การพัฒนาวัสดุเชิงประกอบจากผักตบชวา

DEVELOPMENT OF COMPOSITE MATERIAL FROM WATER HYACINTH

นายธนัท แซ่ลี้

MR. THANAT SAELEE

นางสาวพิชยา ลือวงศ์วัฒนา

MS. PITCHAYA LUEWONGWATTANA

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมออกแบบการผลิตและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

DEVELOPMENT OF COMPOSITE MATERIAL FROM WATER HYACINTH

MR. THANAT SAELEE

MS. PITCHAYA LUEWONGWATTANA

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN

PRODUCTION DESIGN AND MATERIALS ENGINEERING

SCHOOL OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การพัฒนาวัสดุเชิงประกอบจากผักตบชวา
DEVELOPMENT OF COMPOSITE MATERIAL FROM WATER HYACINTH

นักศึกษา นายธนัท แซ่ลี้ รหัสประจำตัว 60010424
นางสาวพิชยา ลือวงศ์วัฒนา รหัสประจำตัว 60010707

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมออกแบบการผลิตและวัสดุ

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

(รศ.ดร.กรรณชัย กัลยาศิริ)

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การพัฒนาวัสดุเชิงประกอบจากผักตบชวา
นักศึกษา	นายธนัท แซ่ลี้
	นางสาวพิชยา ลือวงศ์วัฒนา
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
	สาขาวิชาวิศวกรรมออกแบบการผลิตและวัสดุ
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา	2563
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	รศ.ดร.กรรณชัย กัลยาศิริ

บทคัดย่อ

เพื่อเป็นการนำผักตบชวามาใช้ประโยชน์ งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาวัสดุเชิงประกอบจากผักตบชวา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างผักตบชวาและวัสดุประสานอินทรีย์ที่ไม่เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ผู้วิจัยนำผักตบชวามาเป็นวัสดุเสริมแรงในการทำวัสดุเชิงประกอบ และใช้คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส (CMC) เป็นวัสดุประสาน โดยขึ้นรูปชิ้นงานตามมาตรฐาน ASTM D1037 ด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป ตามอัตราส่วนผสมที่ได้จากวิธีการออกแบบของผสม (Mixture Design) แบบ Extreme Vertices โดยมีอัตราส่วนระหว่าง CMC และผักตบชวา คือ 70:30 75:25 80:20 85:15 และ 90:10 โดยน้ำหนัก ผลที่ได้จากการศึกษาพบว่า อัตราส่วนระหว่าง CMC และผักตบชวาแบบ 70:30 โดยน้ำหนัก เป็นอัตราส่วนที่ดีที่สุด โดยใช้แรงอัดขึ้นรูป 20 บาร์ เวลาในการอัด 15 นาที แล้วนำชิ้นงานไปอบที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Thesis Title	DEVELOPMENT OF COMPOSITE MATERIAL FROM WATER HYACINTH
Student	Mr. Thanat Saelee
	Ms. Pitchaya Luewongwattana
Degree	Bachelor of Engineering in
	Production Design and Materials Engineering
	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic year	2020
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr. Kannachai Kanlayasiri

ABSTRACT

In order to practically use water hyacinth, the development of composite materials from water hyacinth was carried out in this study. The objectives of this study were to find the optimal ratio between water hyacinth and organic binder using the extreme vertices mixture design. Water hyacinth was used as the reinforce phase and the carboxymethyl cellulose (CMC) was employed as the binder. The fabrication method and flexural strength of the fabricated composite were evaluated according to ASTM D1037 standard. The CMC binder - water hyacinth ratios generated by the mixture design were 70:30, 75:25, 80:20, 85:15, and 90:10 by weight. The results indicated that the optimal CMC binder - water hyacinth ratio was 70:30. In addition, the pressing condition of the composite was at 20 bar for 15 minutes and it was then hardened in an oven at 180 ^{o}C for 60 minutes.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่อง “การพัฒนาวัสดุเชิงประกอบจากผักตบชวา” สามารถสำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้มีส่วนเกี่ยวข้องที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษา แนวคิด และตรวจทานแก้ไขข้อบกพร่อง กระทั่งโครงงานฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.กรรณชัย กัลยาศิริ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่กรุณาให้คำแนะนำ คำปรึกษา และเสนอแนวทางแก้ไขข้องบกพร่องระหว่างการศึกษาวิจัยด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง ทำให้โครงงานฉบับนี้มีความถูกต้อง และสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยตระหนักถึงความตั้งใจจริงและความทุ่มเทของอาจารย์ และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ดร.ประจักร จัตกุล และนายกำธร สุขพิมายกับนายสิทธิชัย บุญกิจ ผู้ดูแลอาคารปฏิบัติการทางวิศวกรรม ที่ให้ความรู้ คำแนะนำ ดูแลช่วยเหลือ และแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น ในการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์การทดลองและการทดสอบต่าง ๆ ระหว่างการศึกษาวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คณะอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ที่ได้ถ่ายทอดความรู้และประสบการณ์แก่ผู้วิจัย

ขอขอบพระคุณ เจ้าของงานตำรา เอกสาร และงานวิจัยอ้างอิงต่าง ๆ ที่เขียนเรียบเรียง รวบรวมข้อมูลและความรู้ต่าง ๆ ไว้เป็นอย่างดี ทำให้เป็นประโยชน์อย่างมากต่อการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวของคณะผู้วิจัย ซึ่งเปิดโอกาสให้ได้รับการศึกษาเล่าเรียน ที่คอยอบรมสั่งสอน รวมถึงเพื่อนทุกคนที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกเรื่อง

นายธนัท แซ่ลี้
นางสาวพิชยา ลือวงศ์วัฒนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ ..... **ก**
ABSTRACT ..... **ข**
กิตติกรรมประกาศ ..... **ข**
สารบัญ ..... **ง**
สารบัญตาราง ..... **ช**
สารบัญรูป ..... **ซ**

บทที่ 1 บทนำ
1.1 ที่มาและความสำคัญ 1
1.2 วัตถุประสงค์ 2
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์ 2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
1.5 แผนการดำเนินงาน 3

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
2.1 ผักตบชวา 4
2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของผักตบชวา 4
2.1.2 วัสดุฟิลเลอร์จากผักตบชวา 5
2.2 เจลาติน 6
2.2.1 คุณสมบัติของเจลาติน 7
2.3 คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส (CMC) 7
2.3.1 คุณสมบัติของ CMC 7
2.4 การทดสอบแรงดัดโค้ง 7
2.4.1 มาตรฐานการทดสอบแรงดัดโค้งของวัสดุเชิงประกอบ 9
2.5 การออกแบบการทดลอง 9
2.5.1 การออกแบบการทดลองแบบส่วนผสม (Mixture Design) 9
2.5.1.1 การออกแบบแบบเชฟเฟ่ซิมเพล็กซ์แล็คทิส (Scheffe' Simplex-Lattice) 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

หน้า

2.5.1.2 การออกแบบแบบเชฟเฟ่ซิมเพล็กซ์เซนทรอยด์ (Scheffe' Simplex-Centroid).. 10
2.5.1.3 การออกแบบแบบซิมเพล็กซ์แอคเซียล (Simplex-Axial)..... 11
2.5.1.4 การออกแบบแบบเอ็กซ์ทรีมเวอร์ทิส (Extreme Vertices)..... 11

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการ

3.1 การสร้างชิ้นงานต้นแบบ..... 13
3.1.1 วัสดุและเครื่องมือ..... 13
3.1.1.1 ลำต้นผักตบชวา..... 13
3.1.1.2 วัสดุประสาน..... 13
3.1.1.3 อุปกรณ์..... 14
3.1.1.4 บล็อคพลาสติกและแม่พิมพ์โลหะ..... 14
3.1.1.5 ตู้อบลมร้อน..... 14
3.1.1.6 เครื่องให้ความร้อน..... 15
3.1.1.7 เครื่องอัดขึ้นรูป..... 15
3.1.1.8 เครื่องทดสอบแรงดัดโค้ง..... 15
3.1.2 วิธีการหาตัวประสานที่เหมาะสม..... 16
3.1.2.1 ขั้นตอนการเตรียมผักตบชวา..... 16
3.1.2.2 ขั้นตอนการเตรียมตัวประสาน..... 18
3.1.2.3 ขั้นตอนการผสมผักตบชวากับตัวประสาน..... 18
3.1.2.4 การทดลองขึ้นรูปและการเซ็ตตัวของชิ้นงานต้นแบบ..... 19
3.1.3 การออกแบบการทดลอง..... 20
3.1.4 การขึ้นรูปชิ้นงานตามมาตรฐาน..... 20
3.2 การทดสอบแรงดัดโค้งแบบ 3 จุด..... 22

บทที่ 4 ผลการดำเนินการ

4.1 ผลการทดลองหาตัวประสานที่เหมาะสม..... 23
4.1.1 ผลการทดลองผสมเจลาตินกับผักตบชวา..... 23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

หน้า

4.1.2 ผลการทดลองผสม CMC กับผักตบชวา 23
4.2 ผลการทดลองการกดขึ้นรูปชิ้นงาน 25
4.2.1 ผลการทดลองการกดขึ้นรูปชิ้นงานด้วยมือลงในบล็อคพลาสติก
ขนาด 31.31 x 70.6 x 12.58 mm 25
4.2.2 ผลการทดลองการกดขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องอัดไฮดรอริกลงในแม่พิมพ์โลหะ
ขนาด 20 x 150 x 2.5 mm 25
4.3 ผลการออกแบบการทดลอง 25
4.4 ผลการขึ้นรูปชิ้นงานตามมาตรฐาน 26
4.4.1 CMC กับผักตบชวา ที่อัตราส่วน 70:30 โดยน้ำหนัก 26
4.4.2 ผสม CMC กับผักตบชวา ที่อัตราส่วน 80:20 โดยน้ำหนัก 27
4.5 ผลการทดสอบแรงดัดโค้งแบบ 3 จุด 27

บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินการและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินการ 28
5.2 อภิปรายผล 29
5.3 ข้อเสนอแนะ 29

เอกสารอ้างอิง 30
ภาคผนวก ผ1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน..... 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของผักตบชวา 5
รูปที่ 2.2 แผนภูมิเปอร์เซ็นต์ขององค์ประกอบในผักตบชวา 6
รูปที่ 2.3 โครงสร้างโมเลกุลของ Sodium Carboxymethyl Cellulose 7
รูปที่ 2.4 มุมมองด้านหน้าของขนาดชิ้นงานทดสอบแรงดัดโค้งแบบ 3 จุด 9
รูปที่ 2.5 สิ่งทดลองสำหรับแผนการทดลองแบบเซฟเฟ่ซิมเพล็กซ์เซนทรอยด์ 10
รูปที่ 2.6 สิ่งทดลองสำหรับแผนการทดลองแบบซิมเพล็กซ์แอคเซียล 11
รูปที่ 3.1 ตะแกรงขนาด 850 ไมครอน 14
รูปที่ 3.2 ตู้อบลมร้อนยี่ห้อ MEMMERT รุ่น UF 30 14
รูปที่ 3.3 เครื่องให้ความร้อน OTPLATE MAGNETIC STIRRER HTS-1003 15
รูปที่ 3.4 เครื่องอัดขึ้นรูป 15
รูปที่ 3.5 เครื่องทดสอบแรงดัดโค้ง AG-X Series Shimadzu Precision Universal Tester 16
รูปที่ 3.6 ขั้นตอนการเตรียมผักตบชวา 17
รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการเตรียมตัวประสาน 18
รูปที่ 3.8 ขั้นตอนการผสมผักตบชวากับตัวประสาน 19
รูปที่ 3.9 การทดลองขึ้นรูปและการเซ็ตตัวของชิ้นงานต้นแบบ 20
รูปที่ 3.10 การทดลองขึ้นรูปชิ้นงานตามมาตรฐาน 21
รูปที่ 3.11 ชิ้นงานทดสอบแรงดัดโค้งแบบ 3 จุด 22
รูปที่ 4.1 การผสมเจลาตินกับผักตบชวา 24
รูปที่ 4.2 การผสม CMCกับผักตบชวา 24
รูปที่ 4.3 ลักษณะชิ้นงานในการขึ้นรูป 25
รูปที่ 4.4 อัตราส่วนผสมการทดลองสำหรับการออกแบบการทดลองแบบผสม 25
รูปที่ 4.5 ผลการขึ้นรูปชิ้นงานตามมาตรฐาน 26
รูปที่ 4.6 ผลการทดสอบแรงดัดโค้งแบบ 3 จุด 27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1
บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของงานวิจัย เรื่องการพัฒนาวัสดุเชิงประกอบจากผักตบชวา ดังแสดงในหัวข้อต่อไปนี้

