถต้านทานแรงต่อแรงกระทำ (Load) ต่าง ๆ ได้โดยไม่เกิดการเสียหาย (Failure) เช่น ไม่เกิดการแตกร้าวของโครงสร้าง เป็นต้น นอกจากนี้เครื่องจักรหรือ โครงสร้างที่ออกแบบจะต้องมีความแกร่ง (Stiffness) ที่เพียงพอภายใต้แรงกระทำ โดยที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างมากนักจนทำให้เครื่องจักรหรือโครงสร้างเสียความสามารถในการปฏิบัติหน้าที่ ตามวัตถุประสงค์การออกแบบ [19]

2.6.1.1 การเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (Deformation)

เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำกับวัสดุ จะทำให้เกิด การเปลี่ยนแปลงรูปร่าง หรือการเสียรูปขึ้น สำหรับวัสดุพอลิเมอร์สามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ การเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบยืดหยุ่น (Elastic Deformation) และการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบถาวร (Plastic Deformation) ซึ่งในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบยืดหยุ่น จะเกิดขึ้นกับ

วัสดุที่เมื่อให้แรงกระทำจนวัสดุนั้นเปลี่ยนแปลงรูปร่างหรือเสียรูปไป แต่จากนั้นเมื่อปล่อยแรงกระทำดังกล่าววัสดุจะกลับสู่สภาพเดิมเหมือนก่อนที่จะมีแรงกระทำ เช่น พฤติกรรมของยางวงเมื่อให้แรง และปล่อยแรงกระทำในทางตรงกันข้ามกัน การเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบถาวร (Plastic Deformation) จะเกิดขึ้นกับวัสดุเมื่อมีแรงกระทำจนเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปจากเดิมแล้ว แต่เมื่อปล่อยแรงกระทำดังกล่าวออก วัสดุนั้นจะไม่กลับสู่สภาพเดิมหรือกลับสู่สภาพเดิมไม่ครบ 100 เปอร์เซ็นต์ เช่น การงอ หรือตัดลวดโลหะเป็นรูปร่างต่าง ๆ [19]

2.6.1.2 ความเค้น (Stress)

แรงต้านทานภายในเนื้อวัสดุที่พยายามต้านทานแรงภายนอกที่มากระทำเพื่อไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปจากเดิม แรงที่มากระทำจะถูกกระจายไปอย่างสม่ำเสมอตลอดพื้นที่หน้าตัดของวัสดุ หากแบ่งตามลักษณะของแรงที่มากระทำกับวัสดุแล้ว สามารถแบ่งออกได้เป็น 5 แบบ คือ ความเค้นดึง (Tensile Stress) ความเค้นอัด (Compressive Stress) ความเค้นเฉือน (Shear Stress) ความเค้นบิด (Torsion Stress) และความเค้นดัดโค้ง (Flexural Stress)

จากลักษณะของแรงดึงและแรงอัดที่มากระทำกับวัสดุ สามารถหาค่าความเค้นที่เกิดขึ้นได้จากความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อพื้นที่หน้าตัด ดังแสดงในสมการที่ 2.2

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (2.2)$$

เมื่อ σ = ความเค้นทางวิศวกรรม ($\frac{N}{m^2}$)
 F = แรงกระทำตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัด (N)
 A_0 = พื้นที่หน้าตัด (m^2)

สำหรับกรณีที่ได้รับแรงเฉือน ความเค้นที่เกิดขึ้นจะหาได้จากแรงที่กระทำต่อพื้นที่หน้าตัดที่ขนานกับแนวแรงดังในสมการที่ 2.2

$$\tau = \frac{F}{A_0} \quad (2.3)$$

เมื่อ τ = ความเค้นเฉือน ($\frac{N}{m^2}$)
 F = แรงกระทำขนานกับพื้นที่หน้าตัด (N)

2.6.1.3 ความเครียด (Strain)

ความเค้น หมายถึง การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุเมื่อมีแรงกระทำ แบ่งออกเป็นความเครียดแบบยืดหยุ่น (Elastic Strain) และความเครียดแบบถาวร (Plastic Strain) ซึ่งความเครียดแบบยืดหยุ่นเป็นการเปลี่ยนแปลงรูปร่างในลักษณะที่เมื่อลดแรงกระทำแล้ววัสดุจะกลับสู่สภาพเดิมเหมือนก่อนที่จะรับแรงกระทำ ส่วนความเครียดแบบถาวรจะเป็นลักษณะที่เมื่อปล่อยแรงกระทำแล้ววัสดุไม่กลับสู่ขนาดเดิม [19]

การหาความเครียดทางวิศวกรรม (Engineering Strain) หาจากอัตราส่วนของขนาดที่เปลี่ยนแปลงไปต่อขนาดเดิม ซึ่งความเครียดเชิงเส้น (Linear Strain) จะเกิดขึ้นเมื่อวัสดุรับแรงดึง หรือแรงอัด โดยสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 2.4

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} \quad (2.4)$$

เมื่อ ε = ความเครียดเชิงเส้น

l_0 = ความยาวเริ่มต้นหรือความยาวเกจของวัสดุ (mm)

l = ความยาวสุดท้ายเมื่อได้รับแรงกระทำ (mm)

สำหรับกรณีที่วัสดุได้รับแรงเฉือนมากกระทำ สามารถคำนวณหาความเครียดเฉือนได้ตามสมการที่ 2.5

$$\gamma = \tan \theta \quad (2.5)$$

เมื่อ γ = ความเครียดเฉือน (radian)

θ = มุมที่เปลี่ยนไป (radian) [20]

2.6.2 การทดสอบแรงดัดโค้ง

การทดสอบการดัดโค้งแบบ 3 จุด (Three – Points Bending) เป็นการให้แรงกระทำที่จุดกึ่งกลางของชิ้นงานทดสอบและจุดรับรองในทิศทางตรงกันข้ามบริเวณปลายทั้งสองด้านที่มีระยะห่างจากจุดกึ่งกลางเท่ากัน เหมาะสำหรับการทดสอบพลาสติกที่เปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ต่ำ หัวกดที่ใช้ให้แรงกระทำและชุดรองรับมีลักษณะเป็นไบมีดมน (round knife edges) หรือเพลาลโลหะแข็งก็ได้ รัศมีของหัวกด และชุดให้แรงกระทำต้องมีรัศมีอย่างต่ำ 3.2 มิลลิเมตร และ มีรัศมีสูงสุดไม่เกิน 4 เท่าของความหนาชิ้นงานทดสอบสำหรับหัวกด และ 1.5 เท่าของความหนาชิ้นทดสอบสำหรับชุดรองรับ การที่ชุดกดและชุดรองรับต้องมีลักษณะเป็นผิวโค้งที่จุดสัมผัสดังกล่าวเพื่อเป็นการลดความเข้มข้นของความเค้น (Stress Concentration) ที่อาจเกิดขึ้นบริเวณจุดสัมผัสดังกล่าว และอาจทำให้ชิ้นงานเกิดการแตกหักบริเวณจุดสัมผัสนั้น นอกจากนี้ระยะห่างระหว่างจุดรองรับทั้งสองสามารถกำหนดได้จากอัตราส่วนของระยะห่างระหว่างจุดรองรับทั้งสองกับความหนาของชิ้นทดสอบโดยมีค่าได้ระหว่าง 16:1 ถึง 60:1

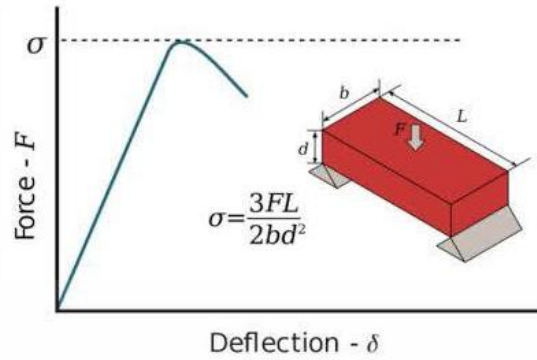
ตารางที่ 2.1 สูตรการคำนวณในการทดสอบแรงดัดโค้งแบบ 3 จุด

พื้นที่หน้าตัด	สี่เหลี่ยม	ทรงกระบอก
ความเค้น	$\sigma = \frac{3FL}{2Bh^2}$	$\sigma = \frac{8FL}{\pi D^3}$
ความเครียด	$\epsilon = \frac{6Yh}{L^2}$	$\epsilon = \frac{6YD}{L^2}$
มอดุลัส	$E = \frac{L^3}{4Bh^3} \left(\frac{F}{Y} \right)$	$E = \frac{4L^3}{3\pi D^4} \left(\frac{F}{Y} \right)$

