



การศึกษาคุณสมบัติของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลที่ทำจากกากคราม

วิทยานิพนธ์
ของ
ปรมินทร์ นิลจินดา

เสนอต่อมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์
มีนาคม 2567
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

การศึกษาคุณสมบัติของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลที่ทำจากกากคราม

วิทยานิพนธ์
ของ
ปรมินทร์ นิลจินดา

เสนอต่อมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์
มีนาคม 2567
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

THE STUDY OF PROPERTIES ON PARTICLEBOARDS
MADE FROM INDIGO RESIDUE

BY
PARAMIN NILJINDA

A Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for
The Master of Engineering Degree in Engineering
at Sakon Nakhon Rajabhat University

March 2024

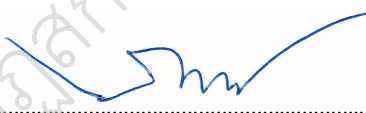
All Rights Reserved by Sakon Nakhon Rajabhat University



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์

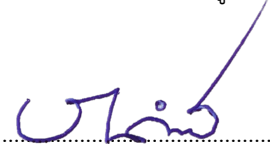
ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์ การศึกษาคุณสมบัติของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลที่ทำจากกากคราม
ชื่อผู้ทำวิทยานิพนธ์ ประมินทร์ นิลจินดา

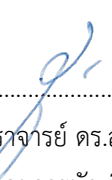
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

 ประธานกรรมการสอบ	 กรรมการสอบและ ประธานที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์
(รองศาสตราจารย์ ดร.สहाก หอมวุฒิมังค์) ผู้ทรงคุณวุฒิ	(ดร.ภาคิน ลอยเจริญ)
 กรรมการสอบ	 กรรมการสอบและ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไวรัตน์ อิ่มโพ) แต่งตั้งเพิ่มเติม	(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทองฤทธิ์ พุทธิลา) กรรมการที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์

คณะกรรมการบริหารหลักสูตรรับรองแล้ว

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว


.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัญญา พรหมพินิจ)
ประธานหลักสูตร
มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร


.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรศักดิ์ แสนทวีสุข)
ผู้อำนวยการบัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

เมื่อวันที่ 29 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2567
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

ประกาศคุณูปการ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดีด้วยความกรุณาและความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจากอาจารย์ ดร.ภาคิน ลอยเจริญ ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทรงฤทธิ์ พุทธลา กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาแนะนำ เสนอแนะ และตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่ตลอดมาตั้งแต่เริ่มต้นจนสำเร็จเรียบร้อย ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง และขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ให้การช่วยเหลือการทำวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณอาจารย์ประจำห้องทดสอบวัสดุที่ให้ความกรุณาช่วยเหลือให้คำแนะนำในการทดสอบชิ้นงานในงานวิจัยนี้ อีกทั้งเจ้าหน้าที่ห้องทดสอบที่ช่วยเหลือ ทำให้การทดสอบเป็นไปด้วยดี

ขอขอบคุณคณาจารย์ประจำวิชาทุกท่านที่ให้ความรู้ในแขนงต่าง ๆ เพื่อนำมาใช้ในการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณครอบครัวที่คอยหนุนหลังและให้กำลังใจจนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี

คุณค่าและประโยชน์จากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแต่บิดา มารดาของผู้วิจัย และบูรพาจารย์ทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนจนผู้วิจัยสามารถดำรงตนและบรรลุผลสำเร็จในปัจจุบัน

ปรมินทร์ นิลจินดา

ชื่อเรื่อง	การศึกษาคุณสมบัติของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลที่ทำจากกากคราม
ผู้วิจัย	ปรมินทร์ นิลจินดา
กรรมการที่ปรึกษา	ดร.ภาคิน ลอยเจริญ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทรงฤทธิ์ พุทธลา
ปริญญา	วศ.ม. (วิศวกรรมศาสตร์)
สถาบัน	มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
ปีที่พิมพ์	2567

บทคัดย่อ

กากครามเป็นขยะเหลือทิ้งจากทำผ้าย้อมคราม ซึ่งกากครามส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในชุมชน ทำให้เกิดมลพิษทั้งในดินและอากาศ งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการนำกากครามมาอัดขึ้นรูปเพื่อทำเป็นแผ่นไม้ปาร์ติเกิล (Particle board) โดยใช้กาวโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) สูตร PVA และเซลแลค (Shellac) สูตร SAL เป็นกาวประสาน ซึ่งกาวทั้งสองชนิดนี้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและมีจำหน่ายทั่วไป จากนั้นทำการทดสอบแผ่นไม้ปาร์ติเกิลเพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกล แล้วนำผลการทดสอบที่ได้มาทำการเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของแผ่นขึ้นไม้อัดชนิดอัดราบ (มอก.876-2565)

ผลการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ พบว่า ความหนาแน่นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลที่ได้จากสูตร PVA และ สูตร SAL มีค่าเท่ากับ 383.30 และ 443.67 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ความชื้นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล สูตร PVA และสูตร SAL มีความชื้นร้อยละ 2.78 และ 2.45 ตามลำดับ การพองตัวตามความหนา สูตร PVA และสูตร SAL มีการพองตัวตามความหนาร้อยละ 11.84 และ 4.76 ตามลำดับ

ส่วนผลการศึกษาคุณสมบัติทางกลของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล พบว่า ความต้านแรงดัดของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล สูตร PVA และสูตร SAL มีค่าเท่ากับ 3.59 และ 4.64 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ตามลำดับ โมดูลัสยืดหยุ่น สูตร PVA และสูตร SAL มีค่าเท่ากับ 369.23 และ 641.33 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ตามลำดับ ความต้านแรงดัดตั้งฉากกับผิวหน้า สูตร PVA และสูตร SAL มีค่าเท่ากับ 0.39 และ 0.36 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ตามลำดับ

จากผลการศึกษาพบว่า แผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากกากครามทั้งสองสูตร มีคุณสมบัติทางกายภาพผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก.876-2565 ส่วนคุณสมบัติทางกล พบว่า ความต้านแรงดัดตั้งฉากกับผิวหน้า ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก.876-2565 ทั้งสองสูตร ส่วนคุณสมบัติความต้านทานแรงดัด

และมอดูลส์ยืดหยุ่น ยังต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน มอก.876-2565 ทั้งสองสูตร ซึ่งแผ่นไม้ ปาร์ติเกิล
ที่ทำจากกากครามนี้ สูตร SAL มีความแข็งแรงสูงกว่าสูตร PVA

คำสำคัญ: กากคราม แผ่นไม้ปาร์ติเกิล กาวโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ เซลแลค

มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

TITLE	The Study of Properties on Particleboards made from Indigo Residue
AUTHOR	Paramin Niljinda
ADVISORS	Dr.Phakin Loyjaroen Asst. Prof. Dr.Songrit Puttala
DEGREE	M. Eng (Engineering)
INSTITUTION	Sakon Nakhon Rajabhat University
YEAR	2024

Abstract

Indigo residue is waste from the indigo dyeing process, which impacts the community's environmental pollution in both soil and air. This study investigated how to use indigo residue by compressing it into particle boards using a polyvinyl alcohol (PVA) adhesive formula and a shellac (SAL) adhesive formula. Both of these adhesives are environmentally friendly and available for sale. Then the particle board was tested to study its physical and mechanical properties. Then compare the obtained properties with the Thai industrial standard for flat-pressed particleboards (TIS 876-2565).

The study found that the density of the particle boards produced from the PVA and the SAL formulas were 383.30 and 443.67 kilograms per cubic meter, respectively. The moisture content of the particle boards from the PVA and the SAL formulas were 2.78 and 2.45 percent, respectively. The swelling in thickness for the PVA and the SAL formulas were 11.84 and 4.76 percent, respectively.

The mechanical properties of the particle boards revealed that the flexural resistance of the PVA and the SAL formulas were 3.59 and 4.64 Newtons per square millimeter, respectively. The modulus of elasticity for the PVA and the SAL formulas were 369.23 and 641.33 Newtons per square millimeter, respectively. The tensile strengths perpendicular to the surface for the PVA and the SAL formulas were 0.39 and 0.36 Newtons per square millimeter, respectively.

The results of the study, it was found that particle board made from indigo residue had all the physical properties that exceeded the TIS 876-2565 standard. In terms of mechanical properties, the tensile strength perpendicular to the surface exceeded Thai Industrial Standard 876-2565. However, the flexural resistance and the modulus of elasticity were still below the standard requirements. The particle boards made from indigo residue using the SAL formula exhibited higher strength compared to those made with the PVA formula.

Keywords: Indigo residue, Particle board, Polyvinyl alcohol adhesive, Shellac

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ	1
ภูมิหลัง.....	1
คำถามของการวิจัย	2
ความมุ่งหมายของการวิจัย	3
สมมติฐานของการวิจัย	3
ความสำคัญของการวิจัย	3
ขอบเขตของงานวิจัย	3
ขอบเขตด้านเนื้อหา.....	4
ประชากรที่ศึกษา และกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัย	4
ตัวแปรที่ศึกษา	4
กรอบแนวคิดของการวิจัย	5
นิยามศัพท์เฉพาะ	6
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
ต้นครามและกากคราม.....	7
ต้นคราม.....	7
กากคราม.....	10
แผ่นไม้ปาร์ติเกิล.....	12
กาที่ใช้ทำแผ่นไม้ปาร์ติเกิล	12
กาวโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol).....	12
กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ (Urea formaldehyde).....	13
กาวไอโซไซยาเนต (Isocyanate resins).....	13
กาวฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์ (Phenol Formaldehyde).....	13
เซลแลค (Shellac)	14
วิธีทำแผ่นไม้ปาร์ติเกิล	15
การเตรียมวัสดุ (Particle preparation).....	15
อบวัสดุให้แห้ง (Particle drying)	16

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
คัดขนาดวัสดุ (Particle classification)	16
การผสมกาว (Blending)	16
การขึ้นรูปแผ่นปาร์ติเกิล (Mat formation)	17
การอัดด้วยความร้อน (Hot Pressing operation)	17
การทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม	18
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19
งานวิจัยในประเทศ	19
งานวิจัยต่างประเทศ	21
3 วิธีดำเนินการวิจัย	24
การเตรียมวัสดุในการดำเนินงานวิจัย	26
เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย	26
การเตรียมกากคราม	26
การออกแบบส่วนผสม	27
การออกแบบและผลิตเครื่องอัดแผ่นไม้ปาร์ติเกิล	28
การผลิตแผ่นไม้ปาร์ติเกิลที่ทำจากกากคราม	30
การทดสอบแผ่นไม้ปาร์ติเกิล	31
การทดสอบความหนาแน่นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล	32
การทดสอบความชื้นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล	33
การทดสอบการพองตัวตามความหนาของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล	34
การทดสอบความต้านแรงดัดของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล	36
การทดสอบมอดุลัสยืดหยุ่นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล	37
การทดสอบความต้านแรงดึงตึงฉากกับผิวหน้าของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล	38
4 ผลการวิจัย	40
ผลการศึกษาข้อมูลการวิจัย	40
เครื่องอัดแผ่นไม้ปาร์ติเกิล	40
ลักษณะภายนอกแผ่นไม้ปาร์ติเกิล	41

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
ผลทดสอบความหนาแน่นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล	42
ผลทดสอบความชื้นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล.....	44
ผลทดสอบการพองตัวตามความหนาของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล	45
ผลทดสอบความต้านแรงดัดของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล.....	48
ผลทดสอบมอดุลัสยืดหยุ่นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล	52
ผลทดสอบความต้านแรงดัดตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล	54
การวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการทดสอบ	58
ความหนาแน่นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล.....	58
ความชื้นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล	59
การพองตัวตามความหนาของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล.....	60
ความต้านแรงดัดของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล.....	61
มอดุลัสยืดหยุ่นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล	62
ความต้านแรงดัดตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล	63
5 สรุปผลการวิจัย.....	65
ผลการศึกษานำกากครามมาทำเป็นแผ่นไม้ปาร์ติเกิล	65
ผลการศึกษาคูณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกลของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล	
ที่ทำจากกากคราม	65
ผลการศึกษาคูณสมบัติทางกายภาพ.....	65
ผลการศึกษาคูณสมบัติทางกายกล	66
เปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกลของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล	
ที่ทำจากกากครามกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.876-2565	67
ข้อเสนอแนะ	67
ข้อเสนอแนะจากผลการวิจัย	67
ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยในครั้งต่อไป	68
บรรณานุกรม.....	69

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
ภาคผนวก.....	73
ภาคผนวก ก การผลิตเครื่องอัดแผ่นไม้ปาร์ติเกิล.....	74
ภาคผนวก ข ภาพผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ	76
ภาคผนวก ค ภาพผลการทดสอบคุณสมบัติทางกล	80
ประวัติย่อของผู้วิจัย.....	121

มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1 ตารางเปรียบเทียบข้อดี ข้อด้อยของกาาประสานชนิดต่าง ๆ	15
2 น้ำหนักของวัสดุและน้ำหนักกาาที่ใช้ในการทำแผ่นไม้ปาร์ติเกิล	28
3 ความหนาแน่นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล สูตร PVA.....	43
4 ความหนาแน่นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล สูตร SAL	43
5 ความชื้นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล สูตร PVA	44
6 ความชื้นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล สูตร SAL.....	45
7 การพองตัวตามความหนา สูตร PVA.....	45
8 การพองตัวตามความหนา สูตร SAL	47
9 ความต้านแรงดัดแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากกากคราม สูตร PVA	48
10 ความต้านแรงดัดแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากกากคราม สูตร SAL.....	50
11 มอดุลัสยืดหยุ่น สูตร PVA	52
12 มอดุลัสยืดหยุ่น สูตร SAL.....	53
13 ความต้านแรงดัดตั้งฉากกับผิวหน้า สูตร PVA	54
14 ความต้านแรงดัดตั้งฉากกับผิวหน้า สูตร SAL.....	56

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
1 กรอบแนวคิดของการวิจัย	5
2 ต้นคราม	8
3 ลักษณะลำต้นของต้นครามแห้ง	9
4 การแช่ต้นครามเพื่อให้ได้น้ำคราม	11
5 กากครามที่เหลือจากการทำน้ำคราม	11
6 แผนผังแสดงขั้นตอนการทำแผ่นไม้ปาร์ติเกิล	18
7 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	25
8 ขั้นตอนการเตรียมกากคราม	27
9 กาวที่ใช้ในการผลิตแผ่นไม้ปาร์ติเกิล	28
10 มิติของเครื่องอัดแผ่นไม้ปาร์ติเกิล	29
11 ขั้นตอนการผลิตแผ่นไม้ปาร์ติเกิล	30
12 ตัวอย่างทดสอบแผ่นไม้ปาร์ติเกิลสูตร PVA	31
13 ตัวอย่างทดสอบแผ่นไม้ปาร์ติเกิลสูตร SAL	32
14 การทดสอบความหนาแน่น	33
15 เครื่องอบขึ้นทดสอบ	34
16 การทดสอบหาความชื้น	34
17 การทดสอบการพองตัวตามความหนา	35
18 แช่ขึ้นทดสอบในน้ำ	36
19 การใช้เครื่องทดสอบความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น	37
20 การทดสอบความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น	38
21 การทดสอบความต้านแรงดึงตึงฉากกับผิวหน้า	39
22 เครื่องอัดแผ่นไม้ปาร์ติเกิล	41
23 ลวดลายแผ่นไม้ปาร์ติเกิล สูตร PVA	42
24 ลวดลายแผ่นไม้ปาร์ติเกิล สูตร SAL	42
25 การทดสอบการพองตัวตามความหนา สูตร PVA	46
26 การทดสอบการพองตัวตามความหนา สูตร SAL	47
27 ผลการทดสอบความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น สูตร PVA ตัวอย่างที่ 10	49

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
28 ลักษณะการวิบัติ สูตร PVA ตัวอย่างที่ 10.....	49
29 ผลการทดสอบความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น สูตร SAL ตัวอย่างที่ 12	51
30 ลักษณะการวิบัติ สูตร SAL ตัวอย่างที่ 12	51
31 ผลการทดสอบความต้านแรงดัดตั้งฉากกับผิวหน้า สูตร PVA ตัวอย่างที่ 2	55
32 ลักษณะการวิบัติ สูตร PVA ตัวอย่างที่ 2	55
33 ผลการทดสอบความต้านแรงดัดตั้งฉากกับผิวหน้า สูตร SAL ตัวอย่างที่ 1.....	57
34 ลักษณะการวิบัติ สูตร SAL ตัวอย่างที่ 1	57
35 แผนภูมิเปรียบเทียบความหนาแน่นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล.....	58
36 แผนภูมิเปรียบเทียบความชื้นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล	59
37 แผนภูมิเปรียบเทียบการพองตัวตามความหนาของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล.....	60
38 แผนภูมิเปรียบเทียบความต้านแรงดัดของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล	61
39 แผนภูมิเปรียบเทียบมอดุลัสยืดหยุ่นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล	62
40 แผนภูมิเปรียบเทียบความต้านแรงดัดตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล	63

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

เกษตรกรรมเป็นกิจกรรมที่สำคัญในการผลิตอาหารและวัตถุดิบสำหรับมนุษย์ทั่วโลก อย่างไรก็ตาม กิจกรรมการเกษตรก็เกี่ยวข้องกับปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมระดับโลกในหลายด้าน โดยเฉพาะปัญหาที่เกี่ยวข้องกับขยะเหลือใช้ทางการเกษตร ที่สร้างความรุนแรงและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม หนึ่งในสาเหตุสำคัญของการจัดการขยะเหลือใช้จากการทำการเกษตร คือ การปล่อยทิ้งไว้ให้เน่าเสียแล้วปล่อยให้ย่อยสลายไปตามธรรมชาติ กระบวนการนี้จะก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การเกษตรของประเทศไทยเกี่ยวข้องกับประชากรเกือบ 24 ล้านคน คิดเป็นพื้นที่ทำการเกษตร 149.24 ล้านไร่ หรือพื้นที่เกือบครึ่งหนึ่งของประเทศใช้ในการผลิตทางการเกษตร และจากการที่ประเทศไทยมีการทำการเกษตรที่มาก ขยะที่เหลือใช้ทางการเกษตรจึงมีมากตามไปด้วย โดยข้อมูลจากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ พบว่าหลายปีที่ผ่านมา ประเทศไทยมีวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรปริมาณมากถึง 195,303,000 ตันต่อปี (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2565)