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

1.1 ที่มาและความสำคัญ

น้ำ เป็นสิ่งสำคัญในการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต บนโลกของเรานั้นประกอบด้วยพื้นดินร้อยละ 30 หรือ 148 ล้านตารางกิโลเมตร และพื้นน้ำร้อยละ 70 มีส่วนในเชิงปริมาณน้ำทั้งหมด 3 สถานะ คือ ของแข็ง ของเหลว และก๊าซหรือประมาณ 1,385 ล้านลูกบาศก์เมตร [1] ซึ่งปัจจุบันทั่วโลกประสบปัญหามลภาวะเป็นพิษทางน้ำ ปัญหาอุทกภัย และระบบนิเวศในน้ำถูกทำลาย ปัญหาเหล่านี้เกิดได้จากหลายสาเหตุหนึ่งในนั้น คือ ผักตบชวา

การขยายพันธุ์เร็วเกินไปของผักตบชวาทำให้อากาศในน้ำไม่ไหลเวียน จึงส่งผลให้น้ำในแม่น้ำลำคลองเน่าเสีย [2] ซึ่งตามแหล่งน้ำตามธรรมชาติอาจเกิดจากการเน่าเสียได้เองเมื่ออยู่ในภาวะที่ขาดออกซิเจน ส่วนใหญ่มีสาเหตุเกิดจากการเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วของแพลงก์ตอนแล้วตายลงพร้อม ๆ กัน เมื่อจุลินทรีย์ทำการย่อยสลายซากแพลงก์ตอนทำให้ออกซิเจนในน้ำถูกนำไปใช้มาก [3] ผักตบชวาขวางทางไหลของน้ำเป็นอีกหนึ่งสาเหตุที่ทำให้เกิดน้ำท่วม เพราะเมื่อไหร่ที่ผักตบชวาอยู่รวมกันเป็นกลุ่มขนาดใหญ่ จะทำให้การไหลของน้ำช้าลงกว่าปกติ พวกกอผักตบชวาที่ลอยตามน้ำก็มักจะลอยไปกองรวมกันบริเวณใต้สะพานและประตูระบายน้ำ ทำให้ขวางทางไหลของน้ำ เมื่อฝนตกหนักหรือมีน้ำหลากก็จะทำให้น้ำระบายไม่ทัน จนทำให้น้ำล้นตลิ่งไหลเข้าท่วมบ้านเรือน และที่สำคัญซากผักตบชวาที่ตายก็จะทับถมกันในคลองจนทำให้คลองตื้นเขิน ทำให้มีโอกาสเกิดน้ำท่วมได้ง่ายขึ้น ผักตบชวาทำลายระบบนิเวศ หากบริเวณไหนมีผักตบชวาขึ้นหนาแน่น จะทำให้แสงส่องลงไปในน้ำไม่ได้ เป็นผลทำให้พืชน้ำที่เป็นอาหารของสัตว์น้ำลดน้อยลง เมื่อมีอาหารน้อยลงปลา และสัตว์น้ำต่าง ๆ ก็จะขาดแหล่งอาหารจนพากันตายในที่สุด และเมื่อบริเวณนั้นไม่มีปลา และสัตว์น้ำอาศัยอยู่ ก็จะเป็นแหล่งเพาะพันธุ์ยุงลาย และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บรรดาสัตว์ที่เป็นพาหะนำโรค อาทิ แมลงวัน หนู ฯลฯ ซึ่งอาจจะทำให้เกิดโรคระบาดอย่างไข้เลือดออก อหิวาตกโรค และโรคฉี่หนู เป็นต้น ที่สำคัญพวกกอผักตบชวายังเป็นที่หลบซ่อนของสัตว์มีพิษอีกด้วย [2]

ผักตบชวาถือเป็นวัชพืชที่มีอัตราการเจริญเติบโตสูง การแพร่พันธุ์ได้อย่างรวดเร็วจึงเป็นที่มาของสารพัดปัญหา โดยผักตบชวา 1 ต้น สามารถให้เมล็ดได้มากถึง 5,000 เมล็ด เมล็ดผักตบชวาเมื่ออยู่ในแหล่งน้ำยังสามารถมีชีวิตได้นานถึง 15 ปี นอกจากนี้ผักตบชวายังสามารถขยายพันธุ์ได้ด้วยการแตกหน่อ ผักตบชวาเพียง 2 ต้น สามารถแตกใบและเจริญเติบโตเป็นต้นได้เป็น 30 ต้น ภายในเวลา 20 วัน หรือเพิ่มน้ำหนักขึ้น 1 เท่าตัว ภายใน 10 วันเท่านั้น หลังจากนั้นจะสามารถขยายตัวครอบคลุมผิวน้ำได้อัตราร้อยละ 8 ต่อวัน การปล่อยผักตบชวาในแหล่งน้ำเพียง 10 ต้น จะสามารถแพร่กระจายเพิ่มปริมาณเป็น 1 ล้านต้นได้ภายในระยะเวลา 1 ปี [4] นอกจากนี้การมีธาตุอาหารในน้ำสูง ยังมีผลต่อการแพร่กระจายของผักตบชวาด้วยเช่นกัน อาทิเช่น พฤติกรรมของมนุษย์ โดยการเทน้ำที่มีผงซักฟอกลงในแม่น้ำลำคลอง หรือของเสียจากนิคมอุตสาหกรรม ซึ่งผงซักฟอกมีสารที่ชื่อ ไนเตรท ฟอสเฟต ที่เป็นแหล่งอาหารและแร่ธาตุชั้นดีของผักตบชวา ยิ่งได้รับเยอะก็ยิ่งแพร่กระจายได้ไว โตไว และโตเร็วมากยิ่งขึ้น [2]

จากปัญหาที่เกิดขึ้นผู้วิจัยเห็นว่าการนำผักตบชวาที่ส่งผลเสียต่อสภาพแวดล้อมมาสร้างประโยชน์ให้แก่สิ่งแวดล้อม ด้วยคุณสมบัติของก้านผักตบชวาที่แห้งนั้น มีคุณสมบัติที่เหนียว และทนมาก [5] จึงเหมาะสมแก่การนำมาขึ้นรูปเป็นวัสดุเชิงประกอบ วิจัยนี้จะนำผักตบชวามาเป็นวัตถุดิบหลักในการขึ้นรูปวัสดุต้นแบบ และใช้วัสดุจากธรรมชาติเป็นตัวประสาน โดยมีการผันแปรชนิดและปริมาณของผักตบชวากับตัวประสานด้วยการวิเคราะห์ทางสถิติ นอกจากนี้ยังศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและศึกษาเพื่อเพิ่มคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุต้นแบบ ซึ่งเป็นทางเลือกที่มีคุณค่าต่อสิ่งแวดล้อม

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างผักตบชวาและวัสดุประสานอินทรีย์ที่ไม่เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

ใช้ผักตบชวาอบแห้งผสมกับตัวประสาน CMC และ เจลาติน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นวิธีการลดปัญหาสิ่งแวดล้อมทางอ้อม โดยนำผักตบชวามาพัฒนาเป็นวัสดุเชิงประกอบ
2. วัสดุเชิงประกอบจากผักตบชวากับตัวประสานที่มีความแข็งแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.5 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

รายการ	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1. ศึกษาข้อมูล และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องของผักตบชวา ตัวประสาน การขึ้นรูป และการทดสอบ	←	→								
2. ทำการทดลองหาตัวประสานที่เหมาะสมที่สามารถขึ้นรูปได้			←	—	→					
3. ทำแม่พิมพ์ และนำสูตรที่ได้มาออกแบบการทดลองด้วย Mixture Design						←	→			
4. ทำการขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบ และทดสอบคุณสมบัติทางกล คุณสมบัติทางกายภาพของชิ้นงานต้นแบบ							←	—	→	
5. วิเคราะห์ผลทางสถิติ หาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม								←	→	
6. รวบรวมเนื้อหา และทฤษฎีทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์									←	→

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงลักษณะของวัตถุดิบหลัก สารประกอบ เครื่องมือและอุปกรณ์ การออกแบบการทดลอง และทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ซึ่งประกอบด้วยหัวข้อดังนี้

1. ผักตบชวา
2. เจลาติน
3. คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส
4. การทดสอบแรงดัดโค้ง
5. การออกแบบการทดลอง

2.1 ผักตบชวา

ผักตบชวานั้นเป็นพืชน้ำล้มลุก มีถิ่นกำเนิดอยู่ในประเทศบราซิล ทวีปอเมริกาใต้ แถบลุ่มแม่น้ำแอมะซอน ผักตบชวาได้รับการค้นพบครั้งแรกในปี พ.ศ. 2367 โดย Kari Von Matius นักพฤกษศาสตร์ชาวเยอรมัน และผักตบชวามีการขยายพันธุ์อย่างกว้างขวางไปในประเทศเขตร้อนและกึ่งเขตร้อนทั่วโลก สำหรับประเทศไทยผักตบชวาถูกนำเข้ามาจากประเทศอินโดนีเซีย ในปี พ.ศ. 2444 โดยนำมาปลูกครั้งแรกที่วังสระปทุม และได้แพร่กระจายออกไปตามแหล่งน้ำต่าง ๆ ทั่วประเทศ คนไทยมีชื่อเรียกผักตบชวาแตกต่างกันไปตามท้องถิ่น โดยภาคกลางใช้ชื่อ ผักปอด ผักตบปอง และผักสวะ ภาคใต้ใช้ชื่อ ผักตบ ภาคเหนือใช้ชื่อ ผักบัวลอย และภาคตะวันออกเฉียงเหนือใช้ชื่อผักโป่ง ผักบ่ง และผักปอง [6]

2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของผักตบชวา

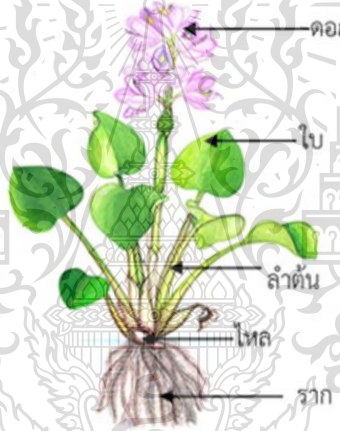
ผักตบชวามีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า Eichhornla Crassipes (Mart) Solms และมีชื่อสามัญว่า Lilac Devil หรือ Water Hyacinth เป็นพืชน้ำล้มลุกอยู่ในวงศ์ Pontederaceae โดยมีส่วนประกอบดังรูปที่ 2.1 ประกอบด้วย ลำต้นที่มีหัวราก (Rhizomatous System) ลักษณะอวบน้ำ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นประมาณ 5 - 6 เซนติเมตร และยาวประมาณ 30 เซนติเมตร ผิวลำต้นเรียบมีสีเขียวอ่อน และเข้ม กลุ่มใบเรียงกันเป็นกลีบชั้น (Rosettes) ใบเป็นใบเดี่ยวรูปไข่หรือเกือบกลม ก้านใบกลมอวบน้ำ ตรงกลางพองออก ภายในเป็นรูพรุน ช่วยพยุงลำต้นให้ลอยน้ำได้ มีไหลเกิดตามซอกใบ ซึ่งไหลจะเจริญเติบโตเป็นต้นอ่อน มีดอกสีม่วงอ่อนเป็นช่อ ซึ่งดอกมีดอกย่อย 3 - 25 ดอก มีกลีบดอก 6 ผักตบชวามีระบบรากเป็นรากฝอย โดยแตกออกจากข้อบนของลำต้น มีความยาวตั้งแต่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

10 - 90 เซนติเมตร และมีสีม่วงดำ ถ้าน้ำตื้นผักตบชวาจะหยั่งรากลงดิน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซึมธาตุอาหารต่าง ๆ

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

ผักตบชวาสามารถอยู่ได้ทุกสภาพน้ำ ทั้งน้ำสกปรก และน้ำสะอาด เจริญเติบโตได้ดีในน้ำที่มีค่า pH 4 - 10 และอุณหภูมิของน้ำไม่สูงกว่า 34 องศาเซลเซียส ส่วนประกอบส่วนมากของผักตบชวาประกอบไปด้วยน้ำ โดยลำต้นของผักตบชวาจะมีน้ำเฉลี่ยประมาณร้อยละ 95 ในใบร้อยละ 89 และในรากร้อยละ 96 [7,8]