- เมื่อ
- F = แรงกระทำ (N)
 - L = ระยะห่างระหว่างจุดรองรับที่ปลายทั้งสองด้าน (Span Length) (mm)
 - h = ความหนา (mm)
 - B = ความกว้าง (mm)
 - Y = ระยะการดัดโค้งของชิ้นงาน (mm)
 - D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกระบอกต้น (mm) [21]

2.6.3 Flexural Strength

ความทนแรงโค้งงอเป็นค่าความเค้นที่ได้จากการทดสอบให้เกิดการงอตัวโดยใช้หัวกด (Indenter) ซึ่งกดลงตั้งฉากกับชิ้นทดสอบที่อยู่ในลักษณะแนวนอนโดยมีตัวรองรับ (Supporting Jig) เป็นตัวกำหนดช่วงห่าง (Span) การทดสอบแบบนี้ชิ้นทดสอบจะได้รับทั้งแรงเค้นดึง (Tensile Stress) และแรงเค้นกด (Compressive Stress) ซึ่งแรงเค้นกดจะเกิดขึ้นบนชิ้นทดสอบ ส่วนแรงเค้นดึงจะเกิดใต้ชิ้นทดสอบ ลักษณะคือการทดสอบแรงดัดโค้งแบบ 3 จุด (Three point bending) และการทดสอบแรงดัดโค้ง แบบ 4 จุด (Four Point Bending) และค่า Flexural Strength คือความเค้นมากที่สุด หรือความเค้นโค้งงอ (Maximum Stress or Flexural Stress: σ_{max}) ที่เกิดตรงกลางชิ้นทดสอบตรงส่วนผิวนอก โดย σ_{fs} จะขึ้นอยู่กับขนาดของชิ้นงานทดสอบโดยปริมาตรของชิ้นงานทดสอบที่เพิ่มขึ้น (ปริมาตรชิ้นงานทดสอบที่สัมพันธ์กับความเค้นดึง) ความน่าจะเป็นที่จะเกิดข้อบกพร่องที่ทำให้เกิดรอยแตกเร็วเพิ่มขึ้น และส่งผลให้ความต้านทานแรงดัดโค้งลดลง



รูปที่ 2.4 กราฟแสดงค่า Flexural Strength ของชิ้นงานที่มีหน้าตัดสี่เหลี่ยม [22]

สมการที่ 2.6 การหาค่า Flexural Strength ของชิ้นงานที่มีหน้าตัดสี่เหลี่ยม

$$\sigma_{fs} = \frac{3F_f L}{2bd^2} \quad (2.6)$$

- เมื่อ
- σ_{fs} = ความเค้นดัดโค้ง ($\frac{N}{mm^2}$)
 - F_f = แรงที่กระทำ ณ จุดแตกหัก (N)
 - L = ระยะห่างแทนวางชิ้นทดสอบ (mm)
 - b = ความกว้างชิ้นงานที่ใช้ทดสอบ (mm)
 - d = ความหนาของชิ้นงานที่ใช้ทดสอบ (mm) [22]

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในงานศึกษาวิจัยนี้มุ่งเน้นการผลิตชิ้นงานต้นแบบกระถางต้นไม้จากผักตบชวาด้วย กระบวนการอัดขึ้นรูปกระถาง ซึ่งบทนี้จะกล่าวถึงกระบวนการดำเนินงาน การสร้างชิ้นงานต้นแบบ การทดสอบแรงดัดโค้งแบบ 3 จุด และการขึ้นรูปกระถางต้นไม้ โดยมีขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานดังนี้

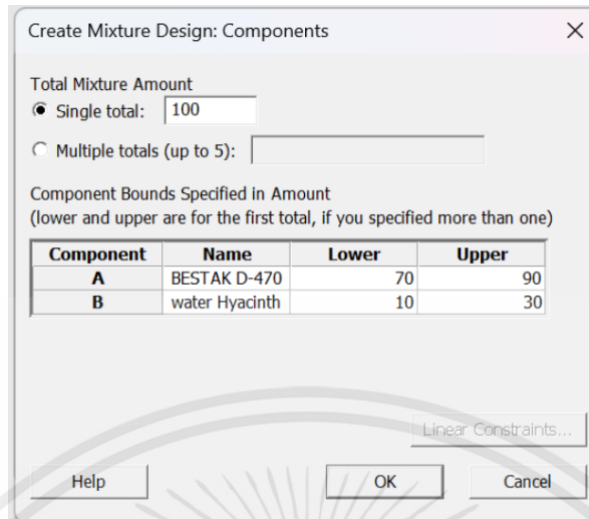
1. การออกแบบการทดลอง
2. การสร้างชิ้นงานต้นแบบ
3. การทดสอบแรงดัดโค้งแบบ 3 จุด
4. การขึ้นรูปกระถางต้นไม้ด้วยวิธีการอัดขึ้นรูป

3.1 การออกแบบการทดลอง

ทำการหาช่วงอัตราส่วนที่เป็นไปได้ในการขึ้นรูป จากนั้นนำค่าอัตราส่วนโดยน้ำหนักสูงสุดและต่ำสุดของเส้นใยผักตบชวาและกาวแป้งมันสำปะหลัง มาคำนวณแบบสุ่มหาจำนวนของการทดลองในโปรแกรม Minitab ด้วยวิธีการออกแบบการทดลองแบบผสม (Mixture Design) แบบ Optimal (custom) Designs กำหนดค่าอัตราส่วนโดยน้ำหนักสูงสุดและต่ำสุดของเส้นใยผักตบชวา เท่ากับ 90% และ 70% ตามลำดับ และค่าอัตราส่วนโดยน้ำหนักสูงสุดและต่ำสุดของกาวแป้งมันสำปะหลัง เท่ากับ 30% และ 10% ตามลำดับ จึงได้การทดลอง (Run) เป็นจำนวน 5 การทดลอง โดยทำการทดลองซ้ำเป็นจำนวน 5 ครั้งต่อ 1 รูปแบบการทดลอง ดังรูปที่ 3.1 และ 3.2



รูปที่ 3.1 การออกแบบการทดลอง โดยใช้แบบ Simplex lattice 2 องค์ประกอบ



รูปที่ 3.2 การกำหนดค่าอัตราส่วนโดยน้ำหนักสูงสุดและต่ำสุดของเส้นใยผักตบชวาและกาวแป้งมันสำปะหลัง

3.2 การสร้างชิ้นงานต้นแบบ

จากการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับเส้นใยผักตบชวาและกาวแป้งมันสำปะหลัง ทำการสร้างชิ้นงานต้นแบบเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างเส้นใยผักตบชวาและกาวแป้งมันสำปะหลัง โดยมีวิธีการสร้างชิ้นงานต้นแบบ ดังนี้

3.2.1 วัสดุและอุปกรณ์

1. ผักตบชวาสด
2. กาวแป้งมันสำปะหลัง 2 ชนิด (BESTAK D-470 และ BESTAK D-545 WD)
3. เครื่องปั่นสำหรับผักผลไม้
4. อุปกรณ์การหั่น (มีด และเขียง)
5. ภาชนะสำหรับผสม และแช่คน
6. แม่พิมพ์ชิ้นงานต้นแบบ
7. ถุงพลาสติกใส
8. เครื่องชั่งน้ำหนัก

3.2.2 วิธีการทำชิ้นงานต้นแบบเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสม

3.2.2.1 การเตรียมผักตบชวา

1. ล้างผักตบชวาแล้วตัดส่วนรากทิ้ง ใช้เฉพาะส่วนใบและลำต้น ดังรูปที่ 3.3 และ 3.4



รูปที่ 3.3 ส่วนลำต้นของผักตบชวา



รูปที่ 3.4 ส่วนใบของผักตบชวา

2. หั่นผักตบชวาให้มีขนาดประมาณ 1 นิ้ว ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 การหั่นผักตบชวาให้มีขนาด 1 นิ้ว

3. ปั่นผักตบชวาที่หั่นแล้วให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่น ดังรูปที่ 3.6 และ 3.7



รูปที่ 3.6 การปั่นผักตบชวาให้ละเอียด



รูปที่ 3.7 ผักตบชวาที่ถูกปั่นละเอียด

4. ตากเส้นใยผักตบชวาที่ปั่นแล้วให้แห้งที่แสงธรรมชาติอุณหภูมิเฉลี่ย 37 องศาเซลเซียส เพื่อระเหยความชื้นเป็นเวลา 72 ชั่วโมง ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 การตากเส้นใยผักตบชวาให้แห้ง