ขยะเหลือใช้จากการทำการเกษตรชนิดหนึ่งที่พบแพร่หลายในพื้นที่จังหวัดสกลนคร คือ กากคราม (Indigo residue) กากครามเป็นวัสดุเหลือใช้จากการผลิตฝ้าย้อมคราม ซึ่งฝ้าย้อมครามนั้นเป็นการผลิตผ้าที่เป็นภูมิปัญญามาแต่โบราณ กรรมวิธีการย้อมเป็นแบบดั้งเดิมซึ่งอาศัยกรรมวิธีทางธรรมชาติ จังหวัดสกลนครเป็นแหล่งผลิตฝ้าย้อมครามที่สำคัญของประเทศไทย กล่าวคือมีมูลค่าการซื้อขายปัจจุบันอยู่ที่ 500 ล้านบาท (เกศินี พวงประดิษฐ์, สัมภาษณ์, 13 กรกฎาคม 2565) ไม่ว่าจะเป็นผ้าทอที่สำเร็จรูปแล้ว การขายน้ำคราม การขายเส้นฝ้ายครามถือเป็นการสร้างรายได้ให้กับชาวสกลนครเป็นอย่างมาก ในปี 2564 เฉพาะพื้นที่อำเภอพรรณานิคม จังหวัดสกลนคร มีการปลูกครามถึง 165 ไร่ ผลิตต้นครามได้จำนวนมากถึง 295,000 กิโลกรัม (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2565) เนื่องจากการย้อมผ้าครามในจังหวัดที่มีจำนวนมาก จึงทำให้แนวโน้มการปลูกต้นครามเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมากในแต่ละปี ซึ่งในการทำฝ้าย้อมครามนั้น จะใช้พื้นที่ในการปลูกต้นคราม 5-6 ไร่ เพื่อให้ได้ปริมาณครามที่เพียงพอต่อการย้อม ในการย้อมครามนั้น จะต้องใช้ทั้งใบและกิ่งจากต้นครามเพื่อผลิตน้ำคราม โดยการย้อมฝ้าย 200-300 กรัมจะใช้ต้นครามประมาณ

8 กิโลกรัม (ศูนย์ศึกษาการพัฒนาภูพานอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดสกลนคร, 2555) จากข้อมูลข้างต้นจะพบว่าปริมาณกากครามที่เหลือจากการทำน้ำครามนั้นจะมีจำนวนมาก ซึ่งเป็นปัญหาต่อการกำจัด ก่อปัญหาการจัดหาพื้นที่ในการกำจัดกากคราม อีกทั้งหากทิ้งกากครามไว้นาน จะทำให้เกิดการเน่าของกากครามส่งผลให้เกิดกลิ่นเหม็นซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ต่ออากาศและดินของชุมชน การนำขยะเหลือใช้ทางการเกษตร มาพัฒนาเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ใหม่นั้นเป็นการใช้ทรัพยากรให้คุ้มค่า ลดปัญหาขยะเหลือทิ้งจากการเกษตร และเป็นสร้างมูลค่าให้กับขยะต้องทิ้ง เป็นการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ลดการใช้วัสดุที่นำมาจากธรรมชาติอีกด้วย ซึ่งที่ผ่านมาได้มีการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรหลายชนิดมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ หนึ่งในผลิตภัณฑ์ใหม่นั้นคือ ปาร์ติเกิลบอร์ด (Particle board) หรือแผ่นไม้ปาร์ติเกิล

ในอดีตที่ผ่านมาได้มีการนำเศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรมาทำเป็นแผ่นไม้ปาร์ติเกิล มีหลากหลายรูปแบบ เช่น การผลิตแผ่นไม้อัดจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร (ณัฏฐการณณ์ จริญญาพัฒน์ และสาลิณี อาจารย์, 2560) ที่ใช้กาวไอโซไซยานต (pDMI) เป็นกาวประสานเพื่อทำปาร์ติเกิลบอร์ด ซึ่งกาวไอโซไซยานต เป็นกาวที่ไม่มีสารฟอร์มัลดีไฮด์ซึ่งเป็นอันตราย เมื่อแห้งแล้วจะไม่มีสี และมีความทนทานสูง นอกจากนั้นยังมีการศึกษาแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษไม้จากโรงงานทำตะเกียบ (แสงระวี สุชีธรรมและทรงกรด จารุสมบัติ, 2562) พบว่าการใช้ไอโซไซยานตที่ร้อยละ 7 ของน้ำหนัก เศษไม้ตะเกียบจะให้คุณสมบัติเชิงกลและทางกายภาพดีที่สุด โดยผลการทดสอบผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.876-2547

ด้วยเหตุนี้ หากมีการนำกากครามไปใช้ประโยชน์ในเชิงอุตสาหกรรม จะเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรของชุมชน ลดมลพิษ รักษาสิ่งแวดล้อมของชุมชน และลดปริมาณกากครามที่เหลือทิ้งจากการทำน้ำคราม งานวิจัยนี้จะนำกากครามมาแปรรูปเพื่อทำเป็นแผ่นไม้ปาร์ติเกิล แล้วทดสอบคุณสมบัติของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของแผ่นขึ้นไม้อัดชนิดอัดราบ (มอก.876-2565) ซึ่งแผ่นไม้ปาร์ติเกิลนั้นเป็นวัสดุทดแทนไม้ชนิดหนึ่งที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ทำผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้ซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กากคราม เพื่อเพิ่มรายได้ให้กับผู้ประกอบการที่ผลิตผ้าย้อมครามต่อไป

คำถามของการวิจัย

ในการวิจัยนี้ผู้วิจัยได้กำหนดคำถามของการวิจัยไว้ ดังนี้

1. กากครามที่เหลือที่จะนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างไร
2. กากครามนำมาทำเป็นแผ่นไม้ปาร์ติเกิลได้หรือไม่
3. แผ่นไม้ปาร์ติเกิลที่ทำจากกากครามจะมีคุณสมบัติอย่างไร

ความมุ่งหมายของการวิจัย

ความมุ่งหมายของการวิจัย มีดังนี้

1. เพื่อศึกษาการนำกากครามมาทำเป็นแผ่นไม้ปาร์ติเกิล โดยใช้กาวโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) และเซลแลค (Shellac) เป็นกาวประสาน
2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพได้แก่ ความหนาแน่น ความชื้น การพองตัวตามความหนา และคุณสมบัติทางกลได้แก่ ความต้านแรงดัด โมดูลัสยืดหยุ่น และแรงดึงตึงฉีกกับผิวหน้าของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลที่ทำจากกากคราม
3. เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกลกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของแผ่นไม้อัดชนิดอัดราบ (มอก.876-2565)

สมมติฐานของการวิจัย

สมมติฐานของการวิจัยในครั้งนี้คือ กากครามสามารถนำมาทำเป็นแผ่นไม้ปาร์ติเกิลได้ และคุณสมบัติของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลที่ทำจากกากครามจะสอดคล้องตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นไม้อัดชนิดอัดราบ (มอก.876-2565)

ความสำคัญของการวิจัย

ความสำคัญของการวิจัยนี้ จะก่อให้เกิดประโยชน์ต่าง ๆ ดังนี้

1. ได้องค์ความรู้ในการผลิตแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากกากคราม
2. ได้ต้นแบบเครื่องผลิตแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากกากคราม
3. เพื่อลดปริมาณกากครามที่เหลือทิ้งจากการทำน้ำคราม
4. เพื่อนำกากครามมาเพิ่มมูลค่าโดยการทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ใหม่
5. เพื่อพัฒนาต่อยอด นำวัสดุอื่นที่ใกล้เคียงกับกากครามมาทำเป็นแผ่นไม้ปาร์ติเกิล
6. เพื่อพัฒนาเป็นอุตสาหกรรมชุมชน ผลิตแผ่นไม้ปาร์ติเกิลตามมาตรฐานอุตสาหกรรมได้

ขอบเขตของงานวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตของการวิจัย โดยกำหนดวัสดุที่ใช้งานวิจัยได้ดังนี้ กากคราม ผู้วิจัยใช้กากครามจากชุมชนทำผ้าคราม บ้านตอเรือ ต.นาหัวบ่อ อ.พรรณานิคม จ.สกลนคร กาวที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นกาวที่หาได้ทั่วไปตามท้องตลาด ประกอบด้วยกาวโพลีไวนิล

แอลกอฮอล์ และเซลแลคเป็นกาบประสาน ระยะเวลาดำเนินงานวิจัย เริ่มเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2566 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ. 2567

1. ขอบเขตด้านเนื้อหา

- 1.1 ขนาดตัวอย่างที่จะศึกษาแผ่นไม้ปาร์ติเกิล ที่ทำจากกากครามขนาด 200×200 มิลลิเมตร ความหนา 13 มิลลิเมตร
- 1.2 ประเภทของกาบประสาน คือกาบโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ร้อยละ 30 ของน้ำหนัก
- 1.3 ประเภทของกาบประสาน คือเซลแลค (SAL) ร้อยละ 30 ของน้ำหนัก
- 1.4 การขึ้นรูปแผ่นไม้ปาร์ติเกิล ใช้เวลาในการคงตัวของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล 3 วัน

2. ประชากรที่ศึกษา และกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัย

- 2.1 ประชากร งานวิจัยนี้ได้ผลิตแผ่นแผ่นไม้ปาร์ติเกิล ที่ทำจากกากคราม ขนาด 200×200 มิลลิเมตร ความหนา 13 มิลลิเมตร โดยสูตรแรกใช้กาบโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) จำนวน 6 แผ่น และสูตรที่สองใช้เซลแลค (SAL) จำนวน 6 แผ่น
- 2.2 กลุ่มตัวอย่าง งานวิจัยนี้ได้กำหนดกลุ่มตัวอย่างโดย นำแผ่นไม้ปาร์ติเกิลที่ทำจากกากครามในแต่ละสูตร มาตัดแบ่งเพื่อทำการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกล ซึ่งในแต่ละสูตรมีตัวอย่างทดสอบดังต่อไปนี้
 - 2.2.1 การทดสอบความหนาแน่นและความชื้นตัดตัวอย่างทดสอบให้มีขนาด 50×50 มิลลิเมตร จำนวน 6 ชิ้น
 - 2.2.2 การทดสอบการพองตัวตามความหนาตัดตัวอย่างทดสอบให้มีขนาด 50×50 มิลลิเมตร จำนวน 8 ชิ้น
 - 2.2.3 การทดสอบความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่นตัวตัวอย่างทดสอบให้มีขนาด 50×200 มิลลิเมตร จำนวน 12 ชิ้น
 - 2.2.4 การทดสอบความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าตัดตัวอย่างทดสอบขนาด 50×50 มิลลิเมตร จำนวน 8 ชิ้น

3. ตัวแปรที่ศึกษา

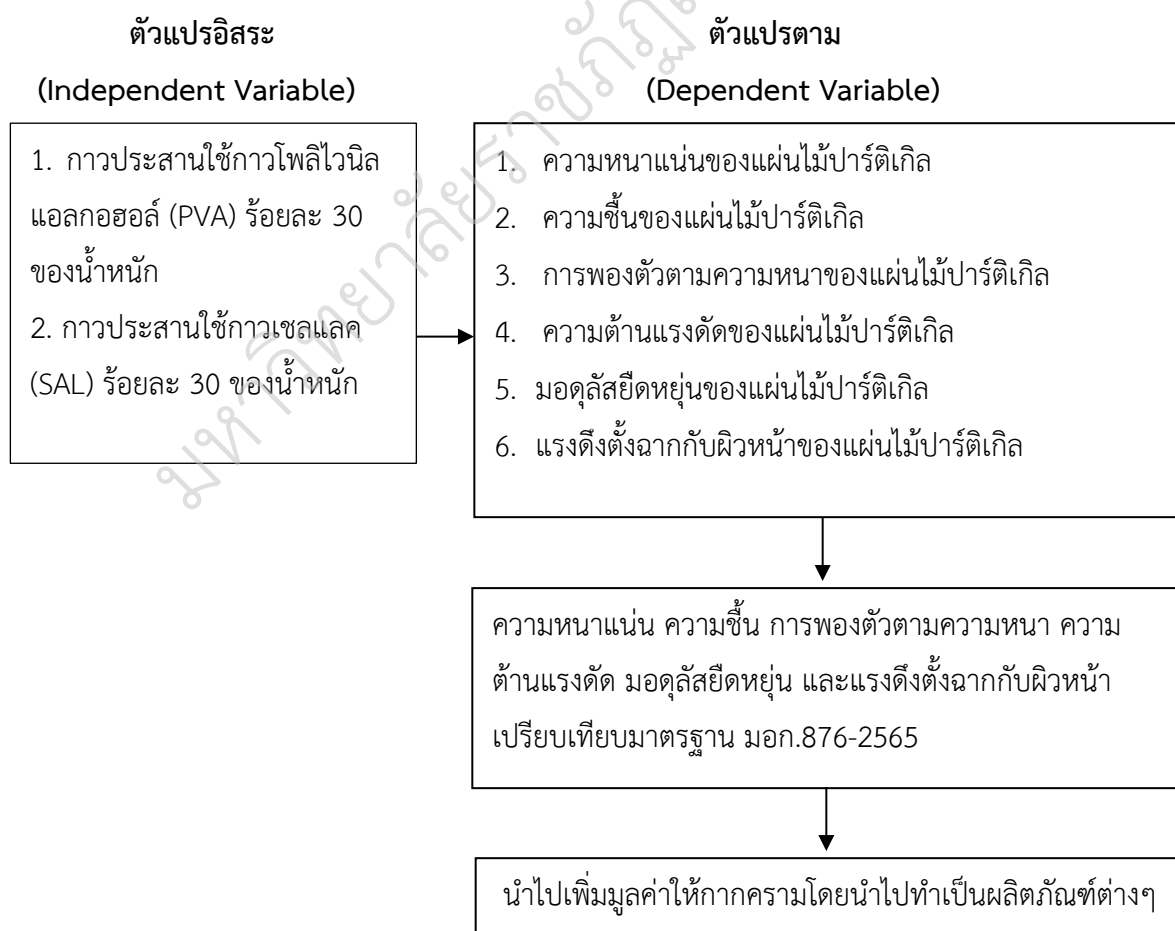
- 3.1 ตัวแปรอิสระได้แก่
 - 3.1.1 ปริมาณร้อยละของกากครามที่ใช้ในการทำแผ่นไม้ปาร์ติเกิล
 - 3.1.2 ปริมาณกาบโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ร้อยละ 30 ของน้ำหนัก
 - 3.1.3 ปริมาณกาบเซลแลค (SAL) ร้อยละ 30 ของน้ำหนัก

3.2 ตัวแปรตามได้แก่

- 3.2.1 ความหนาแน่นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล
- 3.2.2 ความชื้นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล
- 3.2.3 การพองตัวตามความหนาของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล
- 3.2.4 ความต้านแรงดัดของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล
- 3.2.5 มอดุลัสยืดหยุ่นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล
- 3.2.6 แรงดึงตึงฉากกับผิวหน้าของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล

กรอบแนวคิดของการวิจัย

ในการวิจัยเกี่ยวกับการทำแผ่นไม้ปาร์ติเกิล จากกากคราม ผู้วิจัยได้สรุปเป็นกรอบแนวคิดของการวิจัย ดังภาพประกอบ 1



ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดของการวิจัย

นิยามศัพท์เฉพาะ

กากคราม (Indigo Residue) หมายถึง ตันครามซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทาง
การเกษตรที่ได้จากการทำน้ำคราม

แผ่นขึ้นไม้อัดชนิดอัดราบ หรือ แผ่นไม้ปาร์ติเกิล (Particle board) หมายถึง วัสดุ
ทดแทนไม้เป็นการนำเศษไม้ชิ้นเล็กๆ มาประสานกันด้วยกาว ขึ้นรูปด้วยความดันและอุณหภูมิสูง

กาวโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol adhesive) หมายถึง กาวผสมที่ใช้ใน
การทำแผ่นไม้ปาร์ติเกิล มีลักษณะเป็นเจลใส ไม่มีกลิ่น ไม่เป็นพิษ

เชลแลค (Shellac) หมายถึง สารสกัดจากแมลงครั่ง เป็นเรซินธรรมชาติ มีคุณสมบัติ
สามารถยึดติดกับพื้นผิวได้ ใช้เป็นสารเคลือบผิวไม้ได้ ไม่เป็นพิษ

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากเหตุผลและความสำคัญของการศึกษาที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 1 การศึกษาคุณสมบัติของวัสดุ มาตรฐานการทดสอบผลิตภัณฑ์ และการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาค้นคว้า โดยในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องตามเนื้อหาดังต่อไปนี้

ต้นครามและกากคราม

แผ่นไม้ปาร์ติเกิล

กาวยที่ใช้ทำแผ่นไม้ปาร์ติเกิล

วิธีทำแผ่นไม้ปาร์ติเกิล

การทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ต้นครามและกากคราม

1. ต้นคราม

คราม (Indigo) เป็นพืชตระกูลถั่ว มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Indigofera tinctoria* L. นิยมปลูกในหลายทวีป เช่น ทวีปเอเชีย ทวีปอเมริกา และทวีปแอฟริกา สายพันธุ์ที่นิยมปลูกและนำมาย้อม ได้แก่ *Indigofera arrecta* สายพันธุ์นี้ปลูกมากในประเทศอินเดีย *Indigofera suffruticosa* Miller ssp. *suffruticosa* ครามใหญ่ (อุบลราชธานี) *Indigofera suffruticosa* Miller ssp. *guatemalensis* (ครามเถื่อน) และ *Indigofera tinctoria* Linn. ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่นิยมปลูกในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย นิยมนำมาใช้สกัดสีครามเพื่อนำมาย้อมผ้า (ไพฑูรย์ อบเชย, 2560) ลักษณะของต้นครามจะเป็นพุ่ม ใบขนาดเล็ก ดอกของครามคล้ายดอกถั่ว มีสีเขียวมครีม เมื่อบานมีสีแดงหรือชมพู ดังแสดงในภาพประกอบ 2



ภาพประกอบ 2 ต้นคราม

ลักษณะทั่วไปของต้นคราม ครามมีทรงต้นเป็นพุ่มสูงประมาณ 1-2 เมตร ใบมีลักษณะเป็นขนนกเรียงสลับกัน ปลายใบเดี่ยว ส่วนใบย่อยรูปดอกถั่ว ดอกเป็นสีชมพู จะออกดอกเป็นกระจุก ขนาดของดอกยาว 5 มิลลิเมตร ผลเป็นฝักเล็ก ๆ จะมีลักษณะตรงหรืองอเล็กน้อย ตามลักษณะของแต่ละสายพันธุ์คราม ภายในฝักมีเมล็ดประมาณ 7-12 เมล็ด ระบบรากเป็นรากแก้ว ลำต้นเป็นข้อและปล้อง ดังแสดงในภาพประกอบ 3 บริเวณข้อมีตาและตาออกเกิดขึ้น ต่อมาเกิดข้อดอกในภายหลัง ดอกของครามประกอบด้วยกลีบดอก 4 กลีบ มีเกสรตัวผู้ 10 อัน เกสรตัวเมีย 1 อัน เมล็ดของครามเป็นสีเหลี่ยมลูกบาศก์ค่อนข้างกลม ในการปลูกครามนั้น เนื่องจากเป็นพืชที่ชอบแดดจัด ดินร่วน น้ำไม่ขัง การเลือกพื้นที่ปลูกครามควรเป็นที่โล่งน้ำไม่ขัง มีแดดเพียงพอ ถ้าพื้นที่ปลูกเป็นที่ลุ่มควรยกร่องปลูก การปลูกครามจะเริ่มปลูกประมาณเดือนเมษายน ควรรดน้ำต้นครามสัปดาห์ละครั้ง การปลูกครามนิยมปลูกโดยการหว่านเมล็ดแล้วเกลี่ยดินกลบ หรือปลูกโดยวิธีหยอดหลุม เป็นแถวหลุมละ 3-4 เมล็ด แต่ละแถวห่างกันประมาณ 40-60 เซนติเมตร เมื่อได้รับน้ำเมล็ดจะเริ่มงอก การดูแลต้นครามเมื่อครามงอกเป็นต้นอ่อนเล็ก ๆ ต้นครามจะค่อนข้างบอบบางต้องถอนต้นครามที่ไม่สมบูรณ์ และต้นครามที่เกิดใกล้กันทิ้งไป การดูแลที่สำคัญคือการกำจัดวัชพืช เพื่อไม่ให้มีวัชพืชบดบังแสงแดด เมื่อต้นครามจะได้รับน้ำ ปุ๋ย และแสงแดดอย่างเพียงพอ กิ่งก้านของต้นครามจะกางออก ใบจะมีสีเขียวเข้มและหนาขึ้น เมื่อต้นครามอายุ 3-4 เดือน ต้นครามจะออกดอก เมื่อดอกร่วงต้นครามจะให้ผลเป็นฝักเล็ก ๆ ให้สังเกตยอดคราม