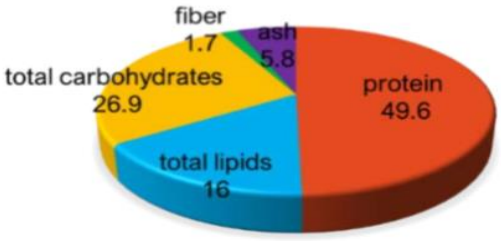


รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของผักตบชวา [9]

2.1.2 วัสดุฟิลเลอร์จากผักตบชวา

เส้นใยธรรมชาติ ได้จากอินทรียวัตถุที่หาได้ง่ายตามธรรมชาติ ทั้งจากพืช และสัตว์ รวมไปถึงสินแร่ต่าง ๆ เพราะมีปริมาณมาก สามารถเกิดขึ้นใหม่ได้ มีราคาถูกกว่าเส้นใยสังเคราะห์ มีการนำเส้นใยธรรมชาติจากพืชมาใช้ในการเสริมความแข็งแรงให้กับวัสดุผสมหรือวัสดุคอมโพสิต (Composite) มากมาย อาทิเช่น เส้นใยปอ เส้นใยสับปะรด เส้นใยปาล์ม เส้นใยมะพร้าว และผักตบชวา ซึ่งเป็นหนึ่งในเส้นใยธรรมชาติจากพืชที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ เนื่องจากผักตบชวามีองค์ประกอบที่สำคัญ ได้แก่ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน เส้นใย และเถ้าอื่น ๆ โดยแสดงร้อยละขององค์ประกอบต่าง ๆ ในผักตบชวาดังรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.2 แผนภูมิเปอร์เซ็นต์ขององค์ประกอบในผักตบชวา [8]

ซึ่งในการนำเส้นใยธรรมชาติจากพืชมาใช้ในการเสริมความแข็งแรงให้กับวัสดุผสมหรือวัสดุคอมโพสิต (Composite) มักใช้พืชที่มีองค์ประกอบของเส้นใย จากองค์ประกอบของผักตบชวานั้นจะเห็นได้ว่าในผักตบชวามีเส้นใย (Fiber) อยู่ประมาณ 1.7 เปอร์เซ็นต์ ถึงแม้ว่าจะมีอยู่ในปริมาณที่ไม่มาก แต่ก็สามารถทำการเสริมสร้างความแข็งแรงได้ เนื่องจากในเส้นใยประกอบไปด้วยองค์ประกอบทางเคมี 3 ชนิด คือ เซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) และลิกนิน (Lignin) โดยในผักตบชวามีปริมาณลิกนินสูง ซึ่งลิกนินในผักตบขวานี้มีคุณสมบัติในการยึดติดเป็นสารเชื่อมติดที่ดีผักตบชวาจึงเหมาะสมสำหรับเป็นฟิลเลอร์ในการสร้างชิ้นงานต้นแบบ

2.2 เจลาติน

เจลาติน คือ โปรตีนชนิดหนึ่งที่เกิดจากการสลายคอลลาเจน ด้วยกรดหรือด่าง มีลักษณะเป็นผงสีน้ำตาลอ่อน สามารถสกัดได้จากกระดูกและหนังสัตว์ เช่น วัว ควาย และหมู โดยใช้ความร้อน กรดหรือด่าง เพื่อย่อยหรือสลายให้โมเลกุลของคอลลาเจนให้เล็กลงเปลี่ยนเป็นเจลาติน เมื่อนำผงเจลาตินมาอุ่นด้วยน้ำที่อุณหภูมิประมาณ 32 องศาเซสเซียส เจลาตินจะหลอมกลายเป็นของเหลวหนืด ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นของเหลวจะกลายเป็นเจล (ลักษณะคล้ายเยลลี่) เจลาตินอีกชนิดหนึ่งที่น่าใจสำหรับมุสลิม คือ เจลาตินปลา ซึ่งเริ่มใช้ในทางการค้าเมื่อปี ค.ศ. 1993 มีราคาแพงกว่าเจลาตินจากหมู และวัว ให้กลิ่นที่ไม่ดี แต่ก็ยังมีใช้ในผลิตภัณฑ์บางชนิด เช่น น้ำผลไม้ อย่างไรก็ตามด้วยข้อเสียที่กล่าวมาข้างต้นจึงยังไม่นิยมใช้ในทางการค้า นอกจากนี้ยังมีการนำเจลาตินมาใช้ในการเป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น เครื่องสำอาง ยา อาหาร และฟิลม์ถ่ายรูป แล้วทางเภสัชกรรมจะใช้เจลาตินในการเคลือบเม็ดยา โดยจะผลิตเป็นแคปซูล ทั้งชนิดแคปซูลแข็งและแคปซูลนิ่มเพื่อใช้บรรจุยา ใช้เป็นสารเพิ่มความหนืดในตำรับยาต่าง ๆ ใช้เป็นส่วนผสมของยาชนิดครีม สำหรับทางเกษตรใช้เป็นตัวกลางสำหรับแร่ธาตุที่จำเป็นในการปลูกพืช เป็นต้น [10] การใช้เจลาตินทำให้เกิดปฏิกิริยา Gelatinization หรือการทำให้เกิดเจลในสินค้า

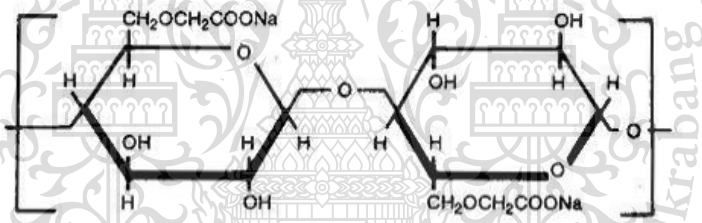
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.2.1 คุณสมบัติของเจลาติน

เจลาตินจะมีเนื้อเจลได้หลายรูปแบบ (หรือหลาย Structure) ขึ้นอยู่กับขนาด Bloom [11] โดยปกติแล้วเจลาตินมีความแข็งของเจลอยู่ที่ 80 ถึง 280 Bloom และมีความหนืดอยู่ ที่ 20 – 45 MPs [12] ด้วยคุณสมบัติยึดเกาะที่เหนียวมากจึงช่วยเป็นตัวประสาน (Binder)

2.3 คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส (CMC)

CMC หรือโซเดียมคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส (Sodium Carboxymethyl Cellulose) เป็นไฮโดรคอลลอยด์ (Hydrocolloid) คือ พอลิเมอร์ชนิดชอบน้ำ (Hydrophilic) ที่เป็นคาร์โบไฮเดรตซึ่งเป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลส ไฮโดรคอลลอยด์ชนิดนี้เป็นไฮโดรคอลลอยด์ที่ดัดแปรจากสารที่ได้จากธรรมชาติ (Modified Natural Hydrocolloids) เกิดจากการแปรหรือปรับปรุงคุณสมบัติของเซลลูโลสซึ่งเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืชให้เกิดการแทนที่โครงสร้างเดิมด้วยหมู่เมธิลและหมู่คาร์บอกซิเมทิล ซึ่งมีโครงสร้างโมเลกุล ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 โครงสร้างโมเลกุลของ Sodium Carboxymethyl Cellulose [13]

2.3.1 คุณสมบัติของ CMC

CMC ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆอย่างแพร่หลาย อาทิเช่น อุตสาหกรรมการซักฟอกสี กาว สิ่งทอ กระดาษ เซรามิก อาหาร และยา เนื่องจาก CMC มีลักษณะเป็นของแข็งสีขาวไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่เป็นอันตราย ไม่มีผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม ละลายน้ำได้ดี มีคุณสมบัติเป็นสารเพิ่มความหนืดที่ช่วยในการยึดเกาะ และเป็นสารคงสภาพ สำหรับการใช้ประโยชน์ CMC ในอุตสาหกรรมอาหาร จะใช้เป็นสารให้ความหนืดในไอศกรีม ใช้เป็นสารเคลือบผิวแคปซูลยาหรือเป็นสารก่อให้เกิดการเป็นเจลทางด้านเภสัชกรรม เป็นต้น [13]

2.4 การทดสอบแรงดัดโค้ง

การทดสอบแรงดัดโค้งแบบจุดรองรับ 3 จุด (Three-Point Bending) เหมาะสำหรับชิ้นทดสอบที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้น้อย จะติดตั้งชิ้นทดสอบเข้ากับฐานรองรับสองจุด และให้แรงกระทำที่จุดกึ่งกลางของชิ้นทดสอบ หัวกด และจุดรองรับที่ใช้จะมีลักษณะเป็น หัวมน (Round Edge) หรือเพลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

โลหะแข็งก็ได้ เพื่อลดความเข้มของความเค้น (Stress Concentration) ที่กระทำกับจุดสัมผัสดังกล่าว จนนำไปสู่การแตกหักบริเวณจุดสัมผัสนั้น สำหรับค่าการ ต้านทานแรงดัดโค้ง (Flexural Strength, σ_f) ที่ได้จากการทดสอบจะเป็นค่าความเค้นแรงดัดโค้งสูงสุด (Maximum Flexural Stress) ของชิ้นทดสอบในขณะที่เสียหาย สามารถคำนวณได้ ดังสมการที่ 2.1

$$\sigma_f = \frac{3PL}{2bd^2} \tag{2.1}$$

เมื่อ σ_f = ค่าการต้านทานแรงดัดโค้งของชิ้นทดสอบ (MPa)
P = แรงกระทำที่บริเวณกึ่งกลางของชิ้นทดสอบ (N)
L = ระยะห่างระหว่างแท่นวางชิ้นทดสอบ (mm)
b = ความกว้างของชิ้นทดสอบ (mm)
d = ความหนาของชิ้นทดสอบ (mm)

ค่าความเครียดแรงดัดโค้ง (Flexural Strain, ε_f) เป็นสัดส่วนของการเปลี่ยนแปลงความยาวของผิวด้านล่างที่บริเวณกึ่งกลางของชิ้นทดสอบ สามารถคำนวณค่าความเครียดสูงสุดได้ ดังสมการที่ 2.2

$$\varepsilon_f = \frac{6Dd}{L^2} \tag{2.2}$$

เมื่อ ε_f = ความเครียดที่ผิวล่างของชิ้นทดสอบ (mm/mm)
D = ระยะยุบตัวสูงสุดที่จุดกึ่งกลางของชิ้นทดสอบ (mm)

ค่ามอดูลัสแรงดัดโค้ง (Flexural Modulus หรือ Flexural Modulus of Elasticity, E_f) เป็นค่าที่นิยมใช้บอกความแกร่ง (Stiffness) ของวัสดุจากการทดสอบแรงดัดโค้ง ซึ่งเป็นการศึกษาพฤติกรรมของอัตราส่วนระหว่างความเค้นต่อความเครียดในช่วงยืดหยุ่นเชิงเส้นตรง สามารถคำนวณได้จากความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำ และระยะยุบตัว (Load-Deflection Curve) [14] ดังสมการที่ 2.3

$$E_f = \frac{mL^3}{4bd^3} \tag{2.3}$$

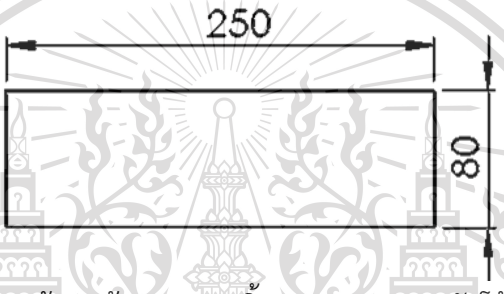
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เมื่อ E_f = ค่ามอดูลัสแรงดัดโค้ง (MPa)

m = ความชันของเส้นตรงที่ลากผ่านกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและระยะยุบตัวในช่วงยืดหยุ่นเชิงเส้นตรง (N/mm)

2.4.1 มาตรฐานการทดสอบแรงดัดโค้งของวัสดุเชิงประกอบ

การทดสอบแรงดัดโค้งของวัสดุเชิงประกอบไม้พลาสติก ตามมาตรฐานการทดสอบแรงดัดโค้งแบบ 3 จุดของวัสดุเชิงประกอบ ASTM D1037 รูปร่างของชิ้นงานทดสอบหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีขนาดเท่ากับ 250 x 80 x 10 mm [15] ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 มุมมองด้านหน้าของขนาดชิ้นงานทดสอบแรงดัดโค้งแบบ 3 จุด