5. เก็บเส้นใยผักตบชวาที่แห้งแล้วในถุงซิปล็อคเพื่อป้องกันความชื้น ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 เส้นใยผักตบชวาที่ถูกเก็บในถุงซิปล็อค

โดยผักตบชวาสด 1 กิโลกรัม สามารถเปลี่ยนเป็นเส้นใยผักตบชวาแห้งได้เฉลี่ย 102 กรัม เป็นอัตราส่วนประมาณ 1:10 จากการสุ่มวัดขนาดเส้นใยผักตบชวาแห้ง 100 ซ้ำมุล ดังรูปที่ 3.10 พบว่าค่าเฉลี่ยของขนาดเส้นใยผักตบชวาอยู่ที่ 5.46 มิลลิเมตร โดยมีขนาดที่ใหญ่ที่สุดเท่ากับ 15 มิลลิเมตร และขนาดที่เล็กที่สุดเท่ากับ 1 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.10 เส้นใยผักตบชวาแห้งที่สุ่มวัดขนาด

3.2.2.2 การผสมเส้นใยผักตบชวา และกาวแป้งมันสำปะหลัง

นำกาวทั้ง 2 ชนิดมาผสมกับเส้นใยผักตบชวาตามขนาดส่วนน้ำหนัก 30 กรัม ดังนี้

1. ใช้กาว BESTAK D-470 ผสมกับเส้นใยผักตบชวา ในอัตราส่วนดังนี้

1.1. อัตราส่วน 70 : 30 โดยใช้กาว BESTAK D-470 21 กรัม และเส้นใย 9 กรัม

1.2. อัตราส่วน 75 : 25 โดยใช้กาว BESTAK D-470 22.5 กรัม และเส้นใย 7.5 กรัม

1.3. อัตราส่วน 80 : 20 โดยใช้กาว BESTAK D-470 24 กรัม และเส้นใย 6 กรัม

1.4. อัตราส่วน 85 : 15 โดยใช้กาว BESTAK D-470 25.5 กรัม และเส้นใย 4.5 กรัม

1.5. อัตราส่วน 90 : 10 โดยใช้กาว BESTAK D-470 27 กรัม และเส้นใย 3 กรัม

2. ใช้กาว BESTAK D-545 WD ผสมกับเส้นใยผักตบชวา ในอัตราส่วนดังนี้

2.1. อัตราส่วน 70 : 30 โดยใช้กาว BESTAK D-545 WD 21 กรัม และเส้นใย 9 กรัม

2.2. อัตราส่วน 75 : 25 โดยใช้กาว BESTAK D-545 WD 22.5 กรัม และเส้นใย 7.5 กรัม

2.3. อัตราส่วน 80 : 20 โดยใช้กาว BESTAK D-545 WD 24 กรัม และเส้นใย 6 กรัม

2.4. อัตราส่วน 85 : 15 โดยใช้กาว BESTAK D-545 WD 25.5 กรัม และเส้นใย 4.5 กรัม

2.5. อัตราส่วน 90 : 10 โดยใช้กาว BESTAK D-545 WD 27 กรัม และเส้นใย 3 กรัม

3.2.2.3 วิธีการขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบ

1. นำถุงพลาสติกใสใส่ลงไปแม่พิมพ์

2. ใส่ส่วนผสมที่เตรียมไว้ลงไปแม่พิมพ์

3. นำถุงพลาสติกใสวางทับด้านบนส่วนผสม

4. นำแม่พิมพ์อีกอันมาทับด้านบน

5. กดด้วยน้ำหนัก 25 กิโลกรัม ให้ชิ้นงานขึ้นเป็นรูปทรง

6. ตากไว้ 72 ชั่วโมง



รูปที่ 3.11 แม่พิมพ์อลูมิเนียม

3.3 การทดสอบแรงดัดโค้งแบบ 3 จุด

3.3.1 วัสดุและอุปกรณ์

1. เครื่องทดสอบแรงดัดโค้งแบบ 3 จุด
2. ชิ้นงานต้นแบบขนาด 30 x 115 x 38 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.12 เครื่องทดสอบแรงดัดโค้งแบบ 3 จุด
AG-X Series Shimadzu Precision Universal Tester

3.3.2 วิธีการทดลอง

นำชิ้นงานต้นแบบที่ได้ขึ้นรูปจากทุกอัตราส่วนมาทดสอบแรงดัดโค้งแบบ 3 จุด โดยกำหนดระยะห่างแท่นวางชิ้นทดสอบ (Support Span Length) เท่ากับ 100 mm กำหนดความเร็วที่ใช้ในการกดชิ้นงาน (Crosshead Speed) เท่ากับ 1.3 mm/min ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นคำนวณค่าการต้านทานแรงดัดโค้ง ค่าความเครียดแรงดัดโค้ง และค่ามอดูลัสแรงดัดโค้ง



รูปที่ 3.13 แท่งวางชิ้นงานทดสอบ



รูปที่ 3.14 ชิ้นงานขณะทำการทดสอบ

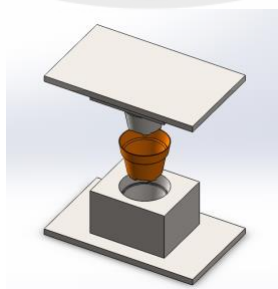
3.4 การขึ้นรูปกระถางต้นไม้ด้วยวิธีการอัดขึ้นรูป

3.4.1 วัสดุและอุปกรณ์

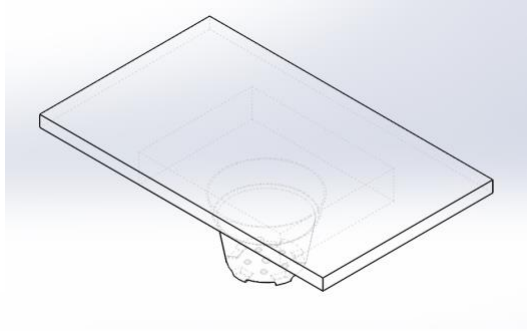
1. เส้นใยผักตบชวาแห้ง
2. กาว BESTAK D-545 WD
3. ภาชนะสำหรับผสม
4. แม่พิมพ์
5. ถูพลาสติกใส
6. Mold Release
7. เครื่องชั่งน้ำหนัก
8. ไตรเป่าผม

3.4.2 การออกแบบแม่พิมพ์

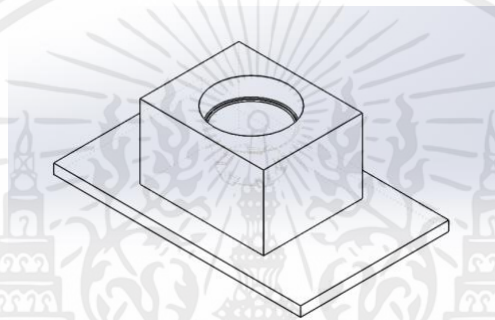
ออกแบบแม่พิมพ์กระถางต้นไม้ในโปรแกรม SolidWorks โดยกำหนดให้ความสูงจากก้นถึงปากกระถางมีความสูง 55 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของก้นกระถาง 45 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของปากกระถาง 70 มิลลิเมตร ความหนาของขอบกระถาง 3 มิลลิเมตร และก้นกระถางหนา 5 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.15 ภาพจำลองการขึ้นรูปกระถาง