หากยอดครามหักแสดงว่าครามแก่พอ สามารถให้สีครามได้แล้ว ถ้าครามพันธุ์ฝักตรงเก็บเกี่ยวได้ครั้งเดียว หากเป็นพันธุ์ฝักงอจะแตกกิ่งและใบได้อีก สามารถเก็บใบแก่ได้อีก 2-3 ปี จนกว่าครามจะตาย การเก็บเกี่ยวใบครามควรทำด้วยการตัดหรือเกี่ยวกิ่งและใบโดยทิ้งตอไว้สูงประมาณ 20 เซนติเมตรจากพื้นดิน เพื่อคงคุณภาพและสีสันทີที่ดีที่สุดของใบคราม ควรเก็บเกี่ยวในช่วงเช้ามืดเนื่องจากใบครามที่เก็บเกี่ยวในเวลานี้จะยังคงความสดและให้สีที่มากกว่าการเก็บในช่วงสายหรือเมื่อแดดจัดซึ่งอาจทำให้ใบครามแห้งและให้สีน้อยลง นอกจากนี้ ควรสวมเสื้อผ้ามิดชิดเมื่อเก็บใบครามเพราะต้นครามมีขนเล็ก ๆ ที่อาจทำให้ผิวหนังระคายเคือง สำหรับการเก็บฝักคราม ฝักที่อ่อนจะมีสีเขียว แต่เมื่อฝักเริ่มแก่จะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง น้ำตาล และสุดท้ายเป็นสีดำ เมื่อฝักมีสีน้ำตาลคือช่วงเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการเก็บเกี่ยว ควรนำฝักที่เก็บได้ไปผึ่งแดดจนแห้งสนิทและจัดเก็บไว้ในที่มีอากาศถ่ายเทได้ดี ฝักสามารถเก็บไว้เป็นชั้นหรือบุงให้แตกแล้วเก็บเฉพาะเมล็ดก็ได้ตามความสะดวก ครามพันธุ์ฝักตรง 1 ฝักมี 9-10 เมล็ด 100 กรัมมี 16,800 เมล็ด ส่วนพันธุ์ฝักงอ 1 ฝักมี 4-5 เมล็ด 100 กรัมจะมีประมาณ 15,900 เมล็ด (นันทวัน บุญยะประภัศร และอรนุช โชคชัย, 2543) ในการเก็บเกี่ยวเมล็ดไม่ควรปล่อยให้ฝักครามเป็นสีดำเพราะจะทำให้เมล็ดงอกยาก ก่อนนำไปปลูกให้โชลกฝักครามเบา ๆ ให้ฝักแตกแล้วจึงนำไปหว่านหรือหยอดหลุม เพื่อเพาะปลูกให้เป็นต้นครามต่อไป



ภาพประกอบ 3 ลักษณะลำต้นของต้นครามแห้ง

2. กากคราม

ในการทำผ้าย้อมครามจะมีกระบวนการในการทำสีครามออกจากต้นครามเพื่อให้ได้น้ำคราม ดังแสดงในภาพประกอบ 3 โดยการทำน้ำครามนี้จะนำต้นครามทั้งต้น รวมทั้งกิ่งและใบครามสด บรรจุลงในภาชนะโดยชั่งครามสด 10 กิโลกรัมแช่ในน้ำ 20 ลิตร กดใบครามให้แน่นให้น้ำท่วมใบคราม แช่ไว้ 10-12 ชั่วโมง จากนั้นจึงกลับคราม ให้ครามที่อยู่ข้างล่างมาทับส่วนที่อยู่ด้านบน แล้วแช่ต่อไปอีก 10-12 ชั่วโมง หลังจากแช่แล้วแยกต้นครามออก ต้นครามที่แยกมานี้คือกากคราม (ศูนย์ศึกษาการพัฒนาภูพานอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดสกลนคร, 2555) ซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักในการทำวิจัยในครั้งนี้ ดังแสดงในภาพประกอบ 5 หลังจากแยกกากครามออกแล้วจะได้น้ำครามที่มีสีฟ้าจาง ๆ ให้เติมปูนขาวประมาณ 20 กรัมต่อน้ำคราม 1 ลิตร หรือ 400 กรัมต่อน้ำคราม 20 ลิตร การเติมปูนขาวให้เติมทีละน้อยจนน้ำครามจนฟองน้ำครามเป็นสีน้ำเงินกวนเรื่อย ๆ จนกว่าฟองครามจะยุบแล้วทิ้งไว้ 1 คืน หลังจากนั้นเทน้ำที่มีสีจางทิ้งไป ถ้าน้ำที่ทิ้งไปมีสีเขียวแสดงว่าใส่ปูนขาวน้อย ถ้าใส่ปูนขาวพอดีน้ำจะเป็นสีขาว หากใส่ปูนขาวมากเกินไปเนื้อครามเป็นสีเทาใช้ไม่ได้ เนื้อครามที่ดีต้องมีลักษณะเนียนละเอียด เป็นเงาและมีสีน้ำเงินสดใส การเก็บเนื้อครามไว้ใช้งานสามารถเก็บเนื้อครามแบบเปียกหรือเนื้อครามแบบผงก็ได้ตามความเหมาะสม ในการก่อก้อนคราม (หม้อน้ำครามที่พร้อมนำเส้นด้ายมาย้อม) ข้อควรระวังไม่ควรแช่ใบครามนาน เพราะผลการวิจัยปรากฏชัดว่า เมื่ออุณหภูมิคงที่สีครามตั้งต้นในใบครามจะถูกสลาย (Hydrolyze) ให้สีคราม (Indoxyl) ออกมาอยู่ในน้ำครามได้มากที่สุดในเวลาที่เหมาะสมเท่านั้น การแช่ใบครามที่ใช้เวลาน้อยหรือมากจนเกินไป จะได้สีครามน้อยแต่สิ่งปนเปื้อนมาก ทำให้ปนในเนื้อผ้าที่ย้อมด้วยผ้าจึงหมอง สีไม่สวย หากต้องการสีครามเร็วให้แช่ใบครามในน้ำอุ่นไม่เกิน 40 องศาเซลเซียสหรือใช้หลักใบครามสดในครกกระเดื่องและแช่ในน้ำที่อุณหภูมิปกติเพียง 12 ชั่วโมง



ภาพประกอบ 4 การแช่ต้นครามเพื่อให้ได้น้ำคราม

ต้นครามที่เหลือจากกรรมวิธีทำน้ำครามเรียกว่า กากคราม โดยปกติเกษตรกรจะกำจัดกากครามโดยการเผาทิ้ง ปล่อยให้ย่อยสลายไปเอง หรือหมกเป็นปุ๋ย ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะนำกากครามนี้มาทำเป็นแผ่นไม้ปาร์ติเกิล เพื่อให้ได้เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่และเพิ่มมูลค่าให้กับกากคราม ซึ่งเป็นขยะเหลือใช้จากการเกษตร อีกทั้งยังเป็นการลดมลภาวะที่จะเกิดขึ้นในชุมชนอีกด้วย



ภาพประกอบ 5 กากครามที่เหลือจากการทำน้ำคราม

แผ่นไม้ปาร์ติเกิล

แผ่นไม้ปาร์ติเกิล เป็นไม้ทางวิศวกรรมประเภทหนึ่ง สร้างมาจากการนำเศษชิ้นไม้หรือ ขี้เลื่อย มาประสานกันโดยสารเคมีที่มาจากธรรมชาติหรือสังเคราะห์ แล้วนำมาทำการอัดด้วยความดันสูง โดยใช้ความร้อนหรือไม้ก็ได้แล้วแต่กรรมวิธี แผ่นไม้ปาร์ติเกิลจัดเป็นไฟเบอร์บอร์ดชนิดหนึ่ง เช่นเดียวกับเอ็มดีเอฟ (MDF) และฮาร์ดบอร์ดที่มีส่วนประกอบจากชิ้นไม้ที่ใหญ่กว่าแผ่นไม้ปาร์ติเกิล แผ่นไม้ประเภทนี้เมื่อเปรียบเทียบกับไม้จริง จะมีราคาที่ถูกกว่า ความหนาแน่นน้อยกว่าไม้จริง มีเนื้อของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจะมีลักษณะเดียวกันทั้งชิ้น ขณะที่ความแข็งแรงของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจะน้อยกว่าไม้จริง โดยเมื่อนำมาใช้งานนิยมนำวัสดุอื่นมาติดเป็นผิวหน้าเพื่อเพิ่มความแข็งแรง แสดงลายไม้ หรือเพื่อป้องกันความชื้น แผ่นไม้ปาร์ติเกิลนั้นเป็นไม้ที่มีน้ำหนักเบาสุดในบรรดาไฟเบอร์บอร์ด แต่ความแข็งแรงก็น้อยกว่าเอ็มดีเอฟ และฮาร์ดบอร์ด จุดด้อยอีกอย่างของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลคือ ตัวเนื้อไม้มีการขยายตัวได้ง่ายเนื่องจากความชื้นโดยเฉพาะไม้ที่ไม่ได้มีการทาสี หรือเคลือบผิว (บริษัท แอ็บโซลูท สไตรล์ จำกัด, 2560, ออนไลน์) อย่างไรก็ตามแผ่นไม้ปาร์ติเกิล นิยมนำมาใช้ในตัวอาคาร แทนการใช้งานภายนอกอาคารซึ่งมีความชื้นสูง หรือใช้ในงานที่ต้องการความแข็งแรงสูง แผ่นไม้ปาร์ติเกิล มักนำมาใช้ทำเคาน์เตอร์ และนิยมนำมาใช้เป็นฉนวนกันเสียงหรือความร้อน

การใช้ทำแผ่นไม้ปาร์ติเกิล

1. กาวโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol)

กาวโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) เป็นโพลิเมอร์สังเคราะห์ที่มีคุณสมบัติการยึดติดเป็นกาวได้ และไม่มีสารพิษ มีคุณสมบัติในการก่อฟิล์ม ละลายเป็นของเหลวได้ อีกทั้งยังทนทานต่อการกัดกร่อนของน้ำมันหล่อลื่น โพลีไวนิลแอลกอฮอล์มีความเค้นแรงดึงและความยืดหยุ่นสูง และมีคุณสมบัติป้องกันการระเหยของกลิ่นและน้ำมัน ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นด้วย หากความชื้นสูงขึ้น น้ำก็จะถูกดูดซับได้มากขึ้น ทำให้โพลีไวนิลแอลกอฮอล์นิ่มส่งผลให้ความเค้นแรงดึงลดลง แต่จะเพิ่มแรงยึดและแรงเฉือนให้มากขึ้น โพลีไวนิลแอลกอฮอล์สามารถย่อยสลายได้หมดอย่างรวดเร็ว สำหรับโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ที่ได้จากการไฮโดรไลซิสอย่างสมบูรณ์สามารถย่อยสลายได้โดยวิธีชีวภาพ โพลีไวนิลแอลกอฮอล์นั้นมีจุดหลอมละลาย 180-190 องศาเซลเซียส และโพลีไวนิลแอลกอฮอล์สามารถย่อยสลายได้อย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูงกว่า 200 องศาเซลเซียส เนื่องจากมันย่อยสลายได้ด้วยความร้อนอุณหภูมิสูงเท่านั้น (century-trading.com, 2567, ออนไลน์)

2. กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ (Urea formaldehyde)

กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ (UF) เป็นกาวที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมมากกว่า 60 ปี โดยเริ่มต้นจากการผสมฟอร์มัลดีไฮด์กับยูเรียในสภาพต่าง เพื่อสร้างเมธิลอลยูเรีย ซึ่งยังไม่ใช้สารกาวในตัว จากนั้นจะมีการเพิ่มกรดเพื่อทำปฏิกิริยาต่อไป และหยุดปฏิกิริยาโดยการปรับสภาพผสมให้กลับมาเป็นกลาง ก่อนจะดำเนินการลด ปริมาณน้ำ ออกจากผสม ผ่านกระบวนการเกิดปฏิกิริยาควบแน่น ในการผลิตกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ กาวเข้มข้น จะถูกพ่นผ่านรูขนาดเล็กในห้องอบความร้อนที่มีอุณหภูมิสูงถึง 200 องศาเซลเซียส เพื่อให้กาว นั้นแข็งตัวและกลายเป็นผง กระบวนการนี้ช่วยให้กาวมีลักษณะที่เหมาะสมกับการใช้งานใน หลากหลายที่ต้องการความแข็งแรงและความทนทานสูงในการเชื่อมต่อวัสดุ (วรรณม อุ่นจิตติชัย, 2555) ข้อเสียของกาวชนิดนี้คือจะปล่อยสารฟอร์มัลดีไฮด์ซึ่งเป็นสารพิษ ทำลายสุขภาพและ สิ่งแวดล้อม

3. กาวไอโซไซยาเนต (Isocyanate resins)

กาวไอโซไซยาเนต (Isocyanate resins) เป็นสารที่มีคุณสมบัติพิเศษในการใช้งาน ในหลายวงการอุตสาหกรรม โดยเฉพาะในงาน Casting resins และเป็นตัวกลางสำคัญในสี (Paint media) เมื่อมองในมุมมองของวงการงานไม้ กาวไอโซไซยาเนตมักมีการใช้น้อยมากใน ช่วงเวลาระหว่างปี ค.ศ. 1950 ถึงปี ค.ศ. 1975 แม้ว่าสามารถนำมาใช้งานได้ในการผลิต Particle board (PB), Medium Density FiberBoard (MDF) และ Oriented Strand Board (OSB) เมื่อต้องการผลิตชิ้นงานที่มีความทนทานสูง โดยที่มีการเชื่อมต่อทางเคมีกับลิกนินและเซลลูโลส กาวไอโซไซยาเนตมักถูกนำมาใช้ในปริมาณที่น้อยเมื่อเทียบกับปริมาณการใช้ในการผลิต PB และ มีความยืดหยุ่นในการปรับปรุงการใช้งาน โดยมีการพิสูจน์ว่ามีความคุ้มค่าต่อการใช้งาน เนื่องจาก สามารถช่วยลดการใช้ไม้วัตถุดิบได้ถึงร้อยละ 15 โดยมีความแข็งแรงทางกลที่ระดับเดียวกัน การใช้งานแบบธรรมชาตินี้ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการผลิตและมีผลต่อการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ อย่างยั่งยืน อีกทั้งยังช่วยสร้างผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและความทนทานในการใช้งานในระยะยาว (สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้, 2567, ออนไลน์) กาวไอโซไซยาเนตนั้นเป็นกาวที่ไม่มีขาย ทั่วไป เป็นกาวที่ใช้ในระดับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่

4. กาวฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์ (Phenol Formaldehyde)

กาวเรซิน (PF) ถือเป็นหนึ่งในสารกาวที่มีความสำคัญในวงการอุตสาหกรรมไม้ มีบทบาทสำคัญในการผลิตแผ่นไม้อัดชนิดหลากหลาย เช่น ทะเลไม้ (Marine Plywood) แผ่นไม้รวมกันเช่น PB และ OSB สำหรับใช้ในการก่อสร้างกาวประเภทนี้เหมาะสำหรับใช้ภายนอก อาคารหรือที่ที่ถูกรน้ำหรือละอองน้ำ จึงเป็นที่นิยมใช้ทำชายคาบ้าน ฝ้าเพดาน ทำประตูและ

ผ้าห่อน้ำ กาว PF มีลักษณะที่แตกต่างกันออกไป โดยแบ่งเป็น 2 ชนิดหลัก คือ รีโซล (Resoles) และ โนวแลก (Novolacs) โดยรีโซลเป็นชนิดที่ใช้ในการผลิตแผ่นไม้อัด เช่น ไม้อัด PB และ MDF Resoles เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างฟอร์มัลดีไฮด์กับฟีนอลในสารละลายต่าง มีความต้านทานต่อน้ำและความร้อน ส่วนโนวแลก (Novolacs) สังเคราะห์ขึ้นในสภาวะกรด และมีสัดส่วนที่ต่ำในงานประดิษฐ์กรรมไม้ กาว PF โนวแลกมักนำมาใช้ในการผลิตชิ้นงานที่มีความพิเศษ เช่น Wafer board ชนิดพิเศษโดยใช้ Novolacs และใช้ในการผลิตไม้อัดความหนาแน่นสูง (Densified wood) โดยการนำไม้มาแช่ (Impregnate) ในการอัดกาวในสารละลายกาว แล้วปล่อยให้กาวไหลออกและนำมาเรียงประกบกันตามความหนาที่ต้องการ (สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้, 2567, ออนไลน์) กาวชนิดนี้ราคาสูง แต่ก็เป็นกาวที่มีประสิทธิภาพในการยึดติดมาก มักนำมาใช้ในระดับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ไม่ผลิตขายตามท้องตลาดทั่วไป

5. เซลแลค (Shellac)

เซลแลค (Shellac) เป็นสารสกัดจากธรรมชาติที่มีต้นกำเนิดจากการแปรรูปสารที่ครั้งหลังออกมา โดยตัวครั้งแรกเป็นแมลงที่มีขนาดเล็กและอาศัยอยู่บนต้นพืชหลายชนิด เช่น ต้นจามจุรี สะแก ปันแถ รังครั้งแรกเป็นยางแข็งเรียกว่าชัน ครั้งจะสร้างรังเพื่อป้องกันตัวเองจากศัตรูและสภาพแวดล้อมต่าง ๆ เซลแลคมีลักษณะหลัก ๆ คือ มีลักษณะเงาและสามารถกันน้ำและไฟได้ดี นอกจากนี้ยังมีความยืดหยุ่นที่ดีทำให้สามารถยึดติดกับพื้นผิวได้หลายชนิด (captaincoating.com, 2567, ออนไลน์)