2.5 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองเป็นการออกแบบเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความเหมาะสม โดยการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) ซึ่งอาศัยแบบจำลองหรือสมการทางคณิตศาสตร์มาอธิบายความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ สามารถศึกษาผลของหลาย ๆ ปัจจัยพร้อมกันในเวลาเดียวกัน ด้วยวิธีใช้จำนวนการทดลองน้อยกว่าการศึกษาทีละปัจจัย การออกแบบการทดลองจึงเป็นวิธีการเก็บข้อมูลที่มีประสิทธิภาพโดยการเปลี่ยนแปลงหรือปรับค่าของปัจจัย (Factors) อย่างมีจุดมุ่งหมายที่จะสังเกตการเปลี่ยนแปลงของผลตอบ (Response) ที่เกิดขึ้น

กระบวนการที่มีปัจจัย (Factors) หรือผลตอบ (Response: $\mathbf{X_1}, \mathbf{X_2}, \mathbf{X_3}, \mathbf{X_4}$) ต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อค่า Y ซึ่งเป็นคุณลักษณะด้านคุณภาพ (Quality Characteristic) ของกระบวนการในการออกแบบการทดลองเราต้องทำการทดลองอย่างเป็นระบบเพื่อที่จะหาความสัมพันธ์เชิงสถิติของ Y และ X อื่น ๆ โดยที่พยายามใช้ทรัพยากรในการทดลองให้มีประสิทธิภาพมากที่สุดความสัมพันธ์เชิงสถิติที่ได้จะทำให้มีความรู้เกี่ยวกับกระบวนการ (Process Knowledge) เพื่อนำไปปรับปรุงกระบวนการต่อไป

2.5.1 การออกแบบการทดลองแบบส่วนผสม (Mixture Design)

เป็นการออกแบบการทดลองเพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมของปัจจัยเชิงปริมาณตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป โดยยึดหลักว่าผลรวมปริมาณของปัจจัยทั้งหมดจะต้องเป็น 1.0 (หรือ 100 เปอร์เซ็นต์) เสมอ กล่าวคือ เมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปัจจัยหนึ่งมีปริมาณที่เพิ่มขึ้น ย่อมทำให้ปัจจัยอื่น ๆ มีสัดส่วนลดลง ซึ่งแตกต่างจากการทดลองที่ไม่ใช่แบบผสม (Mixture) ที่ตัวแปรแต่ละตัวเป็นอิสระจากกัน การออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมมีแบบแผนการออกแบบย่อยแบ่งได้เป็น 4 แบบ ดังนี้

2.5.1.1 <u>การออกแบบแบบเชฟเฟ่ซิมเพล็กซ์แล็คทิส (Scheffe' Simplex-Lattice)</u>

พิกัด (Coordinate) ซึ่งเป็นส่วนประกอบต่าง ๆ ของการทดลอง โดยแต่ละตัวแปรสามารถคำนวณระดับได้ ดังสมการที่ 2.4

$$x_i = 0, \frac{1}{m}, \frac{2}{m}, \ldots, 1 \qquad (2.4)$$

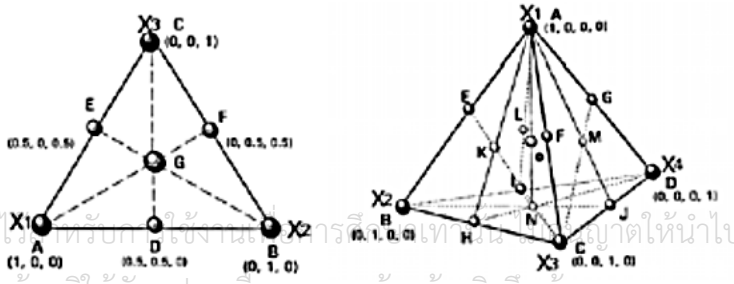
โดยที่ $i = 1,2,3, \ldots, q$

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

สำหรับในกรณีที่มีจำนวนส่วนผสม (q) เท่ากับ 3 หรือมี 3 ปัจจัยเป็นตัวอย่างที่นิยมใช้แสดงให้เห็นถึงการออกแบบดังกล่าว หาก m = 3 พิกัดที่ได้เป็นส่วนประกอบของ x_1, x_2และ x_3 จะเป็น 0, 1/3 และ 2/3 ตามลำดับ

2.5.1.2 <u>การออกแบบแบบเชฟเฟ่ซิมเพล็กซ์เซนทรอยด์ (Scheffe' Simplex-Centroid)</u>

เป็นการออกแบบการทดลองที่มีสิ่งทดลองเท่ากับ $2^q - 1$ แต่ละปัจจัยมีสัดส่วนที่เท่ากันทุกปัจจัย สิ่งทดลองประกอบด้วยจุดที่เป็นส่วนผสมเดี่ยว (Pure Component) ต่าง ๆ หมายถึง สิ่งทดลองที่มีปัจจัยนั้น 100 เปอร์เซ็นต์ หรือเท่ากับ 1.0 และ 0.5, 0.5, 0, ... , 0 เป็นส่วนผสมคู่ (Binary Mixtures) และ 1/3, 1/3, 1/3, 0, ... , 0 สำหรับส่วนผสม 3 ชนิด และ 1 / q, 1 / q, 0, ... , 0 สำหรับส่วนผสมแบบคิวนารี่ (Q-Nary Mixtures; Centroid) และจุดกึ่งกลาง (1/q, 1/q, ..., 1/q) ตัวอย่างของสิ่งทดลองต่าง ๆ สำหรับ 3 และ 4 ปัจจัย ดังรูปที่ 2.5

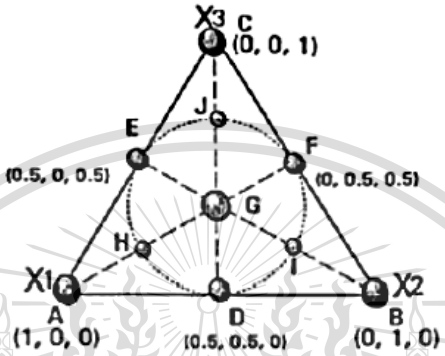


รูปที่ 2.5 สิ่งทดลองสำหรับแผนการทดลองแบบเชฟเฟ่ซิมเพล็กซ์เซนทรอยด์ [16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.5.1.3 <u>การออกแบบแบบซิมเพล็กซ์แอคเซียล (Simplex-Axial)</u>

เป็นการออกแบบการทดลองโดยเน้นจุดที่เป็นส่วนประกอบต่าง ๆ ของทุกปัจจัย สังเกตจากจุดเอช (H) ไอ (1) และเจ (J) โดยจุดทั้ง 3 ดังกล่าว มาจากจุดกึ่งกลางของแต่ละส่วนย่อย ดังรูปที่ 2.6 หากพิจารณาจุดเอ (A) ดี (D) และอี (E) จะมีลักษณะเป็นสามเหลี่ยมย่อย โดยมีจุดเอช (H) เป็นจุดกึ่งกลางสามเหลี่ยมดังกล่าว ซึ่งเป็นเช่นเดียวกับจุดไอ (I) และเจ (J)



รูปที่ 2.6 สิ่งทดลองสำหรับแผนการทดลองแบบซิมเพล็กซ์แอคเซียล [16]

2.5.1.4 <u>การออกแบบแบบเอ็กซ์ทรีมเวอร์ทิส (Extreme Vertices)</u>

เป็นการออกแบบการทดลองแบบที่มีข้อจำกัดสัดส่วน (Design with Constraints on Proportion) หรือแบบที่มีข้อจำกัด (Constrained Mixture Design) กล่าวคือ แผนการทดลองนี้ระดับในแต่ละปัจจัยไม่จำเป็นต้อง เป็น 0 - 100 เปอร์เซ็นต์ โดยอาจเป็น 30 - 40 เปอร์เซ็นต์ (0.30 - 0.40) หรือ 15 - 25 เปอร์เซ็นต์ (0.15 - 0.25) เป็นต้น สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากความจำเป็นโดยพื้นฐานในการทดสอบบางอย่าง เช่น ในการผลิตอาหารบางชนิดที่มีส่วนผสมของกลูเตน โปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง (Soy Protein Isolated) และน้ำ พบว่าต้องมีส่วนผสมของกลูเตนและโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง รวมกันอย่างน้อย 50 เปอร์เซ็นต์ (ใช้ในปริมาณเท่ากันชนิดละ 25 เปอร์เซ็นต์) จึงสามารถจับเป็นก้อนเพื่อทำการรีดเป็นแผ่นได้ ดังนั้นส่วนผสมของกลูเตนและโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองที่ต่ำกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ จึงไม่เป็นที่สนใจขณะเดียวกันพบว่าหากมีน้ำต่ำกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ จะไม่สามารถปั้นให้เป็นก้อนได้ ดังนั้นจึงอาจกำหนดเฉพาะปริมาณขั้นต่ำของส่วนผสมแต่ละชนิดเป็น 25 เปอร์เซ็นต์ 25 เปอร์เซ็นต์ และ30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยให้สังเกตว่าปริมาณขั้นต่ำของส่วนผสมทั้งสามรวมกันต้องไม่เกินหรือเท่ากับ100 เปอร์เซ็นต์ อย่างเด็ดขาด ไม่เช่นนั้นจะมีเพียงส่วนผสมเดียวที่เป็นไปได้หรือไม่มีส่วนผสมใดที่เป็นไปได้เลย

นอกจากนี้แม้ว่าการวางแผนจำเป็นต้องให้ปัจจัยที่ทำการศึกษาในแต่ละสิ่งทดลองรวมกันเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่จำเป็นที่ต้องนำทุกปัจจัยมาศึกษาพร้อมกันในส่วนผสมของแต่ละสิ่งทดลองอาจมีปัจจัยจำนวนมาก แต่สนใจศึกษาเพียง 3 ปัจจัยสามารถใช้แผนการทดลองแบบผสมได้เช่นมีส่วนในผลิตภัณฑ์จำนวน 10 ปัจจัย คือ เอถึงเจ (A - J) แต่สนใจเฉพาะปัจจัยปี (B) ซี (C) และดี (D) ซึ่งทั้ง 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปัจจัยดังกล่าวมีสัดส่วนคิดเป็น 18 เปอร์เซ็นต์ของส่วนผสมทั้งหมดสามารถนำปัจจัย B, C และ D มากำหนดเป็นสิ่งทดลองต่าง ๆ ซึ่งมีส่วนผสมที่ต่าง ๆ กัน และในส่วนผสมแต่ละสิ่งทคลองที่ได้ให้คิดเป็น 18 เปอร์เซ็นต์ ส่วนอีก 82 เปอร์เซ็นต์ ที่เหลือกำหนดให้ใช้ในปริมาณคงที่หรือเป็นปัจจัยคงที่ (Fixed Variables) ในทุกสิ่งทดลอง [16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการ

ในงานศึกษาวิจัยนี้มุ่งเน้นการผลิตชิ้นงานต้นแบบวัสดุเชิงประกอบจากผักตบชวาด้วยกระบวนการกดขึ้นรูป และอบชิ้นงานต้นแบบให้แห้ง ซึ่งบทนี้จะกล่าวถึงกระบวนการดำเนินงาน การสร้างชิ้นงานต้นแบบ และการทดสอบแรงดัดโค้งแบบ 3 จุด โดยมีขั้นตอน และวิธีการดำเนินงานดังนี้