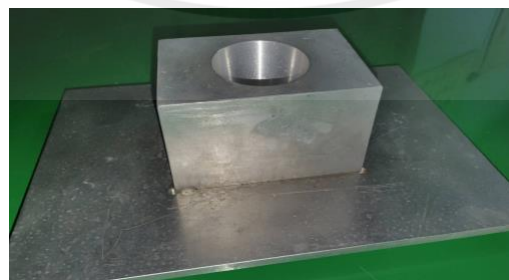
รูปที่ 3.16 แบบแม่พิมพ์หัวผู้



รูปที่ 3.17 แบบแม่พิมพ์หัวเมีย



รูปที่ 3.18 แม่พิมพ์หัวผู้



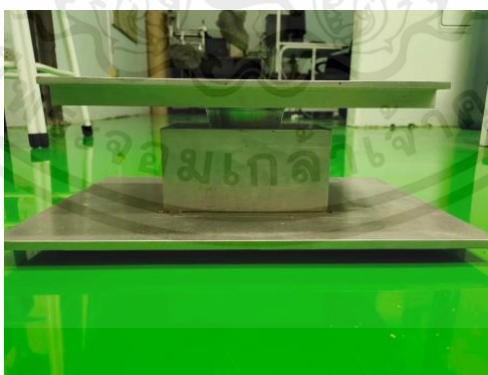
รูปที่ 3.19 แม่พิมพ์หัวเมีย

3.4.3 วิธีการขึ้นรูปกระถางต้นไม้

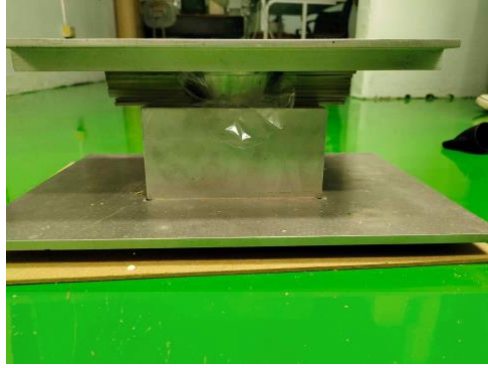
1. ตวงกาวและเส้นใยผักตบชวาในอัตราส่วน 90 : 10 (การทดลองนี้ใช้น้ำหนัก 100กรัม)
2. ผสมให้เข้ากัน
3. ฉีด Mold Release ใส่ถุงพลาสติก
4. ใส่ถุงพลาสติกลงในแม่พิมพ์
5. ใส่เส้นใยและกาวที่ผสมแล้วลงในแม่พิมพ์
6. กดด้วยน้ำหนัก 25 กิโลกรัม
7. คลายแม่พิมพ์ด้านบนออก
8. ใช้ไคร์เป่า 3 นาที
9. ลอกพลาสติกออก
10. เอาชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์
11. นำไปตากแดด 3 วัน
12. ตัดแต่งขอบกระถางต้นไม้ให้เป็นรูปทรง

3.4.3.1 วิธีการขึ้นรูปกระถางต้นไม้โดยให้มีความหนาของก้นกระถางที่ต่างกัน

ทำความเข้าใจของก้นกระถางไว้ 2 ขนาด เพราะถ้าก้นกระถางบางเกินไปก็อาจจะทำให้ดินที่ใส่เข้าไปในกระถางทะลุลงมาได้ ในขณะที่ เนื่องจากก้นกระถางมีความหนาน้อยเกินไปแล้วรับน้ำหนักดินไม่ไหว จึงทำให้ต้องทำความเข้าใจของก้นกระถางแตกต่างกัน โดยขนาดปกติมีความหนาของก้นกระถางอยู่ที่ 5 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.20 ส่วนอีกรูปแบบหนึ่งจะมีการนำแผ่นอะคริลิกมารองไว้ให้มีช่องว่างระหว่างแม่พิมพ์ทั้งสองชิ้นมากขึ้นไปอีก 5 มิลลิเมตร ทำให้มีความหนาของก้นกระถางอยู่ที่ 10 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.20 การขึ้นรูปกระถางแบบปกติ



รูปที่ 3.21 การขึ้นรูปกระถางแบบเพิ่มความหนาของก้นกระถาง



บทที่ 4

ผลการดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองทั้งหมดที่ได้ศึกษาในงานวิจัยนี้ ด้วยการออกแบบการทดลอง การสร้างชิ้นงานต้นแบบ การทดสอบแรงดัดโค้งแบบ 3 จุด และการขึ้นรูปกระถางต้นไม้ด้วยวิธีการอัดขึ้นรูป มีรายละเอียดดังนี้

1. ผลการออกแบบการทดลอง
2. ผลการสร้างชิ้นงานต้นแบบ
3. ผลการทดสอบแรงดัดโค้งแบบ 3 จุด
4. ผลการขึ้นรูปกระถางต้นไม้ด้วยวิธีการอัดขึ้นรูป
5. อภิปรายผล

4.1 ผลการออกแบบการทดลอง

จากการออกแบบการทดลอง ด้วยโปรแกรม Minitab ฟังก์ชัน Mixture Design เมื่อใส่ค่าอัตราส่วนโดยน้ำหนักสูงสุดที่ 90% และอัตราส่วนโดยน้ำหนักน้อยสุดที่ 70% จะได้ผลการออกแบบการทดลองออกมาเป็น 5 รูปแบบ ดังรูปที่ 4.1 และ 4.2

4.1.1 ผลการขึ้นรูปกระถางต้นไม้ด้วยวิธีการอัดขึ้นรูป

+	C1	C2	C3	C4	C5	C6
	StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	BESTAK D-470	Water Hyacinth Fiber
1	1	1	1	1	90	10
2	2	2	1	1	70	30
3	3	3	0	1	80	20
4	4	4	-1	1	85	15
5	5	5	-1	1	75	25

รูปที่ 4.1 อัตราส่วนระหว่างกาบ BESTAK D-470 และเส้นใยผักตบชวาที่ได้จากการออกแบบการทดลอง

+	C1	C2	C3	C4	C5	C6
	StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	BESTAK D-545 WD	Water Hyacinth Fiber
1	1	1	1	1	90	10
2	2	2	1	1	70	30
3	3	3	0	1	80	20
4	4	4	-1	1	85	15
5	5	5	-1	1	75	25

รูปที่ 4.2 อัตราส่วนระหว่างกาว BESTAK D-545 WD และเส้นใยผักตบชวาที่ได้จากการออกแบบการทดลอง

จากนั้นนำอัตราส่วนผสมที่ได้จากโปรแกรม มาทำการทดลองสร้างชิ้นงานต้นแบบ และทดลองซ้ำ 5 ครั้ง ต่อรูปแบบของการทดลอง

4.2 ผลการสร้างชิ้นงานต้นแบบ

จากผลของการผสมเส้นใยผักตบชวา กับ กาวแป้งมันสำปะหลัง BESTAK D-470 และ BESTAK D-545 WD จากทุกอัตราส่วนการทดลอง



รูปที่ 4.3 ชิ้นงานต้นแบบ

4.3 ผลการทดสอบแรงดัดโค้งแบบ 3 จุด

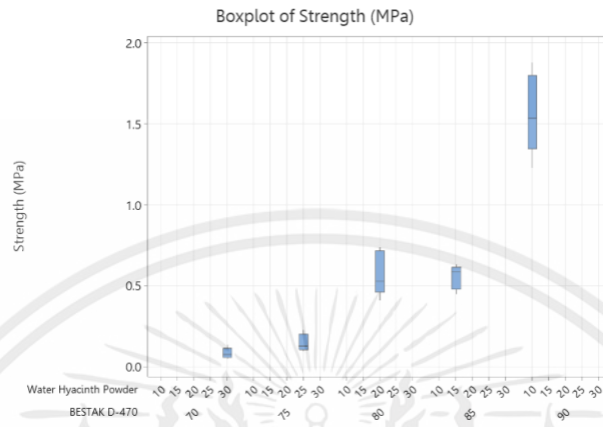
4.3.1 กาว BESTAK D-470

หลังจากทดสอบความแข็งแรงของชิ้นงานด้วยวิธีแรงดัดโค้งแบบ 3 จุด จะทราบค่า Maximum Force ออกมา จากนั้นนำค่า Maximum Force ไปคำนวณค่า Maximum Stress ออกมา ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่า Maximum Force และ Strength ของกาว BESTAK D-470

ชิ้นงาน ต้นแบบ	ส่วนผสม (%)		Maximum Force (N)	Strength (MPa)
	BESTAK D-470 Glue	Fiber		
1	70	30	10.9672	0.13709
2	70	30	7.1296	0.08912
3	70	30	6.0664	0.07583
4	70	30	3.7808	0.04726
5	70	30	5.4304	0.06788
6	75	25	3.3276	0.11554
7	75	25	2.6991	0.09372
8	75	25	4.9775	0.17283
9	75	25	6.5975	0.22908
10	75	25	3.6752	0.12761
11	80	20	8.5115	0.52540
12	80	20	11.9504	0.73768
13	80	20	8.3046	0.51263
14	80	20	6.6230	0.40883
15	80	20	11.2478	0.69431
16	85	15	19.8504	0.52540
17	85	15	21.3596	0.73768
18	85	15	15.1096	0.51263
19	85	15	17.1515	0.40883
20	85	15	20.1522	0.69431
21	90	10	30.6838	1.53419
22	90	10	37.5394	1.87697
23	90	10	24.5564	1.22782
24	90	10	29.2006	1.46003
25	90	10	34.3586	1.71793