การผลิตเซลแลคเริ่มต้นด้วยการนำรังของครั้งมาละลายและรีดเป็นแผ่นบาง ๆ หรือเซลแลคเกร็ด สีของเซลแลคเกร็ดมักมีลักษณะคล้ายกับสีของชาแก่ๆ และบางครั้งอาจมีสีส้มหรือเหลืองอ่อน นอกจากนี้ยังมีเซลแลคผงที่มีลักษณะเป็นเม็ดกลมสีเหลืองอ่อนหรือขาวเซลแลคมีคุณสมบัติที่น่าสนใจ เช่น มีลักษณะที่เงา สามารถกันน้ำและไฟได้ดี สามารถยึดติดกับพื้นผิวได้หลายชนิดเนื่องจากมีความยืดหยุ่นที่ดี ดังนั้นมีการใช้เซลแลคในหลากหลายวงการอุตสาหกรรม เช่น การเคลือบผิวเมื่อยา ผลไม้ ขนมหวาน และเงาไม้ เป็นต้น เซลแลคเป็นสารที่มีความหลากหลายในการใช้งานและมีความสำคัญในอุตสาหกรรมต่าง ๆ โดยเฉพาะในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความแข็งแรงและความสดใสในการเคลือบผิวสินค้า เซลแลคยังเป็นตัวช่วยในการปกป้องพื้นผิวจากการสัมผัสกับน้ำหรือสารเคมีอื่น ๆ อีกด้วย

ตาราง 1 ตารางเปรียบเทียบข้อดี ข้อด้อยของกาบประสานชนิดต่าง ๆ

ชนิดของกาบประสาน	ข้อดี	ข้อด้อย
กาบโพลีไวนิลแอลกอฮอล์	ไม่มีสารพิษ ทนการกัดกร่อน ความยืดหยุ่นสูง ย่อยสลาย เร็วราคาถูก มีขายทั่วไป	ไม่ทนความชื้น
กาบยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์	เป็นผง ใช้งานง่าย มีขายทั่วไป	ปล่อยสารพิษ
กาบไอโซไซยาเนต	ใช้ปริมาณน้อย ทนทานในระยะยาว	ไม่มีขายทั่วไป ราคาสูง
กาบฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์	ทนความชื้น ประสิทธิภาพในการยึด ติดสูง สามารถใช้ภายนอกอาคารได้	ปล่อยสารพิษ ไม่มีขายทั่วไป ราคาสูง
เซลแลค	ได้จากธรรมชาติ ไม่มีพิษ กันน้ำได้ดี กันความร้อนได้ดี ความยืดหยุ่นดี	ราคาสูง

จากตาราง 1 ผู้ทำการวิจัยเห็นว่ากาบที่เหมาะสมในการใช้ทำแผ่นไม้ปาร์ติเกิล ที่ทำจากกากคราม คือกาบโพลีไวนิลแอลกอฮอล์และเซลแลคมาเป็นกาบประสาน เนื่องจาก กาบโพลีไวนิลแอลกอฮอล์และเซลแลคนั้น มีขายทั่วไป มีคุณสมบัติไม่มีสารพิษ อีกทั้งยังทนทานต่อสภาพแวดล้อม ทดความร้อนได้สูง ไม่มีส่วนประกอบอันตรายหรือสารเคมีที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ ทำให้เป็นวัสดุที่ปลอดภัยในการใช้งาน ไม่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม

วิธีทำแผ่นไม้ปาร์ติเกิล

วิธีทำแผ่นไม้ปาร์ติเกิลโดยทั่วไปมีขั้นตอนการผลิตดังนี้ การเตรียมและย่อยวัสดุ การอบวัสดุให้แห้ง การคัดขนาดวัสดุ การผสมกาว การขึ้นรูปแผ่นปาร์ติเกิล และการอัดด้วยความร้อน (วรรณ อุ่นจิตติชัย, 2555)

1. การเตรียมวัสดุ (Particle preparation)

ขั้นตอนนี้เป็นลดขนาดของวัตถุดิบให้ได้รูปร่างและขนาดที่เหมาะสมสำหรับทำแผ่นไม้ปาร์ติเกิล ตามที่ต้องการผลิตแผ่นไม้ปาร์ติเกิลชนิดใดหรือให้มีลักษณะเนื้อละเอียดเพียงใด สำหรับเครื่องย่อยอย่างหยาบ นิยมใช้ในการตัดทอนหรือลดขนาดวัตถุดิบดังกล่าว เช่น เครื่องตีชิ้นไม้ (hammer mill & wing-beater mills) เครื่องทำชิปไม้ (Chippers) เครื่องกระแทกชิ้นไม้ (Impact mills)

เครื่องบดเสียดสีชั้นไม้ (Attrition mills) เป็นต้น เมื่อย่อยหยาบแล้วจึงนำไปบดละเอียดด้วยเครื่องทำซีลื้อ เพื่อให้วัสดุที่ได้มีขนาดเหมาะสมที่จะนำไปทำแผ่นไม้ปาร์ติเกิลต่อไป

2. อบวัสดุให้แห้ง (Particle drying)

หลังจากเตรียมวัสดุให้มีขนาดตามต้องการแล้ว วัสดุที่ได้จะถูกอบให้แห้งให้ได้ความชื้นต่ำอย่างสม่ำเสมอก่อนที่จะผสมกับกาวต่อไป เครื่องอบจะต้องมีคุณสมบัติในการป้องกันปาร์ติเกิลเข้าเครื่องได้อย่างรวดเร็วในกระแสน้ำอากาศร้อนมาก ๆ และอากาศภายในเครื่องต้องมีการหมุนเวียนอากาศอย่างรวดเร็วเพื่อลดระยะเวลาการอบให้สั้นและไล่ความชื้นออกไปจากชั้นวัสดุได้อย่างรวดเร็ว อีกทั้งยังเป็นการป้องกันการติดไฟของชั้นวัสดุเมื่ออบเป็นเวลานาน สำหรับเครื่องอบที่นิยมใช้มีหลายแบบเช่น เครื่องอบแบบหมุน (The horizontal rotating type), และเครื่องอบแบบอยู่กับที่ (The horizontal fixed type) เป็นต้น

3. คัดขนาดวัสดุ (Particle classification)

เป็นการคัดขนาดชั้นวัสดุหลังจากอบให้ได้ออกมาในแต่ละขนาดมีความสม่ำเสมอ เพื่อให้แผ่นไม้ปาร์ติเกิลที่ได้มีโครงสร้างทางวิศวกรรม (Engineering structure) ที่ดี การคัดแยกขนาดชั้นปาร์ติเกิล โดยทั่วไปมี 3 วิธีดังต่อไปนี้

3.1 การร่อน (Screening) เป็นการคัดแยกชั้นปาร์ติเกิลตามขนาด (Size) โดยใช้เครื่องร่อนชนิดต่างๆ เช่น เครื่องร่อนชนิดการใช้ความลาดเอียง การร่อนแบบหมุนชนิดวงกลม การใช้ตะแกรงสีกเหล็กม้วนเพื่อแยกขนาดชั้นปาร์ติเกิลให้มีขนาดตามต้องการ

3.2 การแยกโดยอากาศ (Air classification) เป็นการแยกตามน้ำหนักพื้นผิว (Surface to weight) ของวัสดุ ทำโดยการผ่านชั้นปาร์ติเกิลที่ย่อยละเอียดแล้ว ไปยังกระแสอากาศที่พัดหมุนอยู่ เพื่อแยกขนาดของชั้นปาร์ติเกิลตามน้ำหนัก

3.3 การร่อนผสมกับการคัดแยกด้วยอากาศ เป็นวิธีการผสมผสานระหว่างการร่อนและการการแยกโดยอากาศเข้าด้วยกัน

4. การผสมกาว (Blending)

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญ เพราะส่งผลโดยตรงต่อคุณสมบัติของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล กล่าวคือหากการผสมไม่ทั่วถึง จะทำให้การยึดเกาะของชั้นปาร์ติเกิลไม่ดี ทำให้แผ่นไม้ปาร์ติเกิลที่ได้ไม่สามารถคงรูปได้ และที่สำคัญจะทำให้แผ่นไม้ปาร์ติเกิลไม่มีความแข็งแรง ขั้นตอนการผสมกาวนี้ เป็นการรวมถึงสารผสมอื่น ๆ ให้เข้ากับชั้นปาร์ติเกิลด้วย โดยทั่วไป ทำโดยการสเปรย์กาวน้ำ และสารผสมอื่น ๆ ไปบนชั้นปาร์ติเกิลขณะเคลื่อนที่ผ่านอยู่ในเครื่องผสมหากมีการกระจายของส่วนผสมที่สม่ำเสมอและทั่วถึงจะทำให้ได้แผ่นไม้ปาร์ติเกิลที่มีคุณภาพดี สำหรับเครื่องผสมมี 2 แบบคือ

4.1 เครื่องผสมแบบใช้เวลาดำเนินการ (Long retention time) ซึ่งแบ่งย่อยเป็น ชนิดแบบกวนด้วยใบพาย (Paddle type blenders) แบบหมุนเครื่องผสม (Rotary blenders) และแบบคัดแยกชั้นปาร์ติเกิลด้วยลมก่อนผสม (Wind-sifting or air classification blenders)

4.2 เครื่องผสมแบบใช้เวลาดำเนินการสั้น (Short retention time) โดยทั่วไป เครื่องผสมแบบนี้จะมีขนาดเล็กกว่าเครื่องผสมแบบแรก ซึ่งจะใช้ความเร็วสูงในการผสม การบำรุงรักษาก็น้อยกว่าซึ่งมีอยู่ หลายประเภท เช่น Blow line blending, Attrition mill blenders และ Vertical blending เป็นต้น

5. การขึ้นรูปแผ่นปาร์ติเกิล (Mat formation)

การขึ้นรูปแผ่นปาร์ติเกิล หรือ Mat formation เป็นขั้นตอนหลักในการผลิตแผ่น ไม้ปาร์ติเกิล ซึ่งเริ่มต้นด้วยการโรยชั้นปาร์ติเกิลที่ผสมกับกาวและสารเติมแต่งอื่น ๆ ลงในแม่พิมพ์ โดยใช้เครื่องโรยปาร์ติเกิล ซึ่งมีหลายประเภท เช่นเครื่องโรยที่ใช้กระแสลมเพื่อแยกชั้นปาร์ติเกิล (Wind sifting or air classification) เครื่องโรยแบบ Schenck เครื่องโรยแบบ Fahrni เครื่อง เรียงตัวตามเส้น (Orienting formers) และเครื่องโรยแบบ Wurtex เป็นต้น ความสำคัญของ ขั้นตอนนี้คือต้องให้ชั้นปาร์ติเกิลกระจายอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น เพื่อป้องกันปัญหาทาง กายภาพที่อาจเกิดขึ้นกับแผ่นไม้ปาร์ติเกิล หากการกระจายไม่สม่ำเสมออาจส่งผลให้ความ หนาแน่นภายในแผ่นไม่เท่ากัน นำไปสู่ปัญหาการคืนตัวของความหนา (Thickness spring back) ที่มากเกินไปในบริเวณที่หนาแน่นขึ้น รวมถึงอาจก่อให้เกิดการบิดตัวหรือการโค้งงอของแผ่น เนื่องจากความไม่สม่ำเสมอในการกระจายปาร์ติเกิล ดังนั้นการควบคุมให้เครื่องโรยทำงานอย่าง แม่นยำจึงเป็นส่วนสำคัญที่ช่วยให้ได้แผ่นปาร์ติเกิลที่มีคุณภาพตามมาตรฐานที่ต้องการ

6. การอัดด้วยความร้อน (Hot Pressing operation)

เป็นขั้นตอนที่ทำให้แผ่นไม้ปาร์ติเกิลเตรียมอัดแข็งตัวขึ้น และเกิดปฏิกิริยา พลีเมอไรเซชันของกาวเพื่อผลิตเป็นแผ่นไม้ปาร์ติเกิล ซึ่งขั้นตอนของการอัดด้วยความร้อนโดยใช้เครื่อง อัดร้อน (Hot presses) ซึ่งมีอยู่ 2 แบบใหญ่ ๆ คือ แบบแท่น (Platen presses) และ แบบต่อเนื่อง (Continuous presses) สำหรับเครื่องอัดร้อนแบบแท่นมีข้ออยู่ 2 แบบย่อย คือ เครื่องอัดแบบช่องอัดหลายชั้น (Multiple-opening) และเครื่องอัดแบบช่องอัดเดี่ยว (Single opening) ซึ่งโดยมากเครื่องอัดร้อนจะมีขนาดใหญ่เพราะต้องการกำลังอัดที่สูงมีใช้งานใน อุตสาหกรรมผลิตไม้อัด ส่วนเครื่องอัดแบบต่อเนื่องจะมีกำลังการผลิตที่สูง เป็นการผลิตแผ่นไม้ ปาร์ติเกิลขนาดยาว แล้วนำมาตัดตามความยาวที่ต้องการ หลังจากเสร็จสิ้นขั้นตอนกรรมวิธีการ อัดแล้วจะได้แผ่นไม้ปาร์ติเกิล ซึ่งจะต้องนำไปทำการตกแต่ง (Finishing) ได้แก่ การตัดตาม ขนาดความยาวที่ต้องการ การตกแต่งขอบ (Edge finishing) การตกแต่งผิวหน้า (Surface

finishing) และการเคลือบ (Sea coat) อาจมีเครื่องมือสำหรับการตกแต่ง คือเครื่องขัดผิวซึ่ง
จำเป็นสำหรับการขัดผิวหน้าของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลให้มีความเรียบ และความหนาให้สม่ำเสมอ
จากขั้นตอนในการทำแผ่นไม้ปาร์ติเกิลทั้งหมด ผู้วิจัยได้สรุปไว้เป็นแผนภาพดัง
แสดงในภาพประกอบ 6



ภาพประกอบ 6 แผนผังแสดงขั้นตอนการทำแผ่นไม้ปาร์ติเกิล

การทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.876-2565 กำหนดรายละเอียดเกี่ยวกับแผ่น
ขึ้นไม้อัดชนิดราบ หรือแผ่นไม้ปาร์ติเกิล (Flat pressed particle boards) ที่มีความหนาแน่น
ตั้งแต่ 400-900 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สำหรับใช้งานทั่วไปในสภาวะแห้ง โดยทำจากชิ้นไม้
หรือวัสดุโนเซลลูโลส (lignocellulosic material) อัดในเครื่องอัดร้อน ที่มีการยึดติดด้วยกาว
ทิศทางของแรงอัดจากเครื่องอัดต้องตั้งฉากกับระนาบของแผ่น ชิ้นไม้ส่วนใหญ่ขนานกับระนาบ
ของแผ่น โครงสร้างอาจมีชั้นเดียวหรือหลายชั้น หากเป็นโครงสร้างชั้นเดียว ต้องทำจากชิ้นไม้ที่มี
ลักษณะและขนาดเหมือนกัน มีส่วนผสมของกาวและสารเติมแต่ง (Additive) อย่างเดียวกัน
ตลอดความหนาของแผ่นไม้อัด คุณลักษณะที่ต้องการของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลต้องมีความราบเรียบ
สม่ำเสมอทั้งแผ่น ขอบแผ่นต้องตั้งฉากกับระนาบผิว (สำนักงานมาตรฐาน
ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2565) มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.876-2565 ได้กำหนดการ
ทดสอบคุณสมบัติกายภาพและคุณสมบัติทางทางกล ซึ่งประกอบไปด้วย ความหนาแน่น ความชื้น
การพองตัวตามความหนา ความต้านแรงดัด โมดูลัสยืดหยุ่น ความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า

โดยในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ผลิตแผ่นไม้ปาร์ติเกิลที่มีโครงสร้างเป็นชั้นเดียวซึ่งตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.876-2565 ได้กำหนดค่ามาตรฐานไว้ดังนี้

1. ลักษณะทั่วไป แผ่นไม้ปาร์ติเกิล ต้องมีความราบเรียบสม่ำเสมอทั้งแผ่น ความหนาอยู่ระหว่าง 13-20 มิลลิเมตร

2. ความหนาแน่น เฉลี่ยอยู่ในช่วง 400-900 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และคลาดเคลื่อนได้ไม่เกินร้อยละ 10

3. ปริมาณความชื้น อยู่ในช่วงร้อยละ 5-13

4. การพองตัวตามความหนา ไม่เกินร้อยละ 12

5. ค่าความต้านแรงดัด ไม่น้อยกว่า 13 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร

6. ค่ามอดุลัสยืดหยุ่น ไม่น้อยกว่า 1,600 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร

7. ค่าความต้านแรงดัดตั้งฉากกับผิวหน้า ไม่น้อยกว่า 0.35 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร

ในการทดสอบตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก.876-2565 ต้องเตรียมชิ้นทดสอบดังนี้

1. การทดสอบความหนาแน่นและความชื้นตัดตัวอย่างทดสอบให้มีขนาด 50×50 มิลลิเมตร จำนวน 6 ชิ้น

2. การทดสอบการพองตัวตามความหนาตัดตัวอย่างทดสอบให้มีขนาด 50×50 มิลลิเมตร จำนวน 8 ชิ้น

3. การทดสอบความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่นตัดตัวอย่างทดสอบให้มีขนาด 50×200 มิลลิเมตร จำนวน 12 ชิ้น

4. การทดสอบความต้านแรงดัดตั้งฉากกับผิวหน้าตัดตัวอย่างทดสอบ ขนาด 50×50 มิลลิเมตร จำนวน 8 ชิ้น

ซึ่งขั้นตอนและวิธีการทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.876-2565 ผู้วิจัยจะกล่าวถึงโดยละเอียดในบทที่ 3 ต่อไป

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. งานวิจัยในประเทศ

การพัฒนาแผ่นใยไม้อัดจากขานอ้อยผสมขี้เถ้า (นุรุลฮูดา มะเย็ง, 2564) งานวิจัยนี้ได้ศึกษาอัตราส่วนผสมระหว่างขานอ้อยต่อขี้เถ้าสำหรับพัฒนาเป็นแผ่นใยไม้อัดและทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทดสอบคุณสมบัติทางกลตาม มอก.966-2547 โดยนำไปอัด

ขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก ใช้แรงอัด 2,041 นิวตัน พบว่าอัตราส่วนผสมขาน้อยต่อขี้เลื่อย 30 ต่อ 70 เป็นอัตราส่วนผสมที่ดีที่สุด ซึ่งมีค่าความหนาแน่นเฉลี่ยเท่ากับ 503.60 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 6.69 ค่าการพองตัวตามความหนาแน่นเฉลี่ยร้อยละ 18.97 และค่าความต้านแรงดัดเฉลี่ยเท่ากับ 0.11 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร

การผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดจากใบตะไคร้และฟางข้าว (จารุณี เข้มพิลลา, 2562) พบว่าการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดจากใบตะไคร้ร่วมกับฟางข้าว จำนวน 3 สัดส่วนได้แก่ ใบตะไคร้ ร้อยละ 100 ใบตะไคร้ร้อยละ 50 ผสมฟางข้าวร้อยละ 50 และฟางข้าวร้อยละ 100 โดยน้ำหนัก พร้อมทั้งวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกล โดยกระบวนการผลิตใช้กาว pMDI ปริมาณร้อยละ 7 โดยน้ำหนักของวัสดุแห้ง แล้วอัดร้อนด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกที่ความดัน 14.70 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที แผ่นขึ้นไม้อัดมีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 400-900 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และมีขนาด 450×450×10 มิลลิเมตร แล้วทำการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่น ความชื้น การดูดซึมน้ำ และการพองตัวตามความหนาแน่น และสมบัติทางกล ได้แก่ ความต้านแรงดัดและมอดุลัสความยืดหยุ่น เปรียบเทียบกับมาตรฐาน มอก.876-2547 ผลการวิจัยพบว่าแผ่นขึ้นไม้อัดที่ได้ไม่มีการไหม้ แผ่นขึ้นไม้อัดที่มีผิวเนียนเรียบ ไม่มีการกระจุกตัวของวัสดุ ไม่มีการโก่งตัวหรือบิดงอ ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของแผ่นเทียบกับมาตรฐาน พบว่าสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่น ความชื้น การดูดซึมน้ำ และการพองตัวตามความหนาแน่นผ่านเกณฑ์ที่มาตรฐานทุกสัดส่วน และผลการวิเคราะห์สมบัติทางกล ได้แก่ ความต้านแรงดัดและมอดุลัสความยืดหยุ่น มีค่าผ่านเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนดทุกสัดส่วน ยกเว้นสัดส่วนที่ขึ้นรูปด้วยฟางข้าวร้อยละ 100 พบว่ามีค่ามอดุลัสความยืดหยุ่นเฉลี่ยไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ดังนั้นจากผลการวิจัยจึงบ่งชี้ได้ว่าใบตะไคร้และใบตะไคร้ผสมฟางข้าวสามารถเป็นทางเลือกของวัสดุในการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดในเชิงอุตสาหกรรมได้

คุณสมบัติเชิงกายภาพ คุณสมบัติเชิงกล และคุณสมบัติเชิงความร้อนของแผ่นไม้อัดที่ทำจากฟางข้าวผสมขี้เลื่อย (เอกพจน์ สมนาม, 2562) พบว่าการทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ คุณสมบัติเชิงกล และเชิงความร้อนของไม้อัด ซึ่งทำจากฟางข้าว 3 ขนาด คือ สับย่อย (1-2 เซนติเมตร) 2.5 เซนติเมตร และ 5.0 เซนติเมตร ผสมขี้เลื่อย พบว่าอัตราส่วน ฟางข้าว 100 กรัมต่อขี้เลื่อย 200 กรัมและไซเรซิน 400 มิลลิลิตร กับตัวทำแข็ง 6 มิลลิลิตรแรงอัด 147.10 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร และทิ้งไว้ในอากาศ 3 วัน เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสม และเมื่อนำไปทดสอบสมบัติพบว่า แผ่นไม้อัดผ่านเกณฑ์มาตรฐาน Japanese Industrial Standard (JIS A 5905-2003) อัตราส่วนของปริมาณสารและวัสดุที่ใช้ทำไม้อัดมีค่าใกล้เคียงกัน ส่งผลให้แผ่นไม้อัดมีค่าความหนาแน่น และค่าการนำความร้อนใกล้เคียงกัน และฟางข้าวแบบสับย่อยซึ่งมีขนาดเล็กที่สุด

จึงทำให้มีช่องว่างน้อย และเกาะตัวได้ดีที่สุด ส่งผลให้ไม้อัดมีค่าการดูดซึมน้ำที่น้อยที่สุดคือร้อยละ 6.96 และมีค่ากำลังดัดสูงสุดคือ 101.94 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

งานวิจัยเพื่อการเพิ่มมูลค่าชี้เลื่อยไม้สักจากโรงเลื่อยในเมืองเชียงใหม่ แขวง หลวงพระบางเป็นแผ่นปาร์ติเกิลเพื่อการผลิตเป็นเฟอร์นิเจอร์ (Chanpor Yiachongthor, 2564) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการทำแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากชี้เลื่อยไม้สัก โดยการนำชี้เลื่อยไม้สักร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 10 ให้ได้ชี้เลื่อยไม้สัก 2 ขนาดคือ ขนาดเล็ก และ ขนาดใหญ่ ส่วนชี้เลื่อยขนาดผสมนั้นจะไม่ผ่านการร่อน จากนั้นนำชี้เลื่อยไม้สักทั้ง 3 ขนาดไปผสม กับอีพอกซีในอัตราส่วนกาวอีพอกซีต่อชี้เลื่อยไม้สักที่อัตราส่วน ดังนี้ 50ต่อ50 60ต่อ40 70ต่อ30 และ 80ต่อ20 ด้วยวิธีการอัดเย็นไม่ใช้ความร้อน ใช้เวลาในการอัดเย็นประมาณ 1-2 วัน แล้วแกะออกจากแม่พิมพ์ ผลการวิจัยพบว่าคุณสมบัติทางกายภาพของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลนั้นมีค่าผ่านเกณฑ์ มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 966-2547

การพัฒนาแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากแกนกัญชงเพื่อเป็นผนังตกแต่งภายในอาคาร (วนารัตน์ กรอิสราณกุล, 2562) งานวิจัยนี้ใช้แกนกัญชงขึ้นรูปเป็นแผ่นไม้ปาร์ติเกิล ด้วยกระบวนการอัดร้อน ใช้ชิ้นส่วนแกนกัญชงที่มีขนาดต่างกัน 2 ขนาดและตัวประสานที่แตกต่างกัน 3 ชนิด คือ กาวยูเรีย ฟอर्मัลดีไฮด์ กาวไรสารฟอर्मัลดีไฮด์หรืออีซีวี และเซลล์จากครั้งอัดขึ้นรูปเป็นแผ่นไม้ปาร์ติเกิลขนาด 400×400 มิลลิเมตร ความหนา 20 มิลลิเมตร นำชิ้นงานทดสอบมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของแผ่นขึ้นไม้อัดชนิดราบ มอก.876-2547 ผลทดสอบคุณสมบัติเชิงกายภาพพบว่าแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากแกนกัญชงจากตัวประสานทั้ง 3 ชนิด มีค่าความหนาแน่นและความชื้นอยู่ในช่วงที่มาตรฐานกำหนด การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลพบว่าแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากแกนกัญชงโดยใช้ครั้งเป็นวัสดุประสานมีคุณสมบัติเชิงกลผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของแผ่นขึ้นไม้อัดมากที่สุด

2. งานวิจัยต่างประเทศ

งานวิจัยในต่างประเทศ ได้มีการนำกาวโพลีไวนิลแอลกอฮอล์มาทำเป็นตัวประสานในการทำแผ่นไม้ปาร์ติเกิล โดยใช้วิธีบีบอัดเย็น (cold-pressing) ไม่ใช้ความร้อน ซึ่งมีงานวิจัยเกี่ยวกับคุณสมบัติของไม้อัดโดยใช้กาวโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ บีบอัดแบบเย็น (Sari, Ratih Afrida Lismana, 2023) โดยใช้กาวโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมกับแทนนิน และเฮกซะมีน (PTH) เป็นสูตรต่าง ๆ เช่น ความเข้มข้นของแทนนิน (ร้อยละ 10 และร้อยละ 20) ปริมาณเฮกซะมีน (ร้อยละ 5, 10 และ 15) และเวลาในการบีบอัดแบบเย็น (3, 6, 12 และ 24 ชั่วโมง) จากการศึกษาพบว่าปริมาณแทนนินและเฮกซะมีนสูงจะเพิ่มปริมาณของแข็งด้วย แต่ลดความหนืดเฉลี่ยของกาว เห็นได้ชัดว่า แรงยึดเกาะของกาวที่มีฐานเป็น (PTH) เพิ่มขึ้นโดยไม่คำนึงถึงสูตรกาว มอดุลัสเฉือนลดลงตาม

ฟังก์ชันของอัตราเฉือนและเพิ่มขึ้นตามค่าที่สูงขึ้นตามปริมาณแทนนินและเฮกซามีน การศึกษาพบว่าปริมาณแทนนินและเฮกซามีนที่สูงขึ้นและเวลากดเย็นที่นานขึ้นสามารถผลิตไม้อัดได้ด้วยกาวที่ผ่านการทดสอบแล้ว ซึ่งตรงตามมาตรฐานของญี่ปุ่น และงานวิจัยศึกษาการที่ใช้ทำไม้อัดโดยใช้การโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ ที่เซตตัวด้วยความเย็น (cold-setting) ผสมกับลิกนินที่มีความบริสุทธิ์สูง และเฮกซามีน อิทธิพลของปริมาณลิกนิน (ร้อยละ 10, 15 และร้อยละ 20) และเวลาในการบีบเย็น (3, 6, 12 และ 24 ชั่วโมง) พบว่าลิกนินในการร้อยละ 20 และใช้เวลาอัดเย็น 24 ชม. สามารถผลิตไม้อัดที่เทียบได้กับเม็ดพลาสติกโพลียูรีเทน (Lubis, Muhammad Adly Rahandi, 2022) กล่าวคือ ค่าความต้านทานแรงดึงแบบแห้ง (TSS) เท่ากับ 0.95 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ค่ามอดุลัสของการแตก (MOR) ตั้งแต่ 35.80 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ค่ามอดุลัสของความยืดหยุ่น (MOE) แปรผันตั้งแต่ 3,980 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร สรุปว่าการศึกษาแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการทำไม้อัดที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ไม้อัดยึดติดด้วยกาวโพลีไวนิลแอลกอฮอล์-ลิกนิน-เฮกซามีน ได้โดยใช้การอัดเย็นแทนวิธีการอัดร้อนทั่วไปได้ งานวิจัยที่เพิ่มประสิทธิภาพการที่ใช้ทำแผ่นไม้ปาร์ติเกิลโดยไม่ใช้ความร้อน (Lubis, Muhammad Adly Rahandi, 2021) พบว่าการเพิ่มประสิทธิภาพ กาวที่ได้ทำไม้อัดโดยใช้กาวจากน้ำยางพารา(NRL) ผสมกับกาวโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) สัดส่วน 1ต่อ1 แล้วบีบอัดที่อุณหภูมิ 27 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วเพิ่ม Polymeric 4,4-diphenyl methane diisocyanate (pMDI) ในอัตราส่วนต่าง ๆ บีบอัดใช้เวลาต่างกัน 2, 6 และ 12 ชั่วโมง ผลการทดลองพบว่ากาว (NRL)-PVA ร้อยละ 3 pMDI ภายใต้การกดเย็นที่ 5 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ที่อุณหภูมิ 27 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมงสามารถใช้ในการผลิตไม้อัดได้

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่เกี่ยวกับขนาดของอนุภาคที่ใช้ทำแผ่นไม้ปาร์ติเกิล (Astari., 2018) ได้ศึกษาคุณสมบัติของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลที่ใช้ขนาดของอนุภาคที่แตกต่างกัน การศึกษานี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติทางกลของไม้ปาร์ติเกิลบอร์ดจากเศษไม้ มีหลายขนาด คือ แบบหยาบ (3.36 มิลลิเมตร) ละเอียด (2.00 มิลลิเมตร) และผสม อนุภาคถูกอบให้แห้งก่อนการผลิตบอร์ด ใช้กาวกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ (UF) เป็นตัวประสาน ที่ร้อยละ 8, 10 และ 12 แผ่นไม้ปาร์ติเกิลที่ผลิตขึ้นได้นั้น นำมาทดสอบเทียบกับ Japan Industrial Standard (JIS A 5908:2003) พบว่าแผ่นไม้ปาร์ติเกิลแผ่นเกณฑ์มาตรฐาน โดยปริมาณกาวที่มากจะเพิ่มคุณสมบัติให้ทั้งทางกายภาพและทางกล โดยความละเอียด 2.00 มิลลิเมตร จะมีประสิทธิภาพดีที่สุด และงานวิจัย ที่เกี่ยวกับขนาดของขี้เลื่อยที่ส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกลขี้เลื่อยอัดแท่ง (Zepeda-Cepeda, 2021) โดยทำการคัดขนาดของขี้เลื่อยเป็น 3 ขนาด คือ ใหญ่ (มากกว่า 1.68 มิลลิเมตร) กลาง (0.59 ถึง 1.68 มิลลิเมตร) และเล็ก (น้อยกว่า 0.59

มิลลิเมตร) นำมาผสมในสัดส่วนต่าง แล้วทำการทดสอบคุณสมบัติ พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับขนาดอนุภาคขนาดใหญ่ ขนาดกลาง และขนาดเล็กที่ใช้ในการผสมแบบอัดก้อนคือ 0:0:100 สำหรับความหนาแน่นของอนุภาค (Particle density) 65:35:0 สำหรับปริมาตรการบวมตัว (Volumetric swelling) 0:0:100 สำหรับความต้านทานแรงกระแทก(Impact resistance) 0:100:0 สำหรับความต้านทานการบีบอัด(Compression resistance) และ 100:0:0 สำหรับค่าความร้อนรวม (Gross calorific value) โดยสรุปว่า การเลือกขนาดของอนุภาคที่แตกต่างกันสำหรับส่วนผสมจะเพิ่มคุณภาพของชีลื้ออัดแท่ง

ในการผลิตแผ่นไม้ปาร์ติเกิลเครื่องมือที่ใช้ในการอัดวัสดุให้เป็นแผ่น ต้องมีโครงสร้างที่แข็งแรงเพียงพอต่อแรงกดเพื่อให้ได้แผ่นปาร์ติเกิลที่มีลักษณะราบเรียบ สม่ำเสมอ ตลอดทั้งแผ่น จากการค้นคว้าข้อมูลเพื่อออกแบบเครื่องอัดแผ่นไม้ปาร์ติเกิล ผู้วิจัยพบว่าในปี.ศ. 2018 ได้มีการวิจัยการออกแบบและผลิตเครื่องอัดไฮดรอลิกและประเมินประสิทธิภาพ ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ออกแบบโดยใช้ซอฟต์แวร์ Pro E และใช้เหล็กเหนียวเป็นวัสดุหลัก ซึ่งเครื่องจักรที่ได้ สามารถัดดองเหล็กยาว 220 มิลลิเมตร กว้าง 70 มิลลิเมตร หนา 20 มิลลิเมตร ได้ที่แรงกด 5 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร (Fisayo Adesina, Tiamiyu Ishola Mohammed & Oluwale Timothy Ojo, 2018) ต่อมาในปี.ศ. 2020 มีการออกแบบและผลิตเครื่องอัดไฮดรอลิก ขนาด 5 ตัน โดยใช้โครงสร้างเหล็กและกระบอกไฮดรอลิกโยกด้วยมือ ทำการออกแบบโดยลดต้นทุนโดยการปรับน้ำหนักวัสดุให้เหมาะสม และมีการรวมระบบกลไกของเครื่องเพื่อให้มีความสะดวกต่อการใช้งาน (Mohammed, et al., 2020) ในปี.ศ. 2020 มีงานวิจัยการออกแบบและวิเคราะห์เครื่องอัดไฮดรอลิกแบบให้ความร้อนคงที่ ขนาด 40 ตัน โดยใช้มอเตอร์แทนมือโยก มีการเลือกใช้สปริงที่เหมาะสม และทำการทดสอบเครื่องอัดพบว่าไม่พบร่องรอยการร้าวไหลและระบบขัดข้อง (Paul Chukwulozie Okolie, et al., 2020) และในปี.ศ. 2023 งานวิจัยของ Jeffrey ได้ออกแบบและพัฒนาเครื่องอัดแผ่นไม้ปาร์ติเกิลไฮดรอลิก ด้วยความร้อน โดยใช้ขดลวดให้ความร้อนที่แผ่นอัดและใช้แม่แรงแบบมือโยก (Jeffrey Ken B Balangao, et al., 2023) หลังจากสังเคราะห์ข้อมูลที่ศึกษามาพบว่าโครงสร้างของเครื่องอัดต้องมีความแข็งแรง แรงอัดต้องมีความสม่ำเสมอทั้งแผ่น ชิ้นงานที่ได้ต้องมีความราบเรียบสม่ำเสมอ และง่ายต่อการใช้งาน

จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยได้ทำการสังเคราะห์เพื่อหาคำตอบที่เกี่ยวกับการศึกษาในครั้งนี้ ซึ่งได้พบว่ากาวประสานที่ใช้คือ กาวโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ ขนาดของกากครามจะไม่เกิน 3 มิลลิเมตร ซึ่งองค์ความรู้และผลการศึกษาที่ได้ทำให้ผู้วิจัยสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในกระบวนการออกแบบวิธีดำเนินงานวิจัย เพื่อที่จะให้ได้มาตรฐาน มอก.876-2565 ดังที่จะกล่าวต่อไปในบทที่ 3 ต่อไป

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

จากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยในอดีต ผู้วิจัยได้แนวคิดและวิธีการศึกษา
การทำแผ่นไม้ปาร์ติเกิล จากกากคราม โดยมีขั้นตอน ในการดำเนินการวิจัยดังนี้

การเตรียมวัสดุในการดำเนินงานวิจัย

1. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย
2. การเตรียมกากคราม
3. การออกแบบส่วนผสม

การออกแบบและผลิตเครื่องอัดแผ่นไม้ปาร์ติเกิล

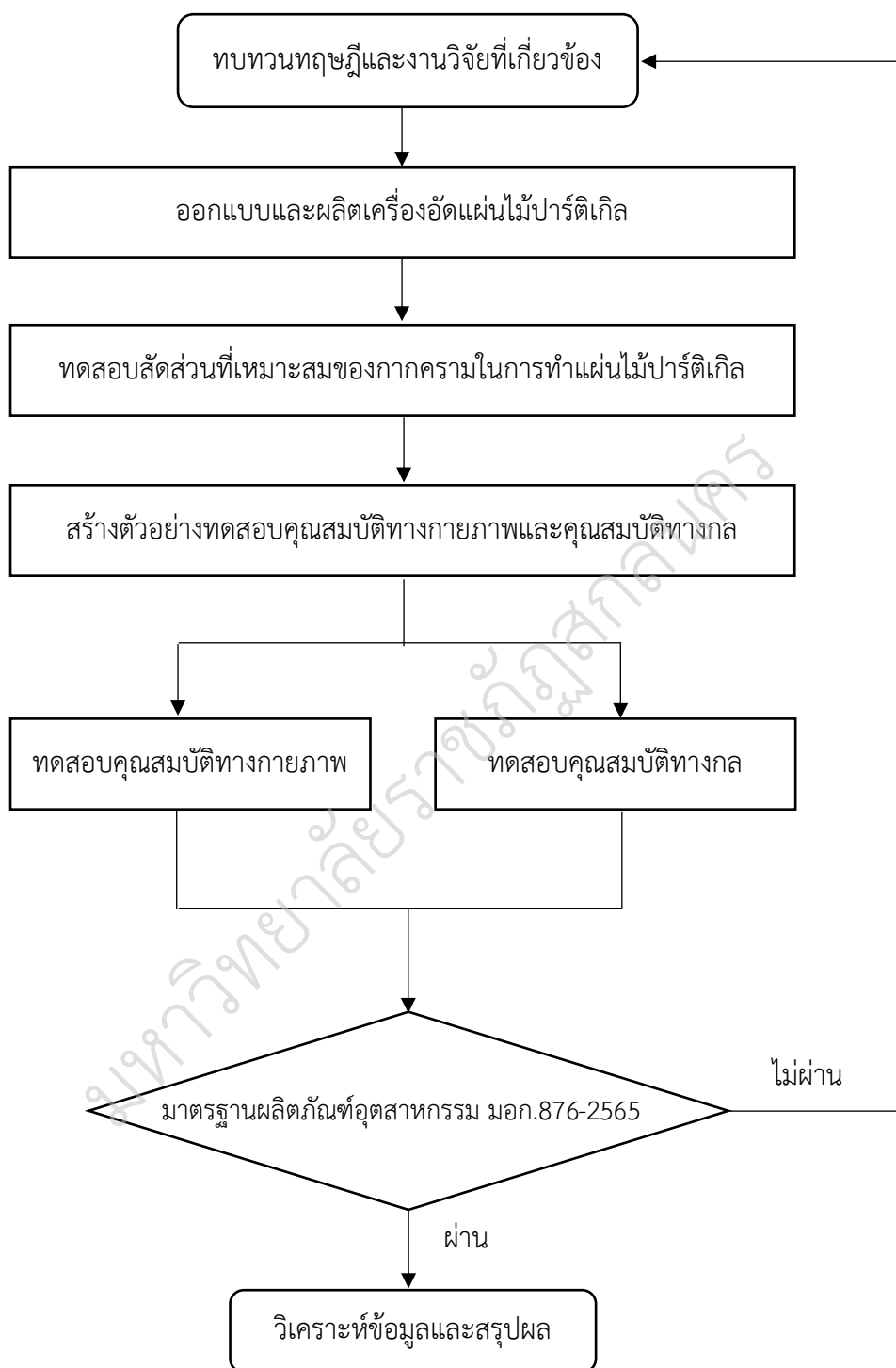
การผลิตแผ่นไม้ปาร์ติเกิลที่ทำจากกากคราม

การทดสอบแผ่นไม้ปาร์ติเกิล

1. ความหนาแน่นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล
2. ความชื้นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล
3. การพองตัวตามความหนาของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล
4. ความต้านแรงดัดของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล
5. มอดุลัสยืดหยุ่นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล
6. ความต้านแรงดัดตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล

โดยกระบวนการดำเนินงานวิจัยทั้งหมด สามารถสรุปขั้นตอนการดำเนินงานได้ดัง

ภาพประกอบ 7



ภาพประกอบ 7 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การเตรียมวัสดุในการดำเนินงานวิจัย

1. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

การทำวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่นำกากครามมาผลิตเป็นแผ่นไม้ปาร์ติเกิล จากนั้นนำแผ่นไม้ปาร์ติเกิลที่ทำจากกากครามมาศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกล แล้วนำคุณสมบัติที่ได้จากการทดสอบมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.876-2565 ซึ่งการผลิตแผ่นไม้ปาร์ติเกิลและการศึกษาคุณสมบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.876- 2565 ต้องมีเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย ดังนี้ 1) เครื่องสับวัสดุและเครื่องบั่นละเอียด 2) ตะแกรงร่อน No.7 ขนาด 2.80 มิลลิเมตร เพื่อคัดขนาดวัสดุ 4) ถังซีบ ขนาด 60×70 เซนติเมตร สำหรับใส่วัสดุเพื่อใช้ในการวิจัย 5) แบบแผ่นเหล็กเพื่อขึ้นรูปแผ่นไม้ปาร์ติเกิลขนาด 20×20 เซนติเมตร เพื่อใช้ในการขึ้นรูปแผ่นไม้ปาร์ติเกิล 6) แผ่นเทพล่อน ป้องกันวัสดุติดกับแผ่นเหล็ก ขนาด 20×20 เซนติเมตร 8) กล่องพลาสติกใสขนาด 40×60×32 เซนติเมตร เพื่อใช้ทดสอบการพองตัวตามความหนา 9) เวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์ ความละเอียด 0.01 มิลลิเมตร ใช้วัดขนาดขึ้นทดสอบ 10) เครื่องผสมวัสดุ KitchenAid ใช้ผสมวัสดุกับกาวให้เข้ากัน 12) เครื่องอัดแผ่นไม้ปาร์ติเกิล ใช้ผลิตแผ่นไม้ปาร์ติเกิล 13) เครื่องชั่งน้ำหนัก OHAUS รุ่น PA4102C ความละเอียด 0.01 กรัม 14) เครื่องอบ Binder รุ่น STC-3008 ใช้ในการทดสอบความชื้นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล 15) เครื่องทดสอบวัสดุ Starrett รุ่น MMD-50K ใช้ทดสอบคุณสมบัติทางกลของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลที่ทำจากกากครามได้แก่ ความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น และแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า

2. การเตรียมกากคราม

ในการทำวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยได้นำกากครามที่เหลือจากการทำน้ำครามจากกลุ่มทอผ้าย้อมครามบ้านต่อเรือ ตำบลนาหัวบ่อ อำเภอพรรณานิคม จังหวัดสกลนคร ซึ่งเป็นกากครามที่ถูกทิ้งไว้ข้างถนน ดังภาพประกอบ 8 (ก) แล้วนำกากครามที่ได้มาตากแดดให้แห้ง ดังภาพประกอบ 8 (ข) ลิดใบแห้งออกให้หมดเหลือแต่กิ่ง จากนั้นนำไปบดในเครื่องบดให้กากครามมีขนาดเล็กลง ร่อนกากครามที่บดแล้วด้วยตะแกรงร่อน No.7 ขนาด 2.80 มิลลิเมตร จะได้กากครามดังภาพประกอบ 8 (ง) เมื่อร่อนเสร็จแล้วนำกากครามที่ได้เก็บไว้ในถังซีบกันความชื้น



(ก) กากครามที่ถูกทิ้งไว้ข้างถนน



(ข) ตากกากครามให้แห้ง



(ค) สับกากครามแห้งให้มีขนาดเล็กลง



(ง) กากครามที่ผ่านการร่อนด้วยตะแกรง

ภาพประกอบ 8 ขั้นตอนการเตรียมกากคราม

3. การออกแบบส่วนผสม

ในการทำแผ่นไม้ปาร์ติเกิลในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ออกแบบให้แผ่นไม้ปาร์ติเกิลมีความหนาแน่น 700 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งขนาดของแผ่นปาร์ติเกิลที่มีขนาด 20×20 เซนติเมตร มีความหนา 13 มิลลิเมตร โดยคำนวณหาปริมาณวัสดุได้จากสมการความหนาแน่น

$$p = \frac{m}{v}$$

เมื่อ p คือ ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

m คือ มวลของชิ้นทดสอบ (กิโลกรัม)

v คือ ปริมาตรของชิ้นทดสอบ (ลูกบาศก์เมตร)

จากการคำนวณจะได้น้ำหนักของกากครามและน้ำหนักกาว โดยกำหนดความหนาแน่น (p) 700 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ปริมาตรของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล (v) 200×200×0.013 เซนติเมตร แทนค่าในสมการความหนาแน่นจะได้น้ำหนักรวมที่ให้ผลิตแผ่นไม้ปาร์ติเกิล (m) 0.364 กิโลกรัม และปริมาณของกาวใช้ร้อยละ 30 ของน้ำหนักวัสดุ คือ 0.109 กิโลกรัม โดยสูตร PVA ใช้กาวโพลีไวนิลแอลกอฮอล์เป็นกาวประสาน ดังแสดงใน

ภาพประกอบ 9 (ก) ส่วนสูตร SAL ใช้เซลแลคเป็นกาวประสาน ดังแสดงในภาพประกอบ 9 (ข) และปริมาณกาวใน แต่ละสูตรแสดงในตาราง 2

ตาราง 2 น้ำหนักของวัสดุและน้ำหนักกาวที่ใช้ในการทำแผ่นไม้ปาร์ติเกิล

สูตร	กากคราม	น้ำหนักกากคราม (กิโลกรัม)	ปริมาณกาว	น้ำหนักกาว (กิโลกรัม)	น้ำหนักรวม (กิโลกรัม)
PVA	100%	0.255	30%	0.109	0.364
SAL	100%	0.255	30%	0.109	0.364



(ก) กาวโพลีไวนิลแอลกอฮอล์



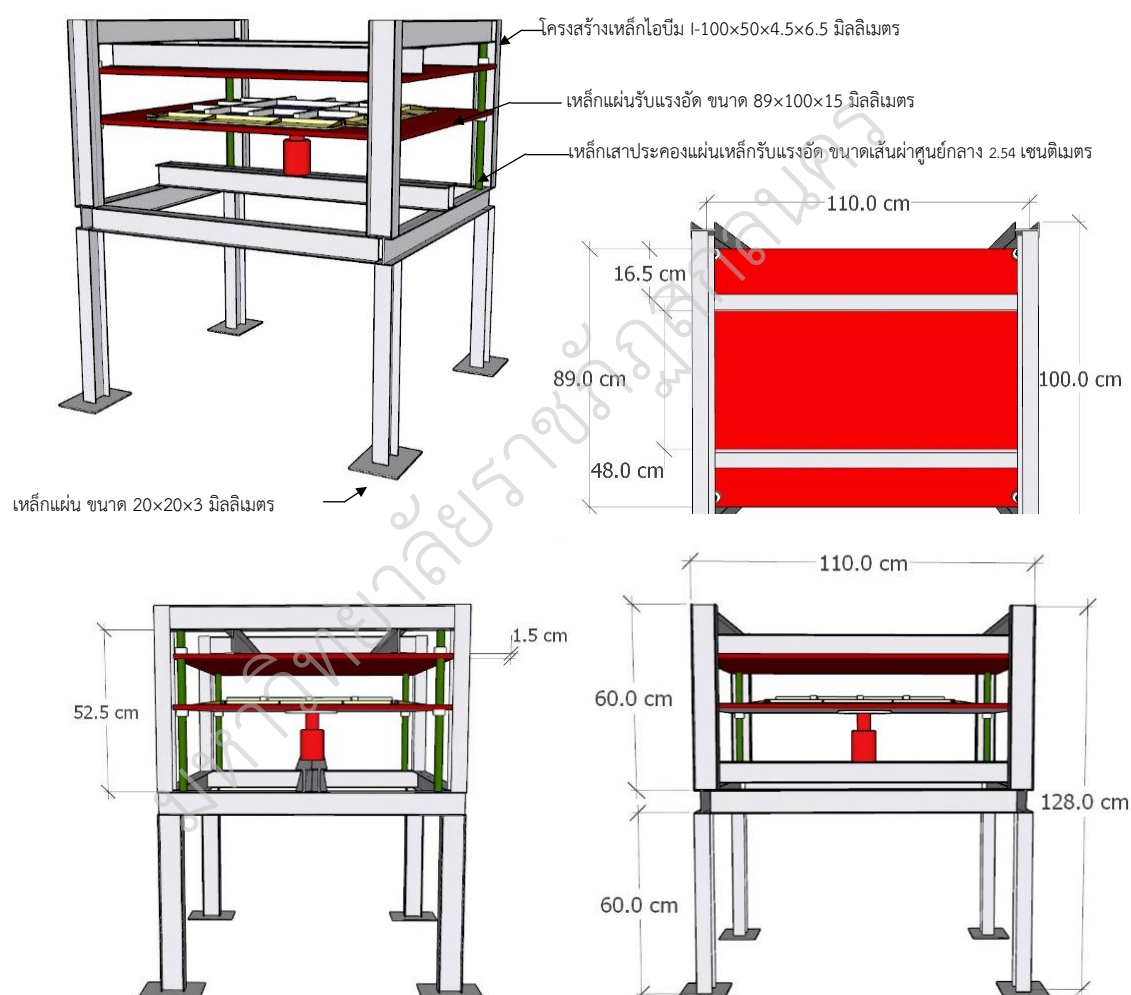
(ข) เซลแลค

ภาพประกอบ 9 กาวที่ใช้ในการผลิตแผ่นไม้ปาร์ติเกิล

การออกแบบและผลิตเครื่องอัดแผ่นไม้ปาร์ติเกิล

จากการศึกษาข้อมูลและงานวิจัยทั้งในและต่างประเทศในการออกแบบต้องคำนึงถึง โครงสร้างของเครื่องอัดแผ่นไม้ปาร์ติเกิลต้องมีความแข็งแรง แรงอัดต้องมีมากพอและมีความสม่ำเสมอทั้งแผ่น ชิ้นงานที่ได้หลังจากการอัดต้องมีความราบเรียบสม่ำเสมอ และเครื่องอัดแผ่นไม้ปาร์ติเกิลต้องง่ายต่อการใช้งานไม่มีความซับซ้อน ผู้วิจัยได้ออกแบบเครื่องผลิตแผ่นไม้ปาร์ติเกิลมีขนาด กว้าง 110 เซนติเมตร ยาว 100 เซนติเมตร สูง 128 เซนติเมตร วัสดุที่ใช้ในการผลิตสามารถหาซื้อได้ทั่วไปในท้องตลาด การทำโครงสร้างสามารถทำได้โดยวิธีการเชื่อมเหล็กทั่วไป โดยโครงสร้างทำจากเหล็กไอบีม ขนาด I-100×50×4.5×6.5 มิลลิเมตร ใช้แม่แรงขนาด 10 ตัน มีมาตรวัดแรงดัน เพื่อให้ชิ้นงานที่ได้มีความราบเรียบและไม่บิดงอ ผู้วิจัยได้ออกแบบแผ่นอัดโดยใช้เหล็กแผ่นขนาดกว้าง 89 เซนติเมตร ยาว 110 เซนติเมตร หนา 15 มิลลิเมตรเป็นแผ่นรับแรงอัด

จากแม่แรง และมีเสาเหล็กประกอบขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.54 เซนติเมตร เพื่อให้ขณะอัดแผ่นไม้ปาร์ติเกิล เพื่อให้แผ่นเหล็กยังอยู่ในแนวราบไม่เอียงขณะอัด เครื่องอัดแผ่นไม้ปาร์ติเกิลนี้ได้ ออกแบบให้ผลิตแผ่นไม้ปาร์ติเกิล ใหญ่สุดได้ขนาด 60×60 เซนติเมตร และสามารถผลิตได้หลายขนาดขึ้นอยู่กับแม่แบบที่ใช้ผลิตแผ่นไม้ปาร์ติเกิล โดยเครื่องอัดนี้สามารถอัดแผ่นไม้ปาร์ติเกิลให้มีความหนาสูงสุดได้ 2.5 เซนติเมตร ซึ่งมิติของเครื่องแสดงไว้ในภาพประกอบ 10



ภาพประกอบ 10 มิติของเครื่องอัดแผ่นไม้ปาร์ติเกิล

การผลิตแผ่นไม้ปาร์ติเกิลที่ทำจากกากคราม

การผลิตเริ่มต้นด้วยการนำส่วนผสมมาตวงให้ได้ตามสูตรที่ออกแบบไว้ ดังภาพประกอบ 11 (ก) แล้วนำมาผสมกับกากในชามผสม นำส่วนผสมที่ได้ใส่เข้าเครื่องผสมดังภาพประกอบ 11 (ข) เมื่อส่วนผสมเข้ากันดีแล้ว นำมาเทใส่แบบแผ่นเหล็กที่รองไว้ด้วยแผ่นเทฟลอน เคลี่ยวัสดุให้เสมอกันดังภาพประกอบ 11 (ค) แล้วกดแผ่นเหล็กขึ้นบนให้แนบกับแบบขึ้นล่าง นำแบบเหล็กไปเข้าเครื่องอัดไฮดรอลิก อัดให้แบบเหล็กแนบกันที่แรงกด 35 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ดังภาพประกอบ 11 (ง) แล้วล๊อคแบบเหล็กด้วยน๊อต นำไปอบในเครื่องอบ โดยสูตร PVA อบที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ส่วนสูตร SAL อบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ดังภาพประกอบ 11 (จ) หลังจากนั้นทิ้งไว้ให้เย็น แกะแบบนำแผ่นไม้ปาร์ติเกิลที่ได้มาผึ่งไว้ให้แผ่นไม้ปาร์ติเกิลคงตัวดังภาพประกอบ 11 (ฉ)



(ก) เติร์ยมส่วนผสม



(ข) ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม



(ค) เคลี่ยวัสดุในแบบเหล็กให้สม่ำเสมอ



(ง) นำแบบเหล็กมาอัดในเครื่องอัดแผ่นไม้ปาร์ติเกิล



(จ) นำมาอบในเครื่องอบ



(ฉ) ผึ่งให้แผ่นปาร์ติเกิลคงตัว

ภาพประกอบ 11 ขั้นตอนการผลิตแผ่นไม้ปาร์ติเกิล

การทดสอบแผ่นไม้ปาร์ติเกิล

หลังจากที่แผ่นไม้ปาร์ติเกิลคงตัวแล้ว ผู้วิจัยได้ทำการเตรียมตัวอย่างทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.876-2565 โดยนำแผ่นไม้ปาร์ติเกิลที่ได้มาตัดให้เป็นชิ้นเพื่อเป็นตัวอย่างในการทดสอบสูตร PVA ดังแสดงในภาพประกอบ 12 และสูตร SAL ดังแสดงในภาพประกอบ 13 ซึ่งแต่ละสูตรมีการเตรียมตัวอย่างทดสอบดังนี้

1. การทดสอบความหนาแน่นและความชื้นตัดตัวอย่างทดสอบให้มีขนาด 50×50 มิลลิเมตร จำนวน 6 ชิ้น
2. การทดสอบการพองตัวตามความหนาตัดตัวอย่างทดสอบให้มีขนาด 50×50 มิลลิเมตร จำนวน 8 ชิ้น
3. การทดสอบความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่นตัวอย่างทดสอบให้มีขนาด 50×200 มิลลิเมตร จำนวน 12 ชิ้น
4. การทดสอบความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าตัดตัวอย่างทดสอบขนาด 50×50 มิลลิเมตร จำนวน 8 ชิ้น



ภาพประกอบ 12 ตัวอย่างทดสอบแผ่นไม้ปาร์ติเกิล สูตร PVA



ภาพประกอบ 13 ตัวอย่างทดสอบแผ่นไม้ปาร์ติเกิล สูตร SAL

1. การทดสอบความหนาแน่นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล

การทดสอบปริมาณความหนาแน่น (Density) ได้ดำเนินการทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.876-2565 โดยผู้วิจัยทำได้นำแผ่นทดสอบ 50×50 มิลลิเมตร จำนวน 6 ชิ้น ชั่งขึ้นทดสอบโดยใช้เครื่องชั่งที่มีความละเอียด 0.01 กรัม แล้ววัดความหนาตรงจุดกึ่งกลาง ความกว้างและความยาวของชิ้นทดสอบโดยวางเครื่องมือให้ทำมุมกับแนวระนาบของชิ้นทดสอบประมาณ 45 องศา ดังแสดงในภาพประกอบ 14 โดยสามารถคำนวณความหนาแน่นได้จากสมการความหนาแน่น การรายงานผลให้รายงานผลค่าความหนาแน่นเฉลี่ย