1. การสร้างชิ้นงานต้นแบบ
2. การทดสอบแรงดัดโค้งแบบ 3 จุด

3.1 การสร้างชิ้นงานต้นแบบ

จากการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุของฟิลเลอร์ และวัสดุของตัวประสาน จึงแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน ในส่วนที่ 1 การทดลองหาตัวประสานที่เหมาะสม โดยทดลองผสมระหว่างผักตบชวากับตัวประสาน 2 ชนิด คือ เจลาติน และ CMC การทดลองหาวิธีการขึ้นรูปชิ้นงาน โดยทดลองขึ้นรูปผักตบชวากับตัวประสานกับการกดด้วยมือลงในบล็อคพลาสติก และเครื่องกดอัดไฮดรอริกลงในแม่พิมพ์โลหะ และการเซ็ตตัวของชิ้นงาน การทดลองหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเซ็ตตัวของชิ้นงานโดยใช้ตู้อบลมร้อน และการปล่อยชิ้นงานให้เซ็ตตัวในอุณหภูมิห้อง จากนั้นวิเคราะห์ชิ้นงานที่ได้เพื่อเลือกตัวประสาน วิธีการขึ้นรูปและวิธีการเซ็ตตัวที่เหมาะสม ส่วนที่ 2 การทดลองสร้างชิ้นงานต้นแบบ โดยนำตัวประสาน วิธีการขึ้นรูปและวิธีการเซ็ตตัวที่เหมาะสมจากการทดลองในส่วนที่ 1 มาทำการออกแบบการทดลองแบบผสมด้วยโปรแกรม Minitab 18 และทดลองขึ้นรูปตามมาตรฐานชิ้นงานต้นแบบ ดังนี้

3.1.1 วัสดุและเครื่องมือ

วัสดุและเครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินการในส่วนที่ 1 และส่วนที่ 2 มีรายละเอียด ดังนี้

3.1.1.1 <u>ลำต้นผักตบชวา</u>

ผักตบชวาที่ใช้ในการศึกษาเก็บจากบริเวณริมแม่น้ำ ลำคลอง ภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าจอมคุณทหารลาดกระบัง

3.1.1.2 <u>วัสดุประสาน</u>

วัสดุประสานที่ใช้ในการศึกษาได้จากบริษัทกรุงเทพเคมี ซึ่งนำเข้าจากประเทศจีนในปริมาณอย่างละ 1 กิโลกรัม มี 2 ชนิด ได้แก่ เจลาตินที่ความหนืด 250 Bloom และ CMC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.1.1.3 อุปกรณ์

1. บีกเกอร์ และแท่งแก้วคนสาร
2. เครื่องปั่นผัก ผลไม้
3. เครื่องชั่งสาร
4. ตะแกรงขนาด 850 ไมครอน (ทรงวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 15.5 cm ลึก 4.5 cm)
5. สารป้องกันความชื้น
6. เทอร์โมมิเตอร์

รูปที่ 3.1 ตะแกรงขนาด 850 ไมครอน [17]

3.1.1.4 บล็อคพลาสติกและแม่พิมพ์โลหะ

แม่พิมพ์ที่ใช้ในการศึกษาในส่วนที่ 1 ได้แก่ บล็อคพลาสติก ขนาด 31.31 x 70.6 x 12.58 mm กับแม่พิมพ์โลหะ ขนาด 20 x 150 x 2.5 mm และในส่วนที่ 2 แม่พิมพ์โลหะตามมาตรฐาน ASTM D1037 ขนาด 80 x 250 x 10 mm

3.1.1.5 ตู้อบลมร้อน

ตู้อบลมร้อนหรือตู้อบแห้ง ใช้สำหรับการอบวัสดุ ในการศึกษานี้ใช้ตู้อบลมร้อนแบบมีพัดลม ยี่ห้อ MEMMERT รุ่น UF 30 ดังรูปที่ 3.2

รูปที่ 3.2 ตู้อบลมร้อนยี่ห้อ MEMMERT รุ่น UF 30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

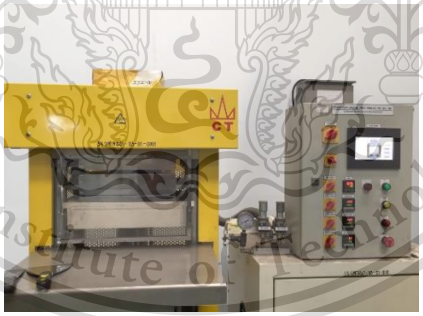
3.1.1.6 <u>เครื่องให้ความร้อน</u>

เครื่องให้ความร้อน (Hot Plate) เป็นอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการใช้สำหรับให้ความร้อนใน การศึกษานี้ใช้เครื่องให้ความร้อน OTPLATE MAGNETIC STIRRER HTS-1003 ดังรูปที่ 3.3

รูปที่ 3.3 เครื่องให้ความร้อน OTPLATE MAGNETIC STIRRER HTS-1003

3.1.1.7 <u>เครื่องอัดขึ้นรูป</u>

เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding Machines) หรือเครื่องกดไฮดรอลิก ใช้สำหรับการกดขึ้นรูปชิ้นงานตามแม่แบบโดยทั่วไป ดังรูปที่ 3.4

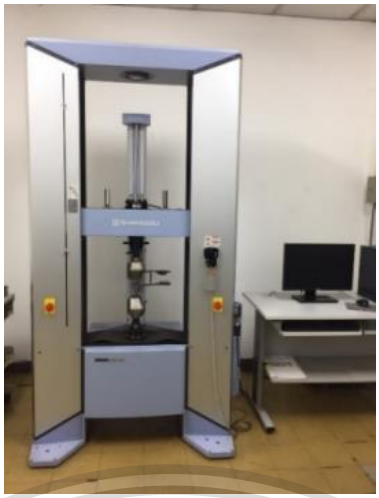


รูปที่ 3.4 เครื่องอัดขึ้นรูป

3.1.1.8 <u>เครื่องทดสอบแรงดัดโค้ง</u>

เครื่องทดสอบแรงดัดโค้ง เป็นเครื่องทดสอบที่มีฟังก์ชั่นการใช้งานหลากหลาย สามารถทดสอบแรงดึง แรงดัดโค้ง การกด ในการศึกษานี้ใช้เครื่องทดสอบแรงดัดโค้ง คือ AG-X Series Shimadzu Precision Universal Tester ดังรูปที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.5 เครื่องทดสอบแรงดัดโค้ง AG-X Series Shimadzu Precision Universal Tester

3.1.2 วิธีการหาตัวประสานที่เหมาะสม

3.1.2.1 <u>ขั้นตอนการเตรียมผักตบชวา</u>

1. นำผักตบชวามาตัดส่วนใบ และรากทิ้ง ใช้เฉพาะส่วนลำต้น
2. นำส่วนลำต้นมาล้างทำความสะอาด
3. หั่นผักตบชวา 0.5 – 1 เซนติเมตร
4. นำไปปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่น
5. บีบเอาน้ำออกด้วยผ้าขาวบาง และตากแดดระยะเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง เพื่อระเหยความชื้นเบื้องต้น
6. นำเข้าตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 75 – 80 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 1 – 2 ชั่วโมง
7. เขย่าคัดขนาดด้วยตะแกรง 850 ไมครอน เพื่อใช้เป็นฟิลเลอร์ในการสร้างชิ้นงานทดสอบ
8. ทิ้งให้เย็นตัว เก็บใส่ถุงซิปล็อค และใส่สารป้องกันความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 3.6 ขั้นตอนการเตรียมผักตบชวา (ก) ก้านผักตบชวา (ข) ผักตบชวาที่ผ่านการหั่น (ค) การเขย่าคัดขนาดผักตบชวาด้วยตะแกรง (ง) ผักตบชวาแห้งในถุงซิปล็อค (จ) ผักตบชวาตากแดด (ฉ) ผักตบชวาอบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.1.2.2 ขั้นตอนการเตรียมตัวประสาน

1. เจลาติน (250 Bloom)

อัตราส่วนผสม

เจลาตินต่อน้ำในอัตราส่วน 1:5 โดยน้ำหนัก [18]

ขั้นตอนการเตรียม

ชั่งปริมาณเจลาตินกับน้ำให้ได้น้ำหนักตามอัตราส่วนที่คำนวณ และละลายเจลาตินในน้ำที่อุณหภูมิ 50 – 55 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 20 นาที [19]

2. CMC

อัตราส่วนผสม

CMC ต่อน้ำในอัตราส่วน 3:97 [20] และ 5:95 โดยน้ำหนัก

ขั้นตอนการเตรียม

ชั่งปริมาณ CMC กับน้ำให้ได้น้ำหนักตามอัตราส่วนที่คำนวณ และละลาย CMC ในน้ำที่อุณหภูมิห้อง [20] โดยใส่ผง CMC ทีละน้อยพร้อมกับคนด้วยความเร็วสูง ระยะเวลา 14 – 20 นาที

รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการเตรียมตัวประสาน (ก) ตัวประสานเจลาติน (ข) ตัวประสาน CMC

3.1.2.3 ขั้นตอนการผสมผักตบชวากับตัวประสาน

ในรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2 จะทำการผสมด้วยอัตราส่วน และวิธีเดียวกันทั้งหมด โดยการผสมผักตบชวากับตัวประสานตามอัตราส่วน และกดด้วยมือลงในแผ่นเหล็กรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 90 x 90 mm จำนวน 2 แผ่น ในอัตราส่วนตั้งต้น คือ 70:30 [14] ดังนี้

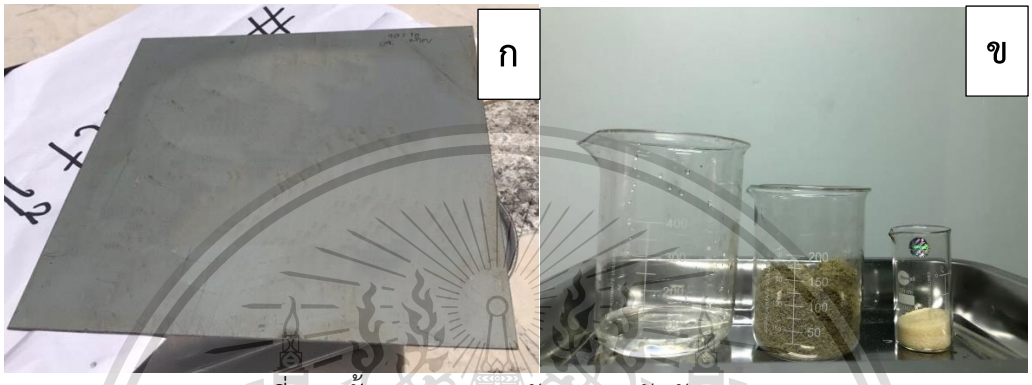
รูปแบบที่ 1 : ผสมเจลาตินกับผักตบชวาในอัตราส่วน ดังนี้

1. อัตราส่วน 70:30 (ใช้เจลาติน 7.0096 กรัม และผักตบชวา 3.0050 กรัม)
2. อัตราส่วน 80:20 (ใช้เจลาติน 7.9731 กรัม และผักตบชวา 2.0077 กรัม)
3. อัตราส่วน 90:10 (ใช้เจลาติน 18.1500 กรัม และผักตบชวา 2.0833 กรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปแบบที่ 2 : ผสม CMC กับผักตบชวา ดังนี้

1. อัตราส่วน 60:40 (ใช้ CMC 4.5030 กรัม และผักตบชวา 3.0040 กรัม)
2. อัตราส่วน 70:30 (ใช้ CMC 7.0388 กรัม และผักตบชวา 3.0097 กรัม)
3. อัตราส่วน 80:20 (ใช้ CMC 12.1948 กรัม และผักตบชวา 3.0487 กรัม)
4. อัตราส่วน 90:10 (ใช้ CMC 27.4840 กรัม และผักตบชวา 3.0472 กรัม)



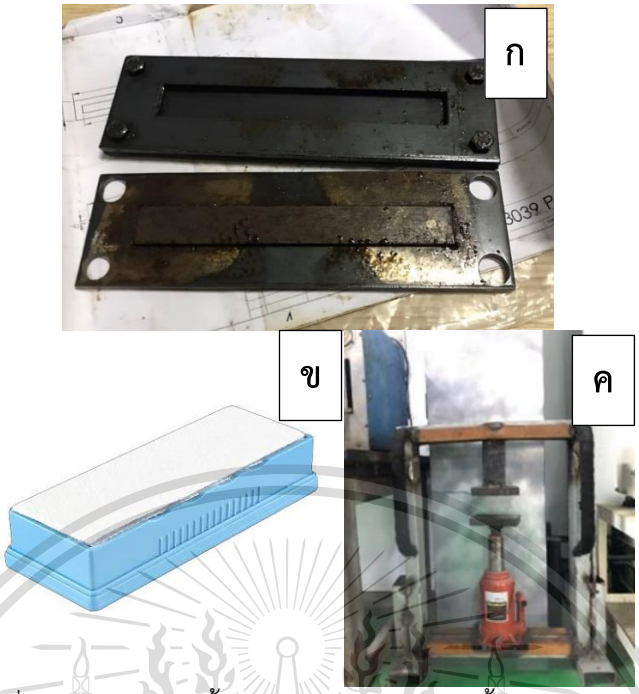
รูปที่ 3.8 ขั้นตอนการผสมผักตบชวากับตัวประสาน
(ก) แผ่นเหล็กรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 90 x 90 mm (ข) การเตรียมส่วนผสม