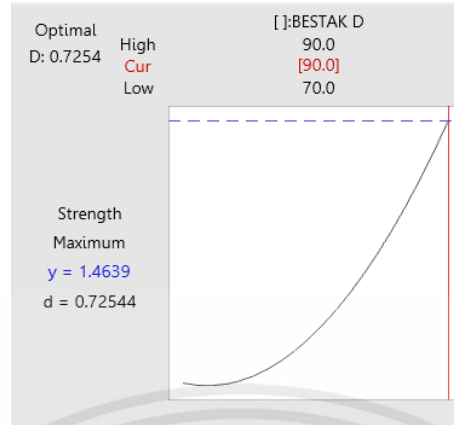
นำค่า Maximum Stress ที่คำนวณออกมาไปวิเคราะห์หาอัตราส่วนระหว่างเส้นใยผักตบชวา และกาบ
 แปะมันสำปะหลังที่มีความแข็งแรงสูงสุด ดังรูปที่ 4.4 และ 4.5



รูปที่ 4.4 กราฟ Boxplot ค่าความแข็งแรง ของกาบ BESTAK D-470

สมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากการวิเคราะห์ใน Mixture Design ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกาบ
 BESTAK D-470 กับเส้นใยผักตบชวาที่ส่งผลต่อความแข็งแรง ได้สมการที่ 4.1

$$\begin{aligned} \text{Strength (MPa)} = & - 9 (\text{BESTAK D-470}) - 34.2 (\text{Water Hyacinth Fiber}) \\ & + 0.2 (\text{BESTAK D-470} \times \text{Water Hyacinth Fiber}) \\ & + \frac{83997.9}{\text{BESTAK D-470}} + \frac{285.4}{\text{Water Hyacinth Fiber}} \end{aligned} \quad (4.1)$$



รูปที่ 4.5 การใช้ฟังก์ชัน Mixture Design วิเคราะห์หาอัตราส่วนที่เหมาะสมของกาว BESTAK D-470

อัตราส่วนที่แข็งแรงที่สุดของกาว BESTAK D-470 จากการทดสอบและวิเคราะห์ด้วย Mixture Design ได้ผลออกมาว่าอัตราส่วนที่แข็งแรงที่สุด คือ 90:10 ความแข็งแรงเฉลี่ยอยู่ที่ 1.563388 MPa

4.3.2 กาว BESTAK D-545 WD

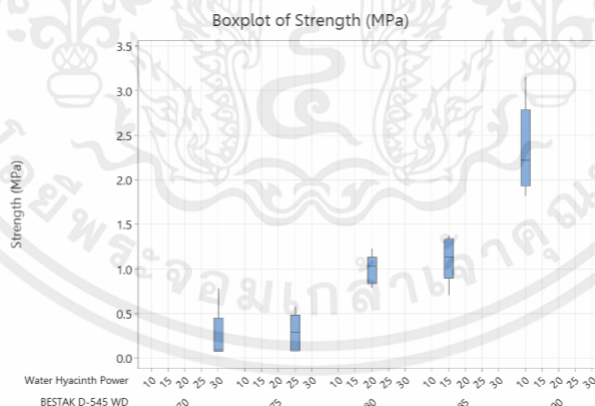
หลังจากทดสอบความแข็งแรงของชิ้นงานด้วยวิธีแรงดัดโค้งแบบ 3 จุด จะทราบค่า Maximum Force ออกมา จากนั้นนำค่า Maximum Force ไปคำนวณค่า Maximum Stress ออกมา ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่า Maximum Force และ Strength ของกาว BESTAK D-545 WD

ชิ้นงานต้นแบบ	ส่วนผสม (%)		Maximum Force (N)	Strength (MPa)
	BESTAK D-545 WD Glue	Fiber		
1	70	30	6.4836	0.07351
2	70	30	8.2573	0.09362
3	70	30	6.9052	0.07829
4	70	30	7.4326	0.08427
5	70	30	10.2515	0.11623
6	75	25	6.3457	0.08789
7	75	25	5.4590	0.07561
8	75	25	27.5746	0.38192
9	75	25	42.0731	0.58273
10	75	25	20.8925	0.28937
11	80	20	17.8196	0.89098
12	80	20	24.5794	1.22897

ชิ้นงานต้นแบบ	ส่วนผสม (%)		Maximum Force (N)	Strength (MPa)
	BESTAK D-545 WD Glue	Fiber		
13	80	20	15.6860	0.78430
14	80	20	20.6280	1.03140
15	80	20	20.6824	1.03412
16	85	15	20.1992	0.70136
17	85	15	32.6071	1.13219
18	85	15	39.6138	1.37548
19	85	15	31.2385	1.08467
20	85	15	37.4789	1.30135
21	90	10	33.2536	2.05269
22	90	10	39.2479	2.42271
23	90	10	51.0292	3.14995
24	90	10	35.9139	2.21691
25	90	10	29.3803	1.81360

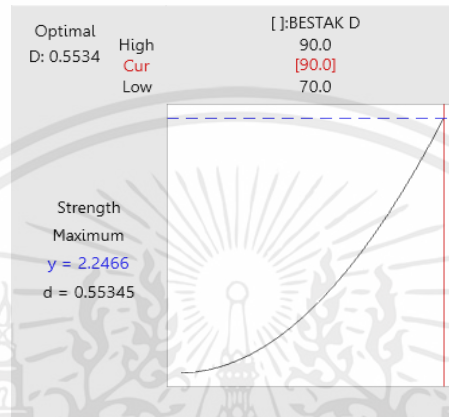
นำค่า Maximum Stress ที่คำนวณออกมาไปวิเคราะห์หาอัตราส่วนระหว่างเส้นใยผักตบชวา และกาบแปงมันสำหรับที่มีความแข็งแรงสูงสุด ดังรูปที่ 4.6 และ 4.7



รูปที่ 4.6 กราฟ Boxplot ค่าความแข็งแรง ของกาบ BESTAK D-545 WD

ผลการทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากการวิเคราะห์ใน Mixture Design ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกาบ BESTAK D-545 WD กับเส้นใยผักตบชวาที่ส่งผลต่อความแข็งแรง ได้สมการที่ 4.2

$$\begin{aligned}
 \text{Strength (MPa)} &= - 12.3221 (\text{BESTAK D-545 WD}) - 46.7787 (\text{Water Hyacinth Fiber}) \\
 &+ 0.2862 (\text{BESTAK D-545 WD} \times \text{Water Hyacinth Fiber}) \\
 &+ \frac{115733.8022}{\text{BESTAK D-545 WD}} + \frac{356.3575}{\text{Water Hyacinth Fiber}} \quad (4.2)
 \end{aligned}$$



รูปที่ 4.7 การใช้ฟังก์ชัน Mixture Design วิเคราะห์หาอัตราส่วนที่เหมาะสมของกาว BESTAK D-545 WD

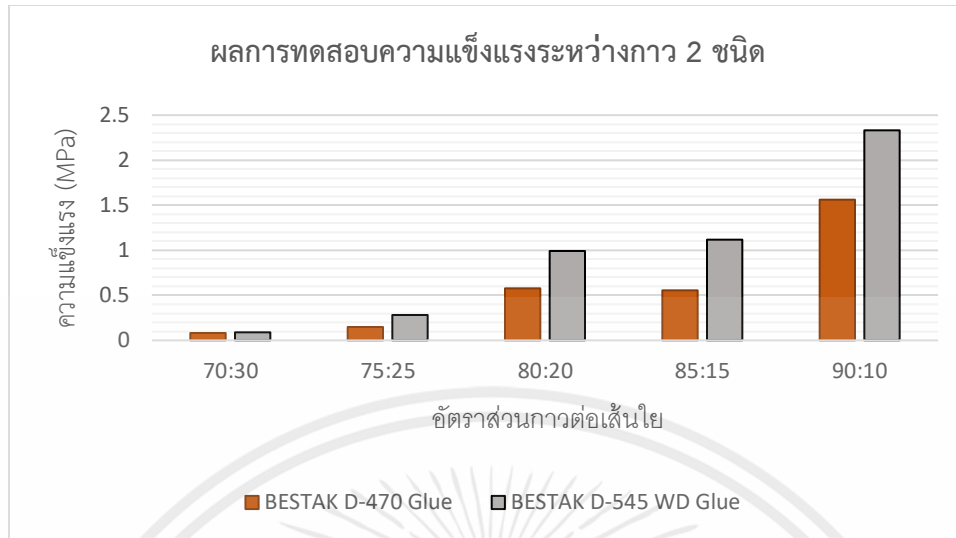
อัตราส่วนที่แข็งแรงที่สุดของกาว BESTAK D-545 WD จากการทดสอบและวิเคราะห์ด้วย Mixture Design ได้ผลออกมาว่าอัตราส่วนที่แข็งแรงที่สุด คือ 90:10 ความแข็งแรงเฉลี่ยอยู่ที่ 2.331172 MPa