ภาพประกอบ 14 การทดสอบความหนาแน่น

2. การทดสอบความชื้นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล

การทดสอบความชื้นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล ได้ทำการทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.876-2565 โดยนำชิ้นทดสอบ ซึ่งมีขนาดความกว้าง 50 มิลลิเมตร และความยาว 50 มิลลิเมตร จำนวน 6 ชิ้น นำแต่ละชิ้นมาชั่งน้ำหนัก โดยใช้เครื่องชั่งที่มีความละเอียดถึง 0.01 กรัม เป็นน้ำหนัก ก่อนอบแห้ง หลังจากชั่งน้ำหนักแล้วให้นำชิ้นทดสอบมาอบในเครื่องอบที่มีอุณหภูมิ 103 ± 2 องศาเซลเซียส ดังภาพประกอบ 15 และ 16 จนน้ำหนักของชิ้นทดสอบคงที่ คือมวลของชิ้นทดสอบ เมื่อชั่ง 2 ครั้งในเวลาห่างกัน 6 ชั่วโมง น้ำหนักต้องไม่แตกต่างกันเกินร้อยละ 0.1 แล้วปล่อยให้เย็นจึงนำออกมาชั่งน้ำหนัก เป็นน้ำหนักหลังอบแห้ง การรายงานผลให้รายงานค่าปริมาณความชื้นของชิ้นทดสอบแต่ละชิ้นและค่าเฉลี่ย วิธีการคำนวณหาปริมาณความชื้นของแผ่นสามารถคำนวณได้จากสมการปริมาณความชื้น

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100$$

เมื่อ m_1 คือ มวลของชิ้นทดสอบก่อนอบ (กรัม)

m_2 คือ มวลของชิ้นทดสอบหลังอบ (กรัม)



ภาพประกอบ 15 เครื่องอบขึ้นทดสอบ



ภาพประกอบ 16 การทดสอบหาความชื้น

3. การทดสอบการพองตัวตามความหนาของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล

การทดสอบการพองตัวตามความหนาได้ทำการทดสอบตามมาตรฐาน
ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.876-2565 โดยนำขึ้นทดสอบขนาด 50×50 มิลลิเมตร จำนวน 8 ชิ้น
มาวัดความหนาก่อนแช่น้ำ เมื่อวัดแล้วนำขึ้นทดสอบมาแช่น้ำสะอาดที่อุณหภูมิ 20 ± 2 องศาเซลเซียส

โดยตั้งชั้นทดสอบให้ตั้งฉากกับระดับผิวน้ำ ให้ขอบบนอยู่ใต้ระดับผิวน้ำประมาณ 25 มิลลิเมตร แต่ละชั้นต้องหากันและห่างจากผนัง ไม่น้อยกว่า 10 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพประกอบ 17 และภาพประกอบ 18 ตามลำดับ เมื่อแช่ชั้นทดสอบครบ 1 ชั่วโมงแล้ว นำชั้นทดสอบมาซับน้ำที่ผิว ออกให้หมดด้วยผ้าแล้วปล่อยไว้ที่อุณหภูมิห้อง โดยวางขอบด้านใดด้านหนึ่งอยู่บนแผ่นวัสดุที่ไม่ดูดซึมน้ำ ปล่อยไว้ 1 ชั่วโมงและนำมาวัดความหนาตามตำแหน่งเดิม เป็นความหนาหลังแช่น้ำ การคำนวณหาการพองตัวตามความหนาจะคำนวณจากสมการการพองตัวตามความหนา แล้วรายงานผลค่าเฉลี่ยของการพองตัวตามความหนาเป็นร้อยละ

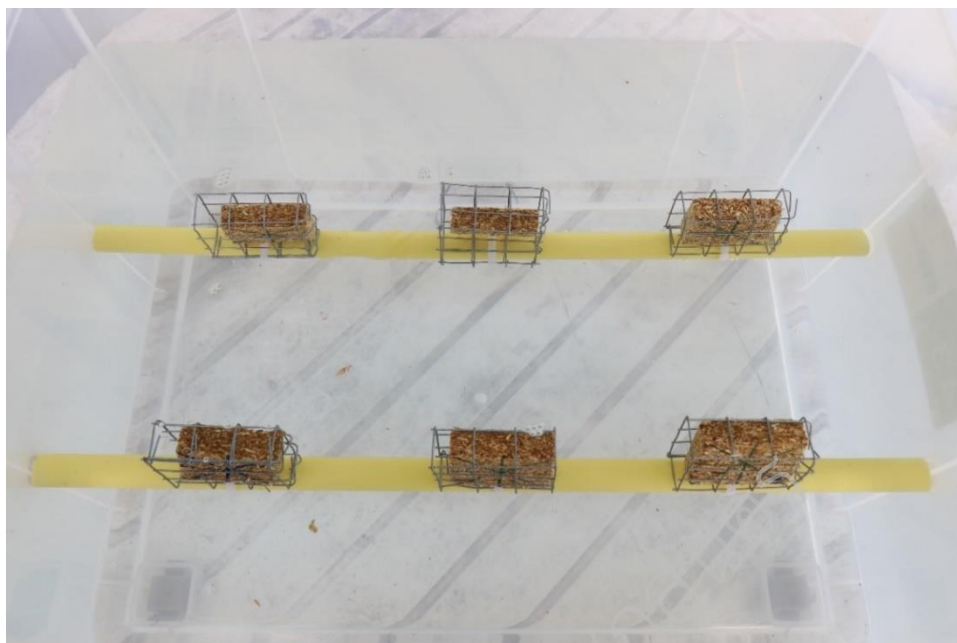
$$\text{การพองตัวตามความหนา (ร้อยละ)} = \frac{t_2 - t_1}{t_1} \times 100$$

เมื่อ t_1 คือ ความหนาของชั้นทดสอบก่อนแช่น้ำ (มิลลิเมตร)

t_2 คือ ความหนาของชั้นทดสอบหลังแช่น้ำ (มิลลิเมตร)



ภาพประกอบ 17 การทดสอบการพองตัวตามความหนา



ภาพประกอบ 18 แท่งขึ้นทดสอบในน้ำ

4. การทดสอบความต้านแรงดัดของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล

การทดสอบความต้านแรงดัดของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล ดำเนินการทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.876-2565 โดยการทดสอบนี้ใช้เครื่องทดสอบวัสดุ Starrett รุ่น MMD-50K ดังแสดงในภาพประกอบ 19 วิธีทดสอบใช้ขึ้นทดสอบขนาด 50×200 มิลลิเมตร จำนวน 12 ชิ้น ให้แรงกดที่จุดกึ่งกลางของขึ้นทดสอบ โดยมีอัตราการเพิ่มแรงกดอย่างสม่ำเสมอ จนกระทั่งขึ้นทดสอบหัก โดยใช้เวลาดั้งแต่เริ่มกดจนกระทั่งขึ้นทดสอบหัก ไม่น้อยกว่า 30 วินาทีแต่ต้องไม่มากกว่า 90 วินาที ความเร็วในการกด 10 มิลลิเมตรต่อนาที ดังแสดงการทดสอบในภาพประกอบ 20 นำผลที่ได้มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดกับการแอ่นตัว โดยการคำนวณหาได้จากสมการความต้านแรงดัด และการรายงานผลให้รายงานค่าเฉลี่ยของความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น

$$f_m = \frac{3F_{\max} l_1}{2bt^2}$$

เมื่อ f_m คือ ความต้านแรงดัด (นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร)

$F_{\max}$ คือ แรงกดสูงสุดที่ขึ้นทดสอบรับได้ (นิวตัน)

l_1 คือ ระยะห่างของแท่งรองรับ (มิลลิเมตร)

- b คือ ความกว้างที่จุดกึ่งกลางด้านยาวของชิ้นทดสอบ (มิลลิเมตร)
 t คือ ความหนาที่จุดกึ่งกลางของชิ้นทดสอบ (มิลลิเมตร)

5. การทดสอบมอดุลัสยืดหยุ่นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล

การทดสอบมอดุลัสยืดหยุ่นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล ได้ดำเนินการทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.876-2565 โดยใช้ผลจากกราฟจากการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดกับการแอ่นตัวในการทดสอบความต้านแรงดัด โดยค่ามอดุลัสยืดหยุ่น คำนวณได้จากสมการมอดุลัสยืดหยุ่น

$$E_m = \frac{I_1^3 (F_2 - F_1)}{4bt^3 (a_2 - a_1)}$$

- เมื่อ E_m คือ มอดุลัสยืดหยุ่น (นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร)
 I_1 คือ ระยะห่างของแท่งรองรับ (มิลลิเมตร)
 $F_2 - F_1$ คือ แรงกดที่เพิ่มขึ้นในช่วงที่เส้นกราฟเป็นเส้นตรง (นิวตัน)
 b คือ ความกว้างที่จุดกึ่งกลางด้านยาวของชิ้นทดสอบ (มิลลิเมตร)
 t คือ ความหนาที่จุดกึ่งกลางของชิ้นทดสอบ (มิลลิเมตร)
 $a_2 - a_1$ คือ ระยะแอ่นตัวที่เพิ่มขึ้นในช่วงที่เส้นกราฟเป็นเส้นตรง (มิลลิเมตร)



ภาพประกอบ 19 การใช้เครื่องทดสอบความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น



ภาพประกอบ 20 การทดสอบความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น

6. การทดสอบความต้านแรงดัดตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล

การทดสอบความต้านแรงดัดตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล

ได้ดำเนินการทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.876-2565 โดยการทดสอบนี้จะใช้เครื่องทดสอบโดยการดัดขึ้นทดสอบที่มีขนาด 50×50 มิลลิเมตร จำนวน 8 ชิ้น การดัดให้ดัดขึ้นทดสอบออกจากกันในเวลาไม่น้อยกว่า 30 วินาทีแต่ไม่มากกว่า 90 วินาที แผ่นยึดตัวอย่างทดสอบซึ่งทำด้วยเหล็กขนาดไม่น้อยกว่า 50×50 มิลลิเมตร ความหนาตามความเหมาะสม ดังแสดงในภาพประกอบ 21 (ก) วิธีทดสอบทำโดยติดขึ้นทดสอบกับแผ่นยึดตัวอย่าง โดยใช้กาวที่มีแรงยึดระหว่างขึ้นทดสอบกับแผ่นยึดตัวอย่างมากกว่าแรงยึดตัวในขึ้นทดสอบ แล้วนำเข้าเครื่องดัดให้ขึ้นทดสอบแยกออกจากกัน โดยอัตราเพิ่มแรงดัดต้องเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ ความเร็วในการดัดประมาณ 2 มิลลิเมตรต่อนาที ดังแสดงในภาพ 21 (ข) การคำนวณหาความต้านแรงดัดตั้งฉากกับผิวหน้า หาได้จากสมการความต้านแรงดัดตั้งฉากกับผิวหน้า การรายงานผลให้รายงานค่าของความต้านแรงดัดตั้งฉากกับผิวหน้าและค่าเฉลี่ย

$$\text{ความต้านแรงดัดตั้งฉากกับผิวหน้า} = \frac{F}{W \times L}$$

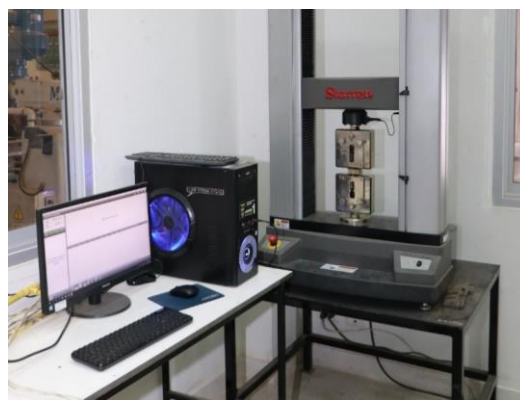
เมื่อ F คือ แรงดัดสูงสุด (นิวตัน)

W คือ ความกว้างของขึ้นทดสอบ (มิลลิเมตร)

L คือ ความยาวของขึ้นทดสอบ (มิลลิเมตร)



(ก) ติดชิ้นทดสอบกับแผ่นเหล็กยึดตัวอย่าง



(ข) การดึงตัวอย่างทดสอบ

ภาพประกอบ 21 การทดสอบความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า

หลังจากการทดสอบแผ่นไม้ปาร์ติเกิลทั้ง 2 สูตรโดยทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่น ความชื้น การพองตัวตามความหนา และคุณสมบัติเชิงกล ได้แก่ ความต้านแรงดัด โมดูลัสยืดหยุ่น และแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า ผู้วิจัยนำผลการทดสอบที่ได้มาทำการวิเคราะห์ผล ดังจะกล่าวต่อไปในบทที่ 4

บทที่ 4

ผลการวิจัย

จากบทที่ 3 ผู้วิจัยได้ผลิตแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากกากครามจำนวน 2 สูตร คือสูตร PVA คือสูตรที่ใช้กาวโพลีไวนิลแอลกอฮอล์เป็นกาวประสาน และสูตร SAL คือสูตรที่ใช้เซลแลคเป็นกาวประสาน แล้วนำมาทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกล ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.876-2565 ซึ่งการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่น ความชื้น และการพองตัวตามความหนา ส่วนคุณสมบัติเชิงกลได้แก่ ความต้านทานแรงดัด ค่ามอดุลัสยืดหยุ่น และความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า หลังจากทดสอบแล้วผู้วิจัยได้รายงานผลทดสอบดังนี้

ผลการศึกษาข้อมูลการวิจัย

การวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการทดสอบ

ผลการศึกษาข้อมูลการวิจัย

1. เครื่องอัดแผ่นไม้ปาร์ติเกิล

หลังจากการออกแบบเครื่องอัดแผ่นไม้ปาร์ติเกิล ผู้วิจัยได้สร้างเครื่องอัดแผ่นไม้ปาร์ติเกิลได้จริง ดังแสดงในภาพประกอบ 22 ซึ่งเครื่องต้นแบบเครื่องอัดแผ่นไม้ปาร์ติเกิล สามารถใช้งานได้ง่าย ไม่มีกลไกที่ซับซ้อน มีต้นทุนในการผลิตต่ำ เพราะไม่ใช้ไฟฟ้าและความร้อนในการผลิตแผ่นไม้ปาร์ติเกิล การดูแลรักษาง่าย สามารถผลิตชิ้นงานได้หลายขนาด โดยผู้วิจัยได้ทดสอบผลิตแผ่นไม้ปาร์ติเกิล พบว่าเครื่องอัดแผ่นไม้ปาร์ติเกิลสามารถสร้างผลิตภัณฑ์ที่มีขนาด และลักษณะพื้นผิวที่เรียบสม่ำเสมอตามความต้องการ แผ่นปาร์ติเกิลที่ผลิตได้ไม่มีลักษณะบิดงอขณะอัดวัสดุสามารถกำหนดแรงอัดได้ ซึ่งเครื่องอัดแผ่นไม้ปาร์ติเกิลมีกำลังอัดสูงสุด 50 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร และสามารถผลิตแผ่นไม้ปาร์ติเกิลได้ความหนาสูงสุด 2.5 เซนติเมตร เครื่องอัดแผ่นไม้ปาร์ติเกิลนี้ใช้งบประมาณทั้งสิ้น 35,000 บาท



ภาพประกอบ 22 เครื่องอัดแผ่นไม้ปาร์ติเกิล

2. ลักษณะภายนอกของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล

ลักษณะภายนอกของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล สูตร PVA จะมีความเรียบสม่ำเสมอ เห็นลวดลายของกากครามชัดเจน ดังภาพประกอบ 23 ส่วนสูตร SAL มีความเรียบสม่ำเสมอ เช่นเดียวกัน แต่จะเห็นลวดลายของเซลล์แคแทรกเกอร์หว่างกากคราม ดังภาพประกอบ 24 แผ่นไม้ปาร์ติเกิลที่ได้ทั้งสองสูตรมีการยึดติดเป็นเนื้อเดียวกันสามารถตัดแบ่งให้เป็นชิ้นเล็กได้



ภาพประกอบ 23 ลวดลายแผ่นไม้ปาร์ติเกิล สูตร PVA



ภาพประกอบ 24 ลวดลายแผ่นไม้ปาร์ติเกิล สูตร SAL

3. ผลทดสอบความหนาแน่นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล

ผลที่ได้จากการทดสอบความหนาแน่นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากกากคราม จำนวน 6 ตัวอย่างในแต่ละสูตรตามหัวข้อ การทดสอบความหนาแน่นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล ได้ผลค่าความหนาแน่นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล สูตร PVA ของแต่ละตัวอย่างดังแสดงในตาราง 3 และได้ผลความหนาแน่นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล สูตร SAL ดังแสดงในตาราง 4 ตามลำดับ

ตาราง 3 ความหนาแน่นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล สูตร PVA

ตัวอย่างที่	ความกว้าง (มิลลิเมตร)	ความยาว (มิลลิเมตร)	ความหนา (มิลลิเมตร)	น้ำหนัก (กรัม)	ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อ ลูกบาศก์เมตร)
1	47.39	47.79	13.60	12.35	400.96
2	46.94	49.57	13.27	12.04	389.94
3	50.03	49.91	13.64	12.39	363.78
4	52.53	49.57	12.67	12.34	374.04
5	47.41	50.04	13.97	12.14	366.30
6	49.12	48.99	13.86	13.50	404.77
ค่าเฉลี่ย	48.90	49.31	13.50	12.46	383.30

จากตาราง 3 พบว่าแผ่นไม้ปาร์ติเกิล สูตร PVA มีความหนาแน่นสูงสุดเท่ากับ 404.77 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร น้อยที่สุดเท่ากับ 363.78 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และมีความหนาแน่นเฉลี่ยเท่ากับ 383.30 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ตาราง 4 ความหนาแน่นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล สูตร SAL

ตัวอย่างที่	ความกว้าง (มิลลิเมตร)	ความยาว (มิลลิเมตร)	ความหนา (มิลลิเมตร)	น้ำหนัก (กรัม)	ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อ ลูกบาศก์เมตร)
1	47.31	47.40	14.30	16.59	517.34
2	49.31	51.36	13.76	13.81	396.29
3	47.83	50.31	13.73	14.29	432.52
4	47.45	47.54	14.19	15.69	490.17
5	46.99	53.17	13.30	14.36	432.15
6	50.48	48.46	13.68	13.17	393.55
ค่าเฉลี่ย	48.23	49.71	13.83	14.65	443.67

จากตาราง 4 พบว่าแผ่นไม้ปาร์ติเกิล สูตร SAL มีความหนาแน่นสูงสุดเท่ากับ 517.34 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร น้อยที่สุดเท่ากับ 393.55 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และมีความหนาแน่นเฉลี่ยเท่ากับ 443.67 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ผลจากการทดสอบเพื่อหาค่าความหนาแน่นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากกากคราม ทั้งสองสูตรพบว่าค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นของสูตร SAL มีมากกว่าสูตร PVA อยู่ร้อยละ 15.75

4. ผลทดสอบความชื้นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล

ผลที่ได้จากการทดสอบความชื้นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากกากคราม จำนวน 6 ตัวอย่างในแต่ละสูตรตามหัวข้อ การทดสอบความชื้นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล โดยได้ข้อมูลความชื้นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล สูตร PVA แต่ละตัวอย่างตามตาราง 5 และข้อมูลความชื้นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล สูตร SAL แต่ละตัวอย่างตามตาราง 6 ตามลำดับ