3.1.2.4 <u>การทดลองขึ้นรูปและการเซ็ตตัวของชิ้นงานต้นแบบ</u>

ทดลองขึ้นรูปและการเซ็ตตัวชิ้นงาน โดยจากการผสม CMC กับผักตบชวา ดังนี้

1. การกดขึ้นรูปด้วยมือ ลงในบล็อคพลาสติก ขนาด 31.31 x 70.6 x 12.58 mm
2. การกดขึ้นรูปด้วยเครื่องกดอัดไฮดรอริก ลงในแม่พิมพ์โลหะ ขนาด 20 x 150 x 2.5 mm
3. การเซ็ตตัวของชิ้นงาน ด้วยตู้อบลมร้อน (ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เวลา 20 – 30 นาที)
4. การเซ็ตตัวของชิ้นงาน ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง (2 – 3 วัน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.9 การทดลองขึ้นรูปและการเซ็ตตัวของชิ้นงานต้นแบบ
(ก) แม่พิมพ์โลหะ ขนาด 20 x 150 x 2.5 mm
(ข) บล็อคพลาสติก ขนาด 31.31 x 70.6 x 12.58 mm (ค) เครื่องกดอัดไฮดรอริก

3.1.3 การออกแบบการทดลอง

เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ผลทางสถิติ และออกแบบการทดลอง คือ โปรแกรม Minitab 18 จาก 3.1.2 ในการหาตัวประสานที่เหมาะสม เมื่อทราบตัวประสานที่เหมาะสมแล้ว จึงหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของผักตบชวา และตัวประสานดังกล่าว โดยออกแบบการทดลอง ดังนี้

นำค่าสูงสุด และต่ำสุดของผักตบชวา และCMC คำนวณแบบสุ่มหาค่าจำนวนของการทดลองในโปรแกรม Minitab 18 ด้วยวิธีการออกแบบการทดลองแบบผสม (Mixture Design) แบบ Extreme Vertices โดยไม่มีการทำซ้ำ ซึ่งจะได้จำนวนการทดลองจากโปรแกรมที่มีค่าอัตราส่วนระหว่างผักตบชวากับ CMC เพื่อทำการทดลองขึ้นรูปชิ้นงานตามแม่พิมพ์มาตรฐานต่อไป

3.1.4 การขึ้นรูปชิ้นงานตามมาตรฐาน

ตามอัตราส่วนที่ได้ออกแบบการทดลองไว้ คือ 70:30, 75:25, 80:20, 85:15 และ 90:10 โดยน้ำหนัก โดยขึ้นรูปชิ้นงานตามมาตรฐาน ดังขั้นตอนต่อไปนี้

1. ออกแบบและจัดทำแม่พิมพ์ให้เป็นไปตามมาตรฐานการทดสอบแรงดัดโค้ง 3 จุด ของวัสดุเชิงประกอบไม้พลาสติก ASTM D1037 ซึ่งกำหนดให้ชิ้นงานเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด 250 x 80 mm และความหนา 10 mm

2. นำฟอยล์ปูบริเวณ Punch และPlate พร้อมขันน็อตแม่พิมพ์ ผสมผักตบชวากับ CMC ตามอัตราส่วนผสมที่ได้จากโปรแกรม จากนั้นนำส่วนผสมใส่ในแม่พิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3. นำแม่พิมพ์เข้าเครื่องอัดขึ้นรูป ทดลองปรับค่าอุณหภูมิ ความดัน และเวลาในการกดอัดให้เหมาะสมของแต่ละชิ้นงาน โดยอ้างอิงเริ่มต้นที่ 150 องศาเซลเซียล 55 บาร์ และ 15 นาที [14] ตามลำดับ

4. นำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ ลอกฟอยล์ และนำชิ้นงานเข้าตู้อบลมร้อน ทดลองขึ้นรูปและการเซ็ตตัวของชิ้นงานต้นแบบ ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที

5. เมื่อครบเวลา นำชิ้นงานออกจากตู้อบลมร้อนทิ้งไว้ 10 นาที เพื่อให้ชิ้นงานเย็นตัว จากนั้นเก็บชิ้นงานทดสอบไว้ในถุงซิปล็อคที่มีสารป้องกันความชื้น

รูปที่ 3.10 การทดลองขึ้นรูปชิ้นงานตามมาตรฐาน (ก) แม่พิมพ์ตามมาตรฐาน
(ข) การนำส่วนผสมใส่ในแม่พิมพ์ (ค) การนำแม่พิมพ์เข้าเครื่องอัดขึ้นรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2 การทดสอบแรงดัดโค้งแบบ 3 จุด

นำชิ้นงานต้นแบบโดยเลือกจาก 3.1.2.3 รูปแบบที่ 2 ในอัตราส่วนระหว่างตัวประสานกับผักตบชวา 80:20 ขึ้นรูปด้วยมือโดยใช้บล็อคพลาสติก และผ่านการอบด้วยตู้อบลมร้อน ทดสอบแรงดัดโค้งแบบ 3 จุด โดยมีเงื่อนไข คือ ภาระกรรมสูงสุด 5 kN กำหนดระยะห่างแท่นวางชิ้นทดสอบ (Support Span Length) เท่ากับ 40 mm ความเร็วที่ใช้ในการกดชิ้นงาน (Crosshead Speed) เท่ากับ 1.3 mm/min ที่อุณหภูมิห้อง [14] ดังรูปที่ 3.11 จากนั้นคำนวณค่าการต้านทานแรงดัดโค้ง ค่าความเครียดแรงดัดโค้ง และค่ามอดูลัสแรงดัดโค้ง ตามสมการที่ 2.1, 2.2 และ2.3

รูปที่ 3.11 ชิ้นงานทดสอบแรงดัดโค้งแบบ 3 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 4
ผลการดำเนินการ

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองทั้งหมดที่ได้ศึกษาในงานวิจัยนี้ ด้วยผลการทดลองหาตัวประสานที่เหมาะสม ผลการทดลองการกดขึ้นรูปชิ้นงาน ผลการออกแบบการทดลอง ผลการขึ้นรูปชิ้นงานตามมาตราฐาน และผลการทดสอบแรงดัดโค้งแบบ 3 จุด โดยผลการทดลองดังกล่าว มีรายละเอียดดังนี้

1. ผลการทดลองหาตัวประสานที่เหมาะสม
2. ผลการทดลองการกดขึ้นรูปชิ้นงาน
3. ผลการออกแบบการทดลอง
4. ผลการขึ้นรูปชิ้นงานตามมาตราฐาน
5. ผลการทดสอบแรงดัดโค้งแบบ 3 จุด

4.1 ผลการทดลองหาตัวประสานที่เหมาะสม

จากการทดลองผสมผักตบชวากับตัวประสานทั้ง 2 ตัว คือ เจลาติน และ CMC ได้ผลดังนี้

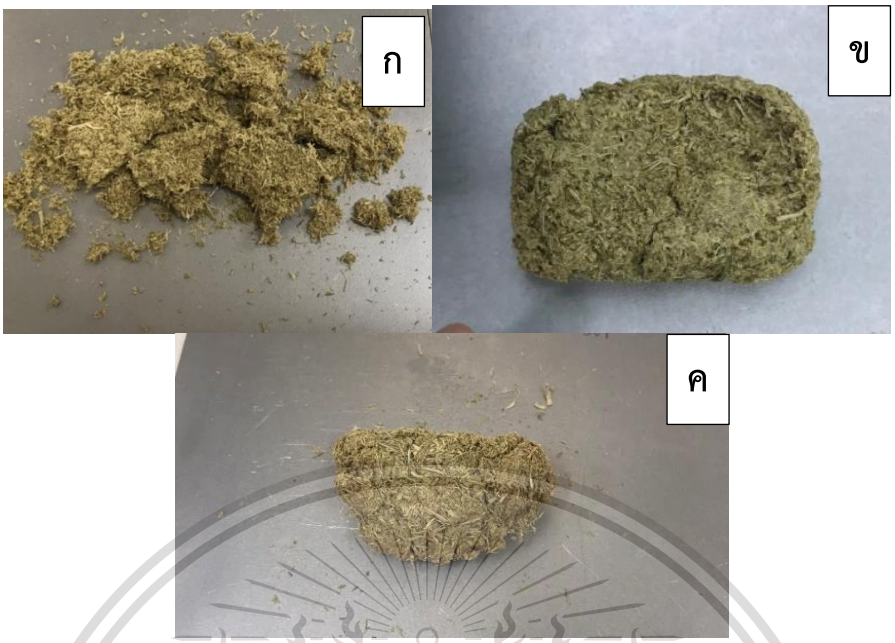
4.1.1 ผลการทดลองผสมเจลาตินกับผักตบชวา

พบว่าการเซ็ตตัวของชิ้นงาน หากไม่ได้อบด้วยตู้อบลมร้อนหรือไม่ได้อยู่ในอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส ชิ้นงานจะเซ็ตตัวได้ไม่ดี แต่ถ้าหากอบด้วยตู้อบลมร้อนชิ้นงานจะมีลักษณะที่กรอบ และเปราะ เมื่อออกแรงหักชิ้นงานชิ้นงานจะแตกหักง่าย อัตราส่วนระหว่างตัวประสานกับผักตบชวาที่สามารถขึ้นรูปได้ คือ 80:20 และ 90:10 ในอัตราส่วน 70:30 ไม่สามารถขึ้นรูปได้ เนื่องจากผักตบชวากับตัวประสานไม่สามารถจับตัวกันเป็นแผ่นได้

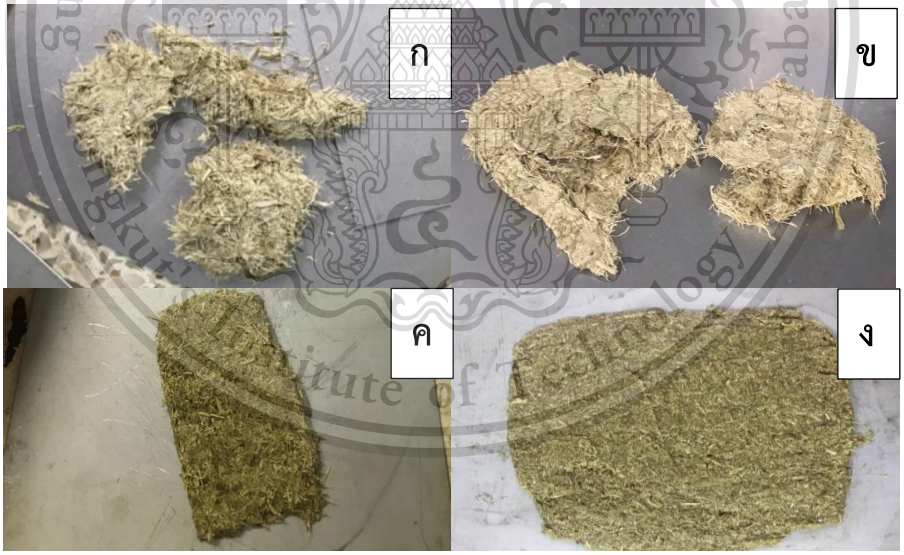
4.1.2 ผลการทดลองผสม CMC กับผักตบชวา

พบว่าการเซ็ตตัวของชิ้นงาน หากทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องชิ้นงานจะใช้ระยะเวลาในการเซ็ตตัวอยู่ที่ 2 - 3 วัน แต่หากอบด้วยตู้อบลมร้อนชิ้นงานจะมีระยะเวลาในการเซ็ตตัวที่น้อยกว่า ชิ้นงานหลังจากที่เซ็ตตัวแล้วจะมีลักษณะที่เหนียวและแข็งแรง จับตัวกันได้ดี เมื่อออกแรงหักชิ้นงาน ชิ้นงานไม่เปราะหรือแตกหักได้ง่าย อัตราส่วนระหว่างตัวประสานกับผักตบชวาที่สามารถขึ้นรูปได้ คือ 70:30, 80:20 และ 90:10 แต่อัตราส่วน 60:40 นั้นสามารถจับตัวเป็นแผ่นได้บ้างเล็กน้อย จึงไม่สามารถนำมาขึ้นรูปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.1 การผสมเจลาตินกับผักตบชวา (ก) ที่อัตราส่วน 70:30 (ข) ที่อัตราส่วน 80:20 (ค) ที่อัตราส่วน 90:10