4.3.3 ผลการเปรียบเทียบผลการทดสอบความแข็งแรง

เมื่อนำข้อมูลความแข็งแรง (Strength) ที่ได้ทั้ง 50 ข้อมูล มาวิเคราะห์จะได้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของแต่ละรูปแบบการทดลอง ดังตารางที่ 4.3 และ รูปที่ 4.8

ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบผลการทดสอบความแข็งแรงเฉลี่ยระหว่างกาว 2 ชนิดในอัตราส่วนต่างๆ

เปรียบเทียบข้อมูลระหว่างกาว 2 ชนิด		
อัตราส่วน	BESTAK D-470 Glue	BESTAK D-545 WD Glue
70:30	0.083436	0.089184
75:25	0.147756	0.283504
80:20	0.575770	0.993954
85:15	0.553984	1.119010
90:10	1.563388	2.331172



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลการทดสอบความแข็งแรงเฉลี่ยระหว่างกาว 2 ชนิดในอัตราส่วนต่างๆ

จากการวิเคราะห์ที่ใช้ Mixture Design พบว่าชิ้นงานที่มีความแข็งแรงเฉลี่ยมากที่สุดคือชิ้นงานที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของกาว 90% ต่อน้ำหนักเส้นใยผักตบชวา 10% ของกาวชนิด BESTAK D-545 WD โดยมีความแข็งแรงเฉลี่ยอยู่ที่ 2.331172 MPa

4.4 ผลการขึ้นรูปกระถางต้นไม้ด้วยวิธีการอัดขึ้นรูป

จากการทดลองขึ้นรูปกระถางต้นไม้ที่มีขนาดความหนาของขอบกระถาง, เส้นผ่านศูนย์กลางของก้นกระถาง, เส้นผ่านศูนย์กลางของปากกระถาง และก้นกระถางและความสูงเท่ากับ 3 มิลลิเมตร, 45 มิลลิเมตร, 70 มิลลิเมตร, 5 มิลลิเมตร และ 55 มิลลิเมตร ตามลำดับ กดโดยใช้น้ำหนัก 25 กิโลกรัม

4.4.1 เส้นใยผักตบชวา กับกาว BESTAK D-545 WD ที่อัตราส่วน 90 : 10 โดยน้ำหนัก

จากการทดลองใช้อัตราส่วนเส้นใยผักตบชวา 10 กรัม และกาว BESTAK D-545 WD 90 กรัม เป็นอัตราส่วนที่ทำให้ความแข็งแรงมากที่สุด ทำให้ก้นและขอบกระถางสามารถรับน้ำหนักดินและต้นไม้ได้ดี เมื่อรดน้ำแล้วไม่เสียรูปทรง ดังรูปที่ 4.9 และ 4.10



รูปที่ 4.9 ภาพกระถางต้นไม้



รูปที่ 4.10 ภาพการทดลองปลูกต้นไม้

4.4.2 ผลของความหนาของก้นกระถางที่แตกต่างกัน

จากการทดสอบพบว่าความหนาของก้นกระถางมีผลต่อความทนทานของกระถางต่อการรับน้ำหนัก โดยกระถางที่มีก้นหนามักจะมีความทนทานมากกว่ากระถางที่มีก้นบาง เนื่องจากมีโครงสร้างที่แข็งแรงและมั่นคงกว่า ซึ่งสามารถรับน้ำหนักและแรงดันได้มากขึ้น ซึ่งจะมีผลด้านความยาวนานในการใช้งาน นอกจากนี้ยังมีผลต่อดินในกระถางด้วย การควบคุมความชื้นในดินได้ดีกว่า ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชในกระถางได้ดียิ่งขึ้น ดังนั้นการเลือกใช้งานกระถางที่มีความหนาของก้นที่เหมาะสมกับการใช้งานและการปลูกพืชเป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากมีผลต่อความทนทานของกระถาง การรับน้ำหนัก และการเจริญเติบโตของพืชในระยะยาว

4.5 อภิปรายผล

จากการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างเส้นใยผักตบชวา และกาวแป้งมันสำปะหลังนำมาอัดขึ้นรูปเป็นกระถางต้นไม้ โดยใช้กาว BESTAK D-545 WD เป็นกาวจากธรรมชาติ ซึ่งมีคุณสมบัติแห้งตัวเร็ว ยึดติดดี และความหนืดปานกลาง ในอัตราส่วนโดยน้ำหนัก 90 : 10 เมื่อนำไปวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ากระถางต้นไม้มีความแข็งแรงมากที่สุดได้ความแข็งแรงค่าเฉลี่ยของชิ้นงานเท่ากับ 2.33 MPa อีกทั้งอนุภาคภายในชิ้นงานมีช่องว่างมากจากส่วนผสม ในการทดลองนี้สังเกตเห็นว่าสามารถ นำไปประยุกต์ใช้เป็นกระถางต้นไม้ได้ นอกจากจะลดจำนวนผักตบชวาในแหล่งน้ำแล้วยังสามารถลดจำนวนขยะพลาสติกจากถุงเพาะชำหรือกระถางพลาสติกที่อาจถูกฝังไว้ใต้ดินอีกด้วยเพราะฉะนั้นการเลือกใช้วัสดุและอัตราส่วนผสมในวัสดุนี้อาจปรับเปลี่ยนปริมาณตามความเหมาะสมที่ใช้ในกระบวนการผลิตจริง และพิจารณาการนำไปประยุกต์ใช้งานจริงตามความเหมาะสม



บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการสรุป และอภิปรายผลของการดำเนินงาน การวิเคราะห์ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ผลทางสถิติ รวมไปถึงข้อเสนอแนะของงานวิจัยนี้ โดยประกอบด้วยการสรุปผลดังนี้

1. สรุปผลการดำเนินการ
2. อภิปรายผล
3. ข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินการ

จากผลการดำเนินการหาอัตราส่วนระหว่างกาวกับเส้นใยผักตบชวา โดยมีกาว 2 ชนิด คือ กาว BESTAK D-470 และกาว BESTAK D-545 WD ออกแบบการทดลองด้วย โปรแกรม Minitab ใช้ฟังก์ชัน Mixture Design แบบ Simplex lattice ได้อัตราส่วนที่เป็นรูปแบบในการทดลองทั้งหมด 5 อัตราส่วนโดยน้ำหนัก ดังนี้ 70:30, 75:25, 80:20, 85:15 และ 90:10 ใช้อัตราส่วนนี้กับกาวทั้ง 2 ชนิด ทำให้ได้รูปแบบการทดลองทั้งหมด 10 รูปแบบ การทดลอง ทำซ้ำรูปแบบละ 5 ครั้ง จากผลการทดสอบความแข็งแรงของชิ้นงานพบว่า ค่าความแข็งแรงที่ได้จากส่วนผสมระหว่างกาวแป้งมันสำปะหลัง และเส้นใยผักตบชวา มีความผันผวนค่อนข้างมาก ซึ่งเกิดจากลักษณะโครงสร้างตามธรรมชาติของเส้นใยที่เป็นส่วนประกอบของชิ้นงาน หลังจากวิเคราะห์ผลใน Mixture Design พบว่า กาว BESTAK D-545 WD เป็นตัวประสานที่เหมาะสมกว่า เพราะ มีความแข็งแรงมากกว่าเมื่อเทียบกับกาว BESTAK D-470 ในอัตราส่วนที่เท่ากัน จะได้อัตราส่วนที่ดีที่สุด คือ อัตราส่วนระหว่างกาว BESTAK D-545 WD กับเส้นใยผักตบชวา ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนัก 90 : 10 โดยได้ความแข็งแรงค่าเฉลี่ยของชิ้นงานเท่ากับ 2.33 MPa แล้วนำอัตราส่วนดังกล่าวไปเข้ากระบวนการอัดขึ้นรูปเป็นกระถางต้นไม้

การอัดขึ้นรูปเป็นกระถางต้นไม้ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของก้นกระถาง เส้นผ่านศูนย์กลางของปากกระถาง ก้นกระถางและความสูงเท่ากับ 3 มิลลิเมตร 45 มิลลิเมตร 70 มิลลิเมตร 5 มิลลิเมตร และ 55 มิลลิเมตร ตามลำดับ ซึ่งใช้แรงกดเริ่มจาก 10 กิโลกรัม พบว่าส่วนผสมยังอัดตัวกับไม่แน่นมากพอที่จะคงรูป จึงต้องเพิ่มน้ำหนักขึ้นทีละ 5 กิโลกรัม จนถึง 30 กิโลกรัม พบว่าเมื่อใช้น้ำหนัก 30 กิโลกรัม กดจะลั่นออกจากแม่พิมพ์ ทำให้ต้องลดน้ำหนักที่กดลงมาเหลือ 25 กิโลกรัม