รูปที่ 4.2 การผสม CMCกับผักตบชวา (ก) ที่อัตราส่วน 60:40 (ข) ที่อัตราส่วน 70:30 (ค) ที่อัตราส่วน 80:20 (ง) ที่อัตราส่วน 90:10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2 ผลการทดลองการกดขึ้นรูปชิ้นงาน

จากทดลองการกดขึ้นรูปชิ้นงาน ได้ผลดังนี้

4.2.1 ผลการทดลองการกดขึ้นรูปชิ้นงานด้วยมือลงในบล็อคพลาสติก (31.31 x 70.6 x 12.58 mm)

พบว่าชิ้นงานหลังจากเซ็ตตัวด้วยตู้อบลมร้อนแล้ว ส่วนผสมระหว่างผักตบชวา และ CMC มีช่องว่างอยู่ภายในชิ้นงาน เนื่องจากการกดขึ้นรูปด้วยมือไม่สามารถควบคุมแรงที่ใช้ในการกดได้ แรงที่ใช้กดมีค่าไม่คง และไม่มากพอที่จะทำให้ชิ้นงานอัดตัวกันแน่น

4.2.2 ผลการทดลองการกดขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องอัดไฮดรอริกลงในแม่พิมพ์โลหะ (20 x 150 x 2.5 mm)

เนื่องจากการกดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮดรอริก สามารถควบคุมแรงที่ใช้ในการกดได้ แรงในการกดมีค่าคงที่ และมากพอที่จะส่งผลทำให้ชิ้นงานหลังจากเซ็ตตัวด้วยตู้อบลมร้อนแล้ว ชิ้นงานมีการอัดตัวที่แน่น และส่วนผสมระหว่างผักตบชวาและ CMC ภายในชิ้นงานไม่มีช่องว่าง

รูปที่ 4.3 ลักษณะชิ้นงานในการขึ้นรูป (ก) ชิ้นงาน CMCกับผักตบชวาขึ้นรูปลงในบล็อคพลาสติก (ข) ชิ้นงาน CMCกับผักตบชวาขึ้นรูปลงในแม่พิมพ์โลหะ

4.3 ผลการออกแบบการทดลอง

จากการออกแบบการทดลองด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ผลทางสถิติ คือ โปรแกรม Minitab 18 โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบผสม (Mixture Design) แบบ Extreme Vertices ไม่มีการทำซ้ำ ได้จำนวนอัตราส่วนผสมระหว่าง CMC กับผักตบชวา ทั้งหมด 5 อัตราส่วน ที่จะนำมาขึ้นรูปชิ้นงานตามมาตรฐาน ได้แก่ อัตราส่วน 70:30, 75:25, 80:20, 85:15 และ 90:10 โดยน้ำหนัก

	StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Water Hyacinth	CMC
1	2	1	1	1	30	70
2	3	2	0	1	20	80
3	5	3	-1	1	25	75
4	4	4	-1	1	15	85
5	1	5	1	1	10	90

รูปที่ 4.4 อัตราส่วนผสมการทดลองสำหรับการออกแบบการทดลองแบบผสม

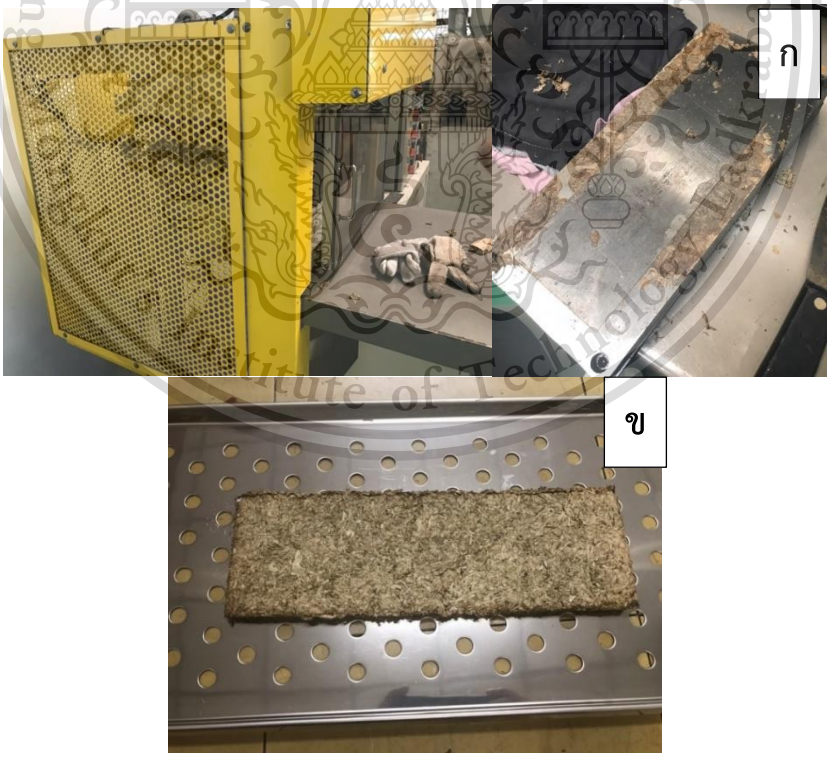
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.4 ผลการขึ้นรูปชิ้นงานตามมาตรฐาน

จากการทดลองขึ้นรูปชิ้นงานตามขนาดมาตรฐาน คือ 250 x 80 x 10 mm ในอัตราส่วนที่ได้จากออกแบบการทดลอง ได้ผลดังนี้

4.4.1 CMC กับผักตบชวา ที่อัตราส่วน 70:30 โดยน้ำหนัก

จากการทดลองปรับค่าอุณหภูมิ ความดัน และเวลาในการกด เพื่อหาค่าที่เหมาะสมในการขึ้นรูปชิ้นงาน เมื่อกดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ความดัน 55 บาร์ ในเวลา 15 นาที ด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปแล้ว พบว่าเครื่องอัดขึ้นรูปกด Punch จมไปในตัว Die ทั้งหมด ทำให้ชิ้นงานเกิดการระเบิดออกจากแม่พิมพ์ ไม่มีชิ้นงานเหลืออยู่ในแม่พิมพ์ เนื่องจากอุณหภูมิ และความดันที่มากเกินไป จึงต้องปรับค่าอุณหภูมิ และความดันในการกดให้ลดลงเรื่อยๆ โดยจะต้องคำนึงถึงความหนาของชิ้นงานตามมาตรฐานที่ต้องได้ คือ 10 mm ผลที่ได้ คือ ที่อัตราส่วน 70:30 มีค่าอุณหภูมิ ความดัน และเวลาในการกดที่เหมาะสม ที่ทำให้ได้ความหนาของชิ้นงานตามมาตรฐาน คือ 0 องศาเซลเซียส 20 บาร์ และ 15 นาที ตามลำดับ กล่าวคือ ไม่ใส่อุณหภูมิระหว่างการกดขึ้นรูป จึงต้องนำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ แล้วไปอบด้วยตู้อบลมร้อนเพื่อให้ชิ้นงานเซ็ตตัว อุณหภูมิที่ทำให้ชิ้นงานเซ็ตตัวแห้งสนิท คือ 180 องศาเซลเซียส ในเวลา 60 นาที



รูปที่ 4.5 ผลการขึ้นรูปชิ้นงานตามมาตรฐาน (ก) การระเบิดเนื่องจากอุณหภูมิและความดันที่มากเกินไป (ข) ชิ้นงานตามมาตรฐานที่อัตราส่วน 70:30

เอกสารนี้เป็นสิ่งที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือนำไปใช้ประโยชน์ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ลบเลือนข้อความนี้ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.4.2 ผสม CMC กับผักตบชวา ที่อัตราส่วน 80:20 โดยน้ำหนัก

จากผลการทดลองที่ได้จากการขึ้นรูปชิ้นงานตามมาตรฐาน CMC กับผักตบชวา ที่อัตราส่วน 70:30 ใช้ความดัน และเวลาในการกด คือ 20 บาร์ และ 15 นาที ตามลำดับ เซ็ตชิ้นงานให้แห้งสนิทด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียล เมื่อนำมาใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงานที่อัตราส่วน 80:20 พบว่ามีปริมาณผักตบชวาที่ผสมกับ CMC ล้นออกจากแม่พิมพ์เกือบทั้งหมด ทำให้ไม่ได้ความหนาของชิ้นงานตามมาตรฐานที่ต้องการ คือ 10 mm

4.5 ผลการทดสอบแรงดัดโค้งแบบ 3 จุด

จากการทดสอบแรงดัดโค้งแบบ 3 จุดกับชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยมือลงในบล็อคพลาสติก ขนาด 31.31 x 70.6 x 12.58 mm และผ่านการอบด้วยตู้อบลมร้อน ที่อัตราส่วน 80:20 โดยน้ำหนัก พบว่า มีค่าสมบัติเชิงกลที่คำนวณได้จากสมการ 2.1, 2.2 และ 2.3 ตามลำดับ คือ ค่าการต้านทานแรงดัดโค้งเท่ากับ 1.2135 MPa ค่าความเครียดแรงดัดโค้งเท่ากับ 0.2939 mm/mm และค่ามอดูลัสแรงดัดโค้งเท่ากับ 6.0466 MPa ผลที่ได้จากการทดสอบแรงดัดโค้งแบบ 3 จุดเพื่อใช้ประกอบในการคำนวณ ดังรูปที่ 4.6

Key Word		Product Name	
Test File Name		Method File Name	compression plate.xmak
Report Date	7/12/2563	Test Date	7/12/2563
Test Mode	Single	Test Type	Compression
Speed	1.3mm/min	Shape	Plate
No of Batches:	1	Qty/Batch:	1

Name	Elastic	YP(%FS)_Force	YS1_Force	Max_Force
Parameters	Force 10 - 80 N	0.1 %	0.2 %	Calc. at Entire Areas
Unit	MPa	N	N	N
1_1	0.12494	--	--	100.215

รูปที่ 4.6 ผลการทดสอบแรงดัดโค้งแบบ 3 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5
สรุปผลการดำเนินการและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการสรุป และอภิปรายผลของการดำเนินการ การวิเคราะห์ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ผลทางสถิติ รวมไปถึงข้อเสนอแนะของงานวิจัยนี้ โดยประกอบด้วยการสรุปผลดังนี้

1. สรุปผลการดำเนินการ
2. อภิปรายผล
3. ข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินการ

จากผลการดำเนินงานการหาตัวประสานที่เหมาะสม CMC เป็นตัวประสานที่เหมาะสมเนื่องจากมีลักษณะที่แข็งแรง สามารถยึดเกาะกับเส้นใยของผักตบชวาได้ดี อัตราส่วนระหว่าง CMC กับผักตบชวาที่สามารถขึ้นรูปได้ คือ 70:30, 80:20 และ 90:10 โดยน้ำหนัก จากนั้นนำอัตราส่วนที่สามารถขึ้นรูปได้ไปออกแบบการทดลองด้วย โปรแกรม Minitab 18 โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบผสม (Mixture Design) แบบ Extreme Vertices โดยไม่มีการทำซ้ำ ทำให้ได้อัตราส่วนที่เป็นรูปแบบจำนวนในการทดลองทั้งหมด 5 อัตราส่วน ดังนี้ 70:30, 75:25, 80:20, 85:15 และ 90:10 โดยน้ำหนัก