ความหนาของก้นกระถางมีผลต่อความทนทานของกระถางต่อการรับน้ำหนัก โดยกระถางที่มีก้นหนามักจะมีความทนทานมากกว่ากระถางที่มีก้นบาง เนื่องจากมีโครงสร้างที่แข็งแรงและมั่นคงกว่า ซึ่งสามารถรับน้ำหนักและแรงดันได้มากขึ้น ซึ่งจะมีผลด้านความยาวนานในการใช้งาน ดังนั้นการเลือกใช้งานกระถางที่มีความหนาของก้นที่เหมาะสมกับการใช้งานและการปลูกพืชเป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากมีผลต่อความทนทานของกระถาง การรับน้ำหนัก และการเจริญเติบโตของพืชในระยะยาว

5.2 ข้อเสนอแนะ

การดำเนินงานครั้งนี้มีข้อจำกัดเรื่องของเวลาที่สิ้นเกินไป ซึ่งหากมีการพัฒนาในครั้งต่อไปควรแก้ไขปรับปรุงปัญหาเหล่านี้เพื่อให้งานมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ได้แก่

1. การศึกษาครั้งนี้ไม่ได้มีการทดสอบระยะเวลาการย่อยสลายของกระถางต้นไม้ ดังนั้นควรมีการทดสอบระยะเวลาย่อยสลายของกระถางต้นไม้เพิ่มเติมเพื่อเป็นข้อมูลยืนยันว่าสามารถย่อยสลายได้จริงและสามารถนำมาเป็นวัสดุทดแทนได้
2. การศึกษาครั้งนี้ไม่ได้มีการทดลองการดูดซึมน้ำของกระถางต้นไม้ ซึ่งอาจก่อให้เกิดการละลายของกาวภายในกระถางต้นไม้ได้ และอาจทำให้ความแข็งแรงของกระถางต้นไม้ลดลง
3. การศึกษาครั้งนี้ไม่ได้ขึ้นรูปหลากหลายขนาด ซึ่งทำให้ถูกจำกัดในเรื่องขนาดของต้นไม้ที่ปลูกได้ และน้ำหนักที่ใช้ในการกดให้แน่นแตกต่างกันได้
4. การศึกษาครั้งนี้ใช้แค่กาวแป้นสำหรับปะหลังไม่ได้ใช้กาวประเภทอื่นในการทดลอง เช่น กาวยางพารา หรือกาวออร์แกนิกชนิดอื่น อาจมีกาวที่ให้การยึดติดที่ดีมากกว่า

เอกสารอ้างอิง

- [1] บริษัทลูทซ์ รอยัล (ประเทศไทย) จำกัด. “สาเหตุและผลกระทบ จากมลพิษทางน้ำ”. [Online].
สืบค้นจาก : https://lux.co.th/cpt_blog/cause-and-impact-of-water-pollution/
- [2] ชาญวิทย์. 2561. ผลกระทบของมลพิษทางน้ำ. [Online].
สืบค้นจาก : <http://www.rmuti.ac.th/user/thanyaphak/>
- [3] สารานุกรมจากสิ่งห่อหุ้ม. 2562. “ความน่ากลัวของผักตบชวา”. [Online].
สืบค้นจาก : <https://singha-r-sa.org/>
- [4] กรมโยธาธิการและผังเมือง. “ข้อมูลผักตบชวาเบื้องต้น”. [Online].
สืบค้นจาก : <https://onedptportal.dpt.go.th/portal/apps/Cascade/index.html?appid=d06d5cbe9f0f4ab8b042d3451c66978a>
- [5] ฐปณีย์. “ปัญหาที่เกิดจากผักตบชวา”. [Online].
สืบค้นจาก : <https://www.nectec.or.th/schoolnet/library/webcontest2003/100team/dlbs085/interEx/informate/paktob/trouble.html>
- [6] ลงทุนเกิร์ล. “ผักตบชวา กั้นกระแทก จากตัวปัญหาสู่ฮีโร่ในการแก้ปัญหาขยะพลาสติก”. [Online].
สืบค้นจาก : <https://www.longtungirl.com/2248>
- [7] เมดไทย. “ผักตบชวา สรรพคุณและประโยชน์ของผักตบชวา 15 ข้อ!”. 2563. [Online].
สืบค้นจาก : <https://medthai.com/ผักตบชวา/>
- [8] สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 5. “คู่มือการจัดการผักตบชวา”. [Online].
สืบค้นจาก : <http://lib.mnre.go.th/book/paktob.pdf>
- [9] ศูนย์ปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง. “ผักตบชวา”. [Online].
สืบค้นจาก : <http://clgc.agri.kps.ku.ac.th/resources/weed/eichornia.html>
- [10] อตบ.ระบำ จ.อุทัยธานี. “รู้จักผักตบชวา”. [Online].
สืบค้นจาก : https://www.rabum.go.th/news_detail.php?hd=1&doIP=1&checkIP=chkIP&id=56100&checkAdd=chkAd&dum=43169_ypk
- [11] Rasika. “การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากเส้นใยผักตบชวา”. [Online].
สืบค้นจาก : <https://www.thaitextile.org/th/innovation/detail.9.1.1.html>

- [12] Teerapong Tuikrua. “การเจริญเติบโตของผกตบชาในกว๊านพะเยา”. [Online].
สืบค้นจาก : <http://updc.clm.up.ac.th/bitstream/123456789/875/1/Teerapong%20Tuikrua.pdf>
- [13] Siam Modified Starch Co., Ltd. “Why Do Industries Prefer the Tapioca Starch”. [Online].
สืบค้นจาก : https://www.smscor.com/imgadmins/publications_paragraph_pdf/20200108162105.pdf
- [14] L. D. Team. “Natural Glues for Industrial Applications”. [Online].
สืบค้นจาก : <https://blog.lddavis.com/natural-glues-for-industrial-applications>
- [15] J.S. Testing Service Limited Partnership. “Tensile Machine”. [Online].
สืบค้นจาก : <https://www.jstestingservice.com/15709907/universal-testing-machine>
- [16] Materials Innovation Center. “เครื่องทดสอบแรงดึง”. [Online].
สืบค้นจาก : https://mic.eng.ku.ac.th/facilities-detail.php?id_sub=26&id=32
- [17] cmu. “การออกแบบการทดลอง”. [Online].
สืบค้นจาก : https://archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2553/enin20453as_ch2.pdf
- [18] P. Durham. “What is SOLIDWORKS?”. 2022. [Online].
สืบค้นจาก : <https://www.technia.com/blog/what-is-solidworks/> (accessed Feb. 16, 2024).
- [19] น. ฐานมัน. “การพัฒนาภาชนะย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากลำต้นมันสำปะหลัง”. Thesis. สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2557. [Online].
สืบค้นจาก : <http://sutir.sut.ac.th:8080/jspui/handle/123456789/5224>
- [20] rmutt. “สมบัติเชิงกลของวัสดุวิศวกรรม”. [Online].
สืบค้นจาก : <http://mme.engineer.rmutt.ac.th/wp-content/uploads/2020/08/>
- [21] ศูนย์สารสนเทศยานยนต์ สถาบันยานยนต์. “การทดสอบแรงดัดงอ”. [Online].
สืบค้นจาก : <https://data.thaiauto.or.th/component/content/article/24-technology/auto-technology/296-2010-11-11-09-16-47.html>
- [22] CivilScoops. “What Is Modulus of Rupture | What Is Flexural Modulus | What Is Flexural Stress | Flexural Strength of Concrete | Bending Modulus | What Is Flexural Strength - Civil Scoops”. [Online].
สืบค้นจาก : <https://civilscoops.com/modulus-of-rupture/>





BESTAK CHEMICAL CO., LTD.



1399 Moo 6 Soi Mahamakut, Teparak, Muangsamutprakarn, Samutprakarn 10270 Tel: (662) 385-0670-2 Fax: (662) 385-0156

1399 หมู่ 6 ซ.ม.มหามกุฏ ถ.เทพารักษ์ อ.เมืองสมุทรปราการ จ.สมุทรปราการ 10270 โทร: (662) 385-0670-2 แฟกซ์: (662) 385-0156

เลขประจำตัวผู้เสียภาษี 0115532001781 (สำนักงานใหญ่) E-mail: info@bestak.co.th

BESTAK D – 470

PRODUCT TYPE :	Liquid Dextrin.	
PHYSICAL PROPERTIES :	Appearance :	Brown transparent.
	Viscosity :	5,000 – 6,000 cps.
	% Solids content :	36 – 40 ° Brix.
	pH:	8 – 9
OUTSTANDING CHARACTERISTICS :	A fast setting , good tack and better wetting on porous materials, ready to use as adhesive for paper industry.	
OPERATING CONDITIONS :	Product will generally be used as supplied but may be diluted with water, if necessary.	
SUGGESTED USES :	Paper lamination , tube winding and case & carton sealing. Suitable for application using roller equipment .	
PRECAUTIONS :	Rotate stock using oldest material first.	
	Keep covered to prevent drying out and contamination.	
	Do not mix with other adhesives.	
STORAGE LIFE :	Should not be stored for more than 3 months before use, preferably at ambient temperature.	
FDA STATUS :	Confirmed 21 CFR 175.105 " Adhesive.	

FOR INDUSTRIAL OR PROFESSIONAL USE ONLY

TC : rc
29/02/2016

** Viscosity is determined by Brookfield Viscometer RVT model
Spindle # 3,RPM 10, @ 30 °C.*

รูปที่ ผก. 1 ข้อมูลการ BESTAK D-470



BESTAK CHEMICAL CO., LTD.



1399 Moo 6 Soi Mahamakut, Teparak, Muangsamutprakarn, Samutprakarn 10270 Tel: (662) 385-0670-2, 754-8477 Fax: (662) 385-0156
 1399 หมู่ 6 ซ.มหามกุฏ อ.เทพารักษ์ อ.เมืองสมุทรปราการ อ.สมุทรปราการ 10270 โทร: (662) 385-0670-2, 754-8477 แฟกซ์: (662) 385-0156
 เลขประจำตัวผู้เสียภาษี 0115532001781 (สำนักงานใหญ่) E-mail: info@bestak.co.th

BESTAK D-545 WD

PRODUCT TYPE : Modified Dextrin.

PHYSICAL PROPERTIES : Appearance : Milky White.
 Viscosity (*) : 4,000 - 5,000 Cps.
 % Solids content : 60 - 65
 pH: 9 - 11

OUTSTANDING CHARACTERISTICS : Medium viscosity, fast setting, good tack and better wetting on porous materials, ready to use as adhesive for paper converting.

OPERATING CONDITIONS : Product will generally be used as supplied but may be diluted with water, if necessary.

SUGGESTED USES : Tube winding and Paper lamination.

PRECAUTIONS : Rotate stock using oldest material first.
 Keep covered to prevent drying out and contamination.
 Do not mix with other adhesives.

STORAGE LIFE : Should not be stored for more than 3 months before use, preferably at ambient temperature.

FOR INDUSTRIAL OR PROFESSIONAL USE ONLY

TC / rc

19/06/2018

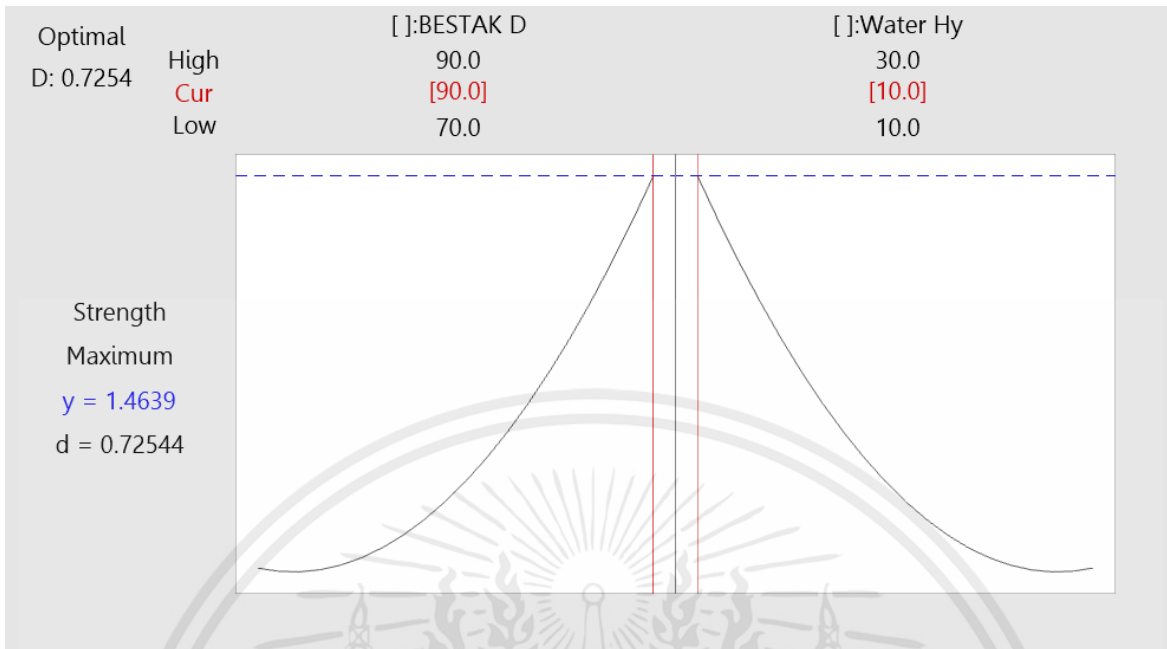
* Viscosity is determined by Brookfield Viscometer RVT model.

Spindle # 3, RPM 10, @ 30 ° C.

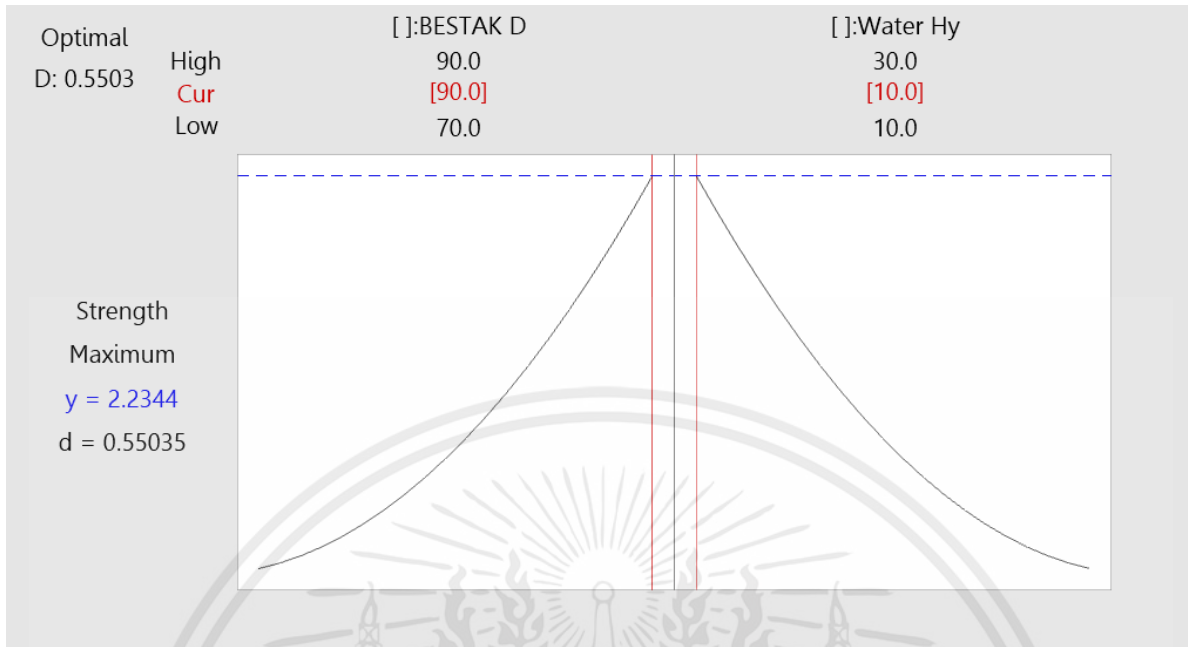
รูปที่ ผก. 2 ข้อมูลการ BESTAK D-545 WD







รูปที่ ผค. 1 กราฟแสดงอัตราส่วนที่แข็งแรงที่สุดของกาว BESTAK D-470



รูปที่ ผค. 2 กราฟแสดงอัตราส่วนที่แข็งแกร่งที่สุดของกาว BESTAK D-545 WD