การกดขึ้นรูปชิ้นงานควรกดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป เนื่องจากจะทำให้ไม่เกิดช่องว่างในชิ้นงาน แล้วชิ้นงานอัดแน่นได้ดี การขึ้นรูปชิ้นงานตามมาตรฐาน ASTM D1037 ขนาด 250 x 80 x 10 mm ด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปนั้นไม่ควรใส่อุณหภูมิลงไปในขณะที่กดด้วยแรงดัน เพราะอาจจะทำให้ชิ้นงานเกิดการระเบิดออกจากแม่พิมพ์ได้ ควรนำชิ้นงานออกมาจากแม่พิมพ์หลังอัดขึ้นรูปเสร็จ แล้วนำไปอบด้วยตู้อบลมร้อนเพื่อทำให้ชิ้นงานเซ็ตตัวแห้งสนิท ในอุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส แรงดันในการกดของแต่ละอัตราส่วนนั้นไม่เท่ากัน ซึ่งทราบได้จากผลการดำเนินการขึ้นรูปชิ้นงานตามมาตรฐานการผสม CMC กับผักตบชวาที่อัตราส่วน 70:30 โดยน้ำหนัก แรงดันที่เหมาะสมที่ใช้ในการขึ้นรูปและได้ความหนาตามมาตรฐานที่ต้องการคือ 20 บาร์ แต่เมื่อทำการขึ้นรูปชิ้นงานที่อัตราส่วน 80:20 โดยใช้แรงดันเท่ากับอัตราส่วน 70:30 คือ 20 บาร์ นั้นไม่สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้ เนื่องจากมีปริมาณผักตบชวาที่ผสมกับ CMC ล้นออกจากแม่พิมพ์เยอะจนทำให้ไม่ได้ความหนาตามมาตรฐานที่ต้องการ คือ 10 mm ดังนั้นในการขึ้นรูปชิ้นงานจะต้องทำการทดลองเพื่อหาค่าแรงดันที่เหมาะสมในแต่ละอัตราส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

5.2 อภิปรายผล

จากการศึกษาการพัฒนาวัสดุเชิงประกอบจากผักตบชวา การเลือกใช้ผักตบชวาเป็นวัสดุหลัก เนื่องจากคุณสมบัติของเส้นใย และลิกนินในผักตบชวานั้นสามารถเสริมแรงในการทำวัสดุเชิงประกอบได้ และเลือกใช้ตัวประสาน CMC เนื่องจากลักษณะที่ไม่เป็นอันตราย ไม่ส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม มีคุณสมบัติเป็นสารเพิ่มความหนืดที่ช่วยในการยึดเกาะ และเป็นสารคงสภาพ จึงนำไปขึ้นรูปเป็นชิ้นงานต้นแบบตามมาตรฐาน ASTM D1037 ด้วยการออกแบบการทดลองแบบผสม พบว่าในการขึ้นรูปแต่ละอัตราส่วนจะใช้ความดันในการกดไม่เท่ากัน ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นวัสดุเชิงประกอบประเภทเสริมแรงได้ โดยวัสดุ และอัตราส่วนสามารถปรับเปลี่ยนปริมาณให้เหมาะสมตามการผลิตจริง การวิจัยครั้งนี้อาจมีความคาดเคลื่อนได้ อันเนื่องมาจากการชั่งผักตบชวา และCMC

5.3 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้มีข้อจำกัดในเรื่องของเวลาในการดำเนินงานที่สั้นเกินไป ซึ่งหากมีการพัฒนาในครั้งถัดไปควรมีการเพิ่มเติม และแก้ไขเพื่อให้งานวิจัยนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ดังนี้

1. การศึกษานี้เลือกใช้ขนาดของผักตบชวาที่มากกว่า 850 ไมครอน เพียงขนาดเดียว ซึ่งอาจจะไม่ได้มีความแข็งแรงในการยึดเกาะที่ดีที่สุด ดังนั้นควรจะศึกษาที่ขนาดอื่น ๆ ด้วย

2. การศึกษานี้ยังไม่ได้ทำการทดสอบแรงดัดโค้ง 3 จุด และการดูดซึมน้ำของชิ้นงานที่มีขนาดตามมาตรฐาน ดังนั้นควรทดสอบแรงดัดโค้ง 3 จุด และการดูดซึมน้ำด้วย

3. การศึกษานี้ได้หาค่าแรงดันที่เหมาะสมในการขึ้นรูปแค่อัตราส่วนเดียวคือ 70:30 โดยน้ำหนัก ดังนั้นควรทำการหาค่าแรงดันที่เหมาะสมในการขึ้นรูปในทุก ๆ อัตราส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เอกสารอ้างอิง

[1] OK nation. น้ำของโลก. (2556). [online].
Available: http://oknation.nationtv.tv/blog/wansuk/2013/03/20/entry-1

[2] สิงห์ อาสา. ผักตบชวาวัชพืชอันตรายอันดับ 8 ของโลก. (2562). [online].
Available: http://www.singha-r-sa.org/ความน่ากลัว-ผักตบชวา/

[3] มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน. มลพิษทางน้ำ. [online].
Available: http://www.rmuti.ac.th/user/thanyaphak/Web%20EMR/Web%20IS%20Environmen%20gr.4/Mola1.html

[4] สิริรัตน์ วารีรำพึงเพลิน. ผักตบชวา. [online].
Available: http://www.thailandindustry.com/onlinemag/view2.php?id=1235&section=30&issues=79

[5] สิงห์ อาสา. ประโยชน์จากผักตบชวา. (2562). [online].
Available: http://www.singha-r-sa.org/ประโยชน์ของ-ผักตบชวา/

[6] สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 5. คู่มือการจัดการผักตบชวา. (2554). [online].
Available: http://lib.mnre.go.th/book/paktob.pdf

[7] ศูนย์ปฏิบัติการวิจัยเรือนปลูกพืชและทดลองมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ผักตบชวา. (2562). [online]. Available: http://clgc.agri.kps.ku.ac.th/resources/weed/eichornia.html

[8] กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. ผักตบชวา. (2562). [online].
Available: https://www.mhesi.go.th/main/th/492-library/genius-of-king/

[9] อรทัย เกิดแก้ว. ภาพวาดทางพฤกษศาสตร์. (2550). [online].
Available: https://www.dnp.go.th/botany/illus.aspx

[10] นางสาวณนกร หยกสหชาติ, ผศ.ทศพร นามโฮงและผศ.ภสุโชค หยกสหชาติ. การใช้ประโยชน์ของซังข้าวโพดเทียนเหลือทิ้งจากวัตถุดิบทางการเกษตรสำหรับการผลิตบรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม. (2555). [online].
Available: http://research.rmutsb.ac.th/fullpaper/2555/25552391441176.pdf

[11] บริษัท ทินกรเคมีคอลแอนด์ซัพพลายจำกัด. Gelatin(เจลาติน). [online].
Available: http://www.tinnakorn.com/products/gelatin/

[12] KC กรุงเทพเคมี. Gelatin. [online].
Available: http://กรุงเทพเคมี.com/Gelatin-Bloom-เจลาติน-160

[13] ปิยพร ร่มแสง, มัตติกา ไชยลังกา, รังสรรค์ กุนสะนา, วิชชากร กันทรัญ, อนุวัฒน์ โรจน์สินทรัพย์ และนพพล เล็กสวัสดิ์. CMC biopolymer. [online].

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Available: http://www.agro.cmu.ac.th/absc/data/56/no07.pdf

[14] นที ฐานมั่น. (2556). การพัฒนาภาชนะย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากต้นมันสำปะหลัง. วิทยานิพนธ์สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

[15] Passant Youssef, Khaled Zahran, Khaled Nassar, Mohamed Darwish and Salah El-Haggar. Manufacturing of Wood–Plastic Composite Boards and Their Mechanical and Structural Characteristics. (2562). [online]. Available: http://www.researchgate.net/publication/334785064_Manufacturing_of_Wood-Plastic_Composite_Boards_and_Their_Mechanical_and_Structural_Characteristics

[16] อนุวิทย์ สนศิริ. ส่วนผสมที่เหมาะสมของวัสดุผสมสำหรับแม่พิมพ์ขึ้นรูปด้วยความร้อนของพลาสติกแผ่น. (2553). [online].
Available: http://archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2553 /enin20453as_ch2.pdf

[17] Thaidiycupcake. ตะแกรง กระชอน ร่อนแป้ง. [online].
Available: https://shopee.co.th/ตะแกรง-กระชอน-ร่อนแป้ง-สแตนเลส-304-แบบ-ทรงวงกลม-15.5-ซม.-ขนาด-20-200-เมส-เลือกได้-1-ชิ้น-i.19282662.6914351742

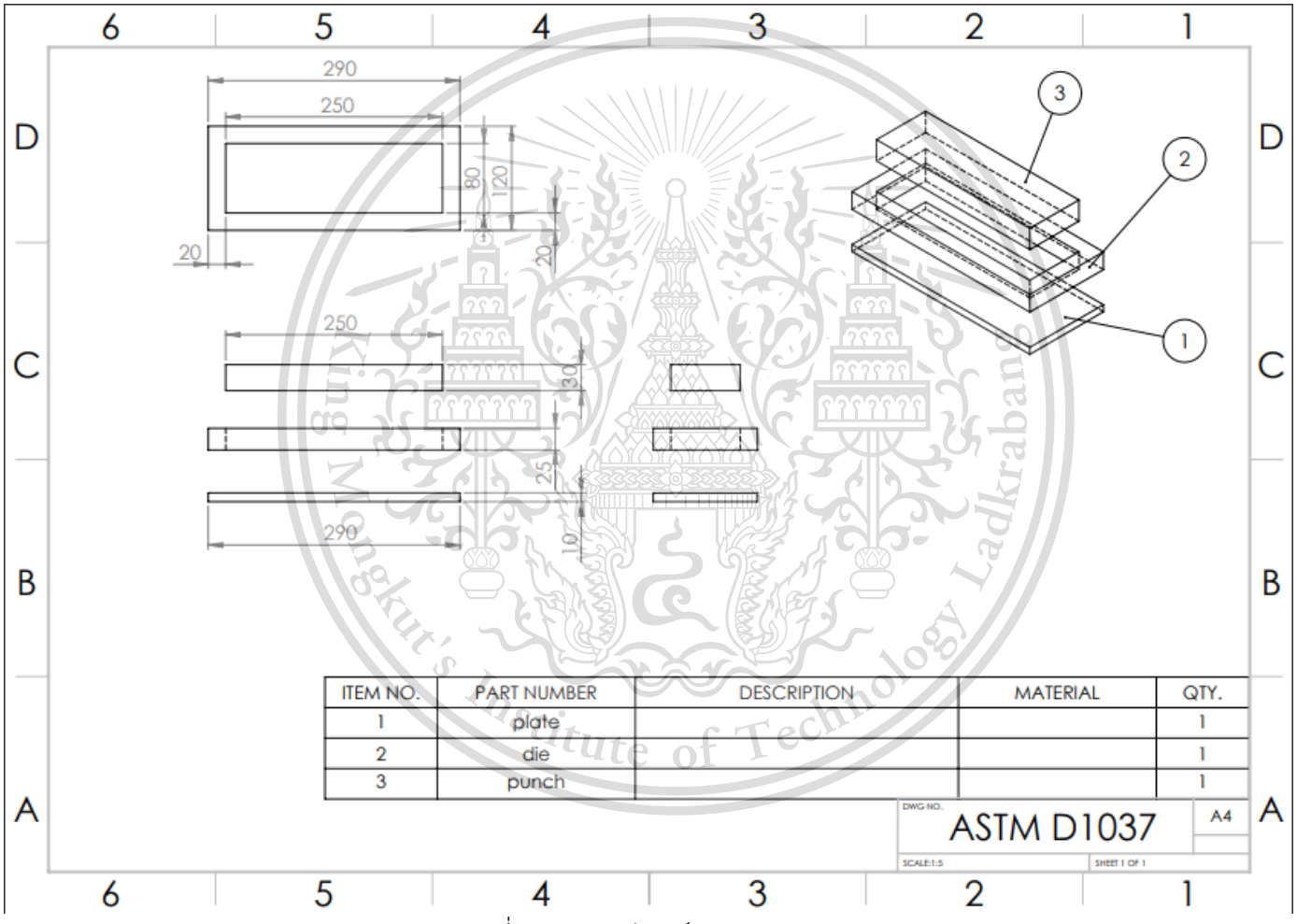
[18] otto. เจลาติน. (2562). [online].
Available: https://www.otto.co.th/content/5630/มารู้จักเจลาตินสำหรับครัวเบเกอรี่#:~:text=เจลาตินแบบผง%20ก่อนใช้ต้องนำ,ไฟ%20คนให้เข้ากัน

[19] Prince of songkla university Pattani campus. Gelatin. [online].
Available: https://kb.psu.ac.th/psukb/bitstream/2010/9183/6/Chapter2.pdf

[20] พัชรา จักษุชีวินนิมิต. CELLULOSE GUM ,CMC เซลลูโลส กัม ผงละเอียด.[online].
Available: http://www.mildsoapandcosmetic.com/product/2944/cellulose-gum-cmc-เซลลูโลส-กัม-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก



รูปที่ ผ1 แบบแม่พิมพ์ตามมาตรฐาน

ผ1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า