ตาราง 5 ความชื้นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล สูตร PVA

ตัวอย่างที่	น้ำหนักก่อนอบ (กรัม)	น้ำหนักหลังอบ (กรัม)	ความชื้น (ร้อยละ)
1	14.70	14.34	2.51
2	13.75	13.37	2.84
3	12.79	12.43	2.90
4	12.16	11.81	2.96
5	13.30	12.98	2.47
6	12.32	11.96	3.01
ค่าเฉลี่ย	13.17	12.82	2.78

จากตาราง 5 พบว่าแผ่นไม้ปาร์ติเกิล สูตร PVA มีความชื้นสูงสุดเท่ากับ ร้อยละ 3.01 ความชื้นน้อยที่สุดเท่ากับร้อยละ 2.47 และมีความชื้นเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 2.78

ตาราง 6 ความชื้นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล สูตร SAL

ตัวอย่างที่	น้ำหนักก่อนอบ (กรัม)	น้ำหนักหลังอบ (กรัม)	ความชื้น (ร้อยละ)
1	13.29	13.00	2.23
2	13.79	13.52	2.00
3	18.17	17.81	2.02
4	14.25	13.88	2.67
5	16.36	15.92	2.76
6	15.33	14.88	3.02
ค่าเฉลี่ย	15.20	14.84	2.45

จากตาราง 6 พบว่าแผ่นไม้ปาร์ติเกิล สูตร SAL มีความชื้นสูงสุดเท่ากับ ร้อยละ 3.02 ความชื้นน้อยที่สุดเท่ากับร้อยละ 2.00 และมีความชื้นเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 2.45

ผลจากการทดสอบเพื่อหาความชื้นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากกากครามทั้งสองสูตร พบว่าค่าเฉลี่ยของความชื้นของสูตร SAL มีน้อยกว่าสูตร PVA อยู่ร้อยละ 11.90

5. ผลทดสอบการพองตัวตามความหนาของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล

ผลที่ได้จากการทดสอบการพองตัวตามความหนาของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากกากคราม จำนวน 8 ตัวอย่างในแต่ละสูตรตามหัวข้อ การทดสอบการพองตัวตามความหนาของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล โดยได้ข้อมูลการพองตัวตามความหนา สูตร PVA แต่ละตัวอย่างตามตาราง 7 และข้อมูลการพองตัวตามความหนา สูตร SAL แต่ละตัวอย่างตามตาราง 8 ตามลำดับ

ตาราง 7 การพองตัวตามความหนา สูตร PVA

ตัวอย่างที่	ความหนาก่อนแช่น้ำ (มิลลิเมตร)	ความหนาหลังแช่น้ำ 1 ชั่วโมง (มิลลิเมตร)	การพองตัวตามความหนา (ร้อยละ)
1	13.30	14.73	9.71
2	13.66	15.73	13.16
3	13.56	15.45	12.23

ตาราง 7 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	ความหนาก่อนแช่น้ำ (มิลลิเมตร)	ความหนาหลังแช่น้ำ 1 ชั่วโมง (มิลลิเมตร)	การพองตัวตามความหนา (ร้อยละ)
4	13.81	15.65	11.76
5	13.91	15.70	11.40
6	13.82	15.85	12.81
7	13.92	15.81	11.95
8	13.77	15.59	11.67
ค่าเฉลี่ย	13.72	15.56	11.84

จากตาราง 7 พบว่าแผ่นไม้ปาร์ติเกิล สูตร PVA มีการพองตัวตามความหนาสูงสุดเท่ากับร้อยละ 13.16 การพองตัวตามความหนาน้อยที่สุดเท่ากับร้อยละ 9.71 และมีการพองตัวตามความหนาเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 11.84



ภาพประกอบ 25 การทดสอบการพองตัวตามความหนา สูตร PVA

ตาราง 8 การพองตัวตามความหนา สูตร SAL

ตัวอย่างที่	ความหนาก่อนแช่น้ำ (มิลลิเมตร)	ความหนาหลังแช่น้ำ 1 ชั่วโมง (มิลลิเมตร)	การพองตัวตามความหนา (ร้อยละ)
1	14.30	14.68	2.59
2	13.76	14.32	3.91
3	13.73	14.69	6.54
4	14.19	14.81	4.19
5	13.30	14.39	7.58
6	13.68	14.36	4.74
7	13.11	13.39	2.09
8	13.88	14.83	6.41
ค่าเฉลี่ย	13.74	14.43	4.76

จากตาราง 8 พบว่าแผ่นไม้ปาร์ติเกิล สูตร SAL มีการพองตัวตามความหนาสูงสุดเท่ากับร้อยละ 7.58 การพองตัวตามความหนาน้อยที่สุดเท่ากับร้อยละ 2.09 และมีการพองตัวตามความหนาเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 4.76

ผลการทดสอบเพื่อหาการพองตัวตามความหนาของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากกากคราม ทั้งสองสูตรพบว่าค่าเฉลี่ยของการพองตัวตามความหนาของสูตร SAL มีน้อยกว่าสูตร PVA อยู่ร้อยละ 59.85



ภาพประกอบ 26 การทดสอบการพองตัวตามความหนา สูตร SAL

6. ผลทดสอบความต้านแรงดัดของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล

ผลที่ได้จากการทดสอบค่าความต้านแรงดัดของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากกากคราม จำนวน 12 ตัวอย่างในแต่ละสูตรตามหัวข้อ การทดสอบความต้านแรงดัดของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล โดยได้ข้อมูลค่าความต้านแรงดัดของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล สูตร PVA แต่ละตัวอย่างดังแสดงในตาราง 9 และข้อมูลค่าความต้านแรงดัดของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล สูตร SAL แต่ละตัวอย่างดังแสดงในตาราง 10 ตามลำดับ

ตาราง 9 ความต้านแรงดัดแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากกากคราม สูตร PVA

ตัวอย่างที่	ความกว้าง (มิลลิเมตร)	ความหนา (มิลลิเมตร)	แรงกดสูงสุด (นิวตัน)	ความต้านแรงดัด (นิวตันต่อตาราง มิลลิเมตร)
1	44.79	14.52	125.42	2.99
2	47.14	14.14	151.38	3.61
3	44.34	13.81	141.72	3.77
4	51.59	12.74	115.13	3.09
5	49.64	13.78	146.66	3.50
6	52.04	14.27	139.61	2.96
7	51.66	14.22	165.91	3.57
8	55.31	14.02	108.37	2.24
9	48.15	13.57	158.49	4.02
10	48.68	13.13	177.74	4.77
11	48.90	13.68	164.33	4.04
12	48.88	13.10	169.33	4.54
ค่าเฉลี่ย	49.26	13.75	147.01	3.59

จากตาราง 9 พบว่าแผ่นไม้ปาร์ติเกิล สูตร PVA ตัวอย่างที่ 10 มีความต้านแรงดัดมากที่สุด เท่ากับ 4.77 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ซึ่งได้ผลการทดสอบจากเครื่องทดสอบแสดงใน

ภาพประกอบ 27 และมีลักษณะการวิบัติแสดงในภาพ 28 แผ่นไม้ปาร์ติเกิล สูตร PVA มีค่าเฉลี่ยความต้านแรงดัดเท่ากับ 3.59 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร



ภาพประกอบ 27 ผลการทดสอบความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น สูตร PVA ตัวอย่างที่ 10



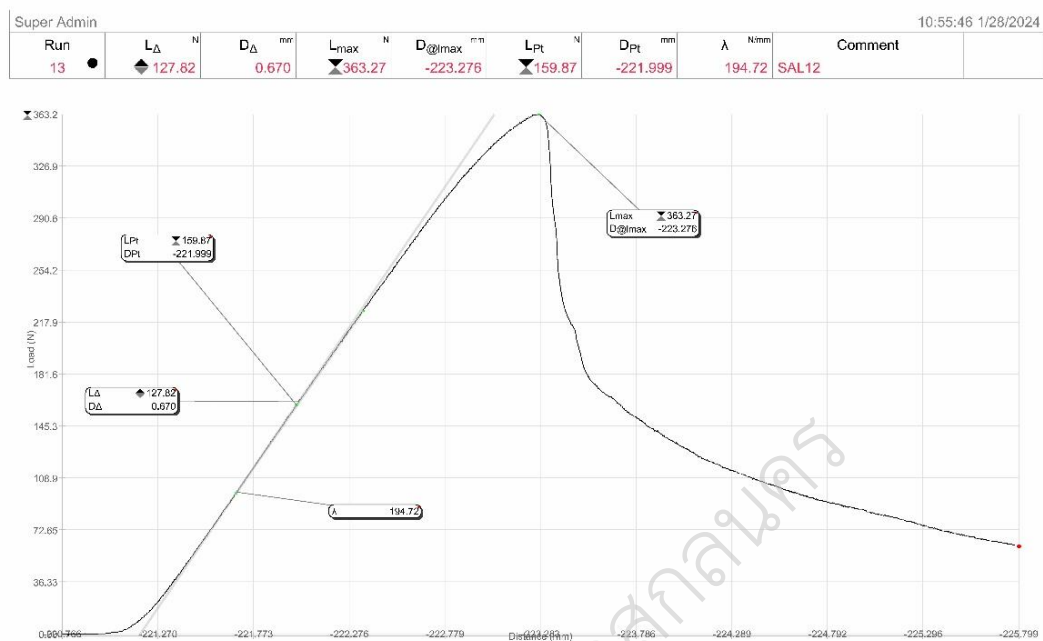
ภาพประกอบ 28 ลักษณะการวิบัติ สูตร PVA ตัวอย่างที่ 10

ตาราง 10 ความต้านแรงดัดแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากกากคราม สูตร SAL

ตัวอย่างที่	ความกว้าง (มิลลิเมตร)	ความหนา (มิลลิเมตร)	แรงกดสูงสุด (นิวตัน)	ความต้านแรงดัด (นิวตันต่อตาราง มิลลิเมตร)
1	46.39	14.19	157.99	3.81
2	48.75	14.56	242.71	5.28
3	50.34	14.28	154.22	3.38
4	48.67	15.39	188.65	3.68
5	53.85	14.98	148.34	2.76
6	50.91	14.79	206.46	4.17
7	49.01	14.17	190.87	4.36
8	48.70	14.72	260.94	5.56
9	49.19	14.80	250.72	5.24
10	46.72	14.10	269.18	6.52
11	49.55	14.64	166.76	3.53
12	47.25	15.30	363.27	7.39
ค่าเฉลี่ย	49.11	14.66	216.68	4.64

จากตาราง 10 พบว่าแผ่นไม้ปาร์ติเกิล สูตร SAL ตัวอย่างที่ 12 มีความต้านแรงดัดมากที่สุด เท่ากับ 7.39 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ซึ่งได้ผลการทดสอบจากเครื่องทดสอบแสดงในภาพประกอบ 29 และมีลักษณะการวิบัติแสดงในภาพประกอบ 30 แผ่นไม้ปาร์ติเกิล สูตร SAL มีค่าเฉลี่ยความต้านแรงดัดเท่ากับ 4.64 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร

ผลจากการทดสอบเพื่อหาความต้านแรงดัดของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากกากคราม ทั้งสองสูตรพบว่าค่าเฉลี่ยของความต้านแรงดัดของสูตร SAL มีมากกว่าสูตร PVA อยู่ร้อยละ 29.17



Page 1

ภาพประกอบ 29 ผลการทดสอบความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น สูตร SAL ตัวอย่างที่ 12



ภาพประกอบ 30 ลักษณะการวิบัติ สูตร SAL ตัวอย่างที่ 12

7. ผลทดสอบมอดุลัสยืดหยุ่นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล

ผลที่ได้จากการทดสอบมอดุลัสยืดหยุ่นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากกากคราม จำนวน 12 ตัวอย่างในแต่ละสูตรตามหัวข้อ การทดสอบมอดุลัสยืดหยุ่นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล โดยได้ข้อมูลมอดุลัสยืดหยุ่นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล สูตร PVA แต่ละตัวอย่างดังแสดงในตาราง 11 และข้อมูลค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล สูตร SAL แต่ละตัวอย่างดังแสดงในตาราง 12 ตามลำดับ

ตาราง 11 มอดุลัสยืดหยุ่น สูตร PVA

ตัวอย่างที่	ความกว้าง (มิลลิเมตร)	ความหนา (มิลลิเมตร)	$\lambda = \frac{(F_2 - F_1)}{(a_2 - a_1)}$ (นิวตันต่อ มิลลิเมตร)	มอดุลัสยืดหยุ่น (นิวตันต่อตาราง มิลลิเมตร)
1	44.79	14.52	52.10	320.61
2	47.14	14.14	64.60	408.99
3	44.34	13.81	50.91	367.82
4	51.59	12.74	44.40	351.17
5	49.64	13.78	63.35	411.51
6	52.04	14.27	53.77	300.02
7	51.66	14.22	60.45	343.37
8	55.31	14.02	39.30	217.55
9	48.15	13.57	61.84	433.66
10	48.68	13.13	54.02	413.64
11	48.90	13.68	58.51	394.35
12	48.88	13.10	60.96	468.07
ค่าเฉลี่ย	49.26	13.75	55.35	369.23

จากตาราง 11 พบว่าแผ่นไม้ปาร์ติเกิลสูตร PVA ตัวอย่างที่ 12 มีค่ามอดุลัสยืดหยุ่นมากที่สุดเท่ากับ 468.07 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ซึ่งได้ผลการทดสอบจากเครื่องทดสอบแสดงใน

ภาพประกอบ 27 และมีลักษณะการวิบัติแสดงในภาพประกอบ 28 แผ่นไม้ปาร์ติเกิล สูตร PVA มีค่าเฉลี่ยมอดุลัสยืดหยุ่นเท่ากับ 369.23 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร

ตาราง 12 มอดุลัสยืดหยุ่น สูตร SAL

ตัวอย่างที่	ความกว้าง b (มิลลิเมตร)	ความหนา t (มิลลิเมตร)	$\lambda = \frac{(F_2 - F_1)}{(a_2 - a_1)}$ (นิวตันต่อ มิลลิเมตร)	มอดุลัสยืดหยุ่น (นิวตันต่อตาราง มิลลิเมตร)
1	46.39	14.19	94.35	600.60
2	48.75	14.56	128.90	722.78
3	50.34	14.28	103.08	593.32
4	48.67	15.39	107.50	511.26
5	53.85	14.98	88.89	414.33
6	50.91	14.79	83.48	427.65
7	49.01	14.17	101.94	616.83
8	48.70	14.72	143.19	777.81
9	49.19	14.80	129.51	685.26
10	46.72	14.10	117.04	754.03
11	49.55	14.64	114.48	621.26
12	47.25	15.30	194.72	970.84
ค่าเฉลี่ย	49.11	14.66	117.26	641.33

จากตาราง 12 พบว่าแผ่นไม้ปาร์ติเกิล สูตร SAL ตัวอย่างที่ 12 มีค่ามอดุลัสมากที่สุดเท่ากับ 970.84 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ซึ่งได้ผลการทดสอบจากเครื่องทดสอบดังแสดงในภาพประกอบ 29 และมีลักษณะการวิบัติดังแสดงในภาพประกอบ 30 แผ่นไม้ปาร์ติเกิล สูตร SAL มีค่าเฉลี่ยมอดุลัสยืดหยุ่นเท่ากับ 641.33 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร

ผลจากการทดสอบเพื่อหาความต้านแรงดัดของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากกากครามทั้งสองสูตรพบว่าค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของสูตร SAL มากกว่าสูตร PVA อยู่ร้อยละ 73.68

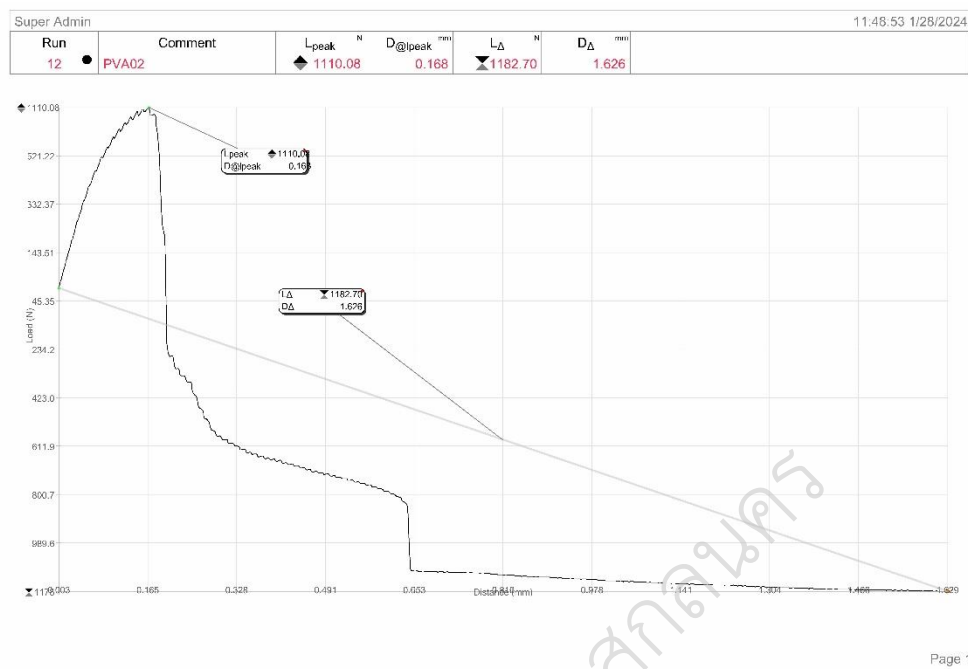
8. ผลทดสอบความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล

ผลที่ได้จากการทดสอบความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล จากภาคการ 8 ตัวอย่างในแต่ละสูตรตามหัวข้อ การทดสอบความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล โดยได้ข้อมูลค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล สูตร PVA แต่ละตัวอย่างดังแสดงในตาราง 13 และข้อมูลค่าความชื้นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล สูตร SAL แต่ละตัวอย่างดังแสดงในตาราง 14 ตามลำดับ

ตาราง 13 ความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า สูตร PVA

ตัวอย่างที่	ความกว้าง (มิลลิเมตร)	ความยาว (มิลลิเมตร)	แรงดึงสูงสุด (นิวตัน)	ความต้านแรงดึงตั้งฉากกับ ผิวหน้า (นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร)
1	47.33	49.70	1033.35	0.44
2	50.31	46.35	1110.08	0.48
3	49.69	49.76	858.15	0.35
4	49.75	47.50	830.69	0.35
5	49.29	47.05	852.78	0.37
6	49.18	48.69	882.15	0.37
7	48.50	49.62	931.03	0.39
8	48.45	47.84	812.61	0.35
ค่าเฉลี่ย	49.06	48.31	913.86	0.39

จากตาราง 13 พบว่าแผ่นไม้ปาร์ติเกิล สูตร PVA ตัวอย่างที่ 2 มีความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าสูงสุดเท่ากับ 0.48 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ซึ่งได้ผลการทดสอบจากเครื่องทดสอบแสดงในภาพประกอบ 31 และมีลักษณะการวิบัติแสดงในภาพประกอบ 32 แผ่นไม้ปาร์ติเกิล สูตร PVA มีความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าเฉลี่ยเท่ากับ 0.39 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร



ภาพประกอบ 31 ผลการทดสอบความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า สูตร PVA ตัวอย่างที่ 2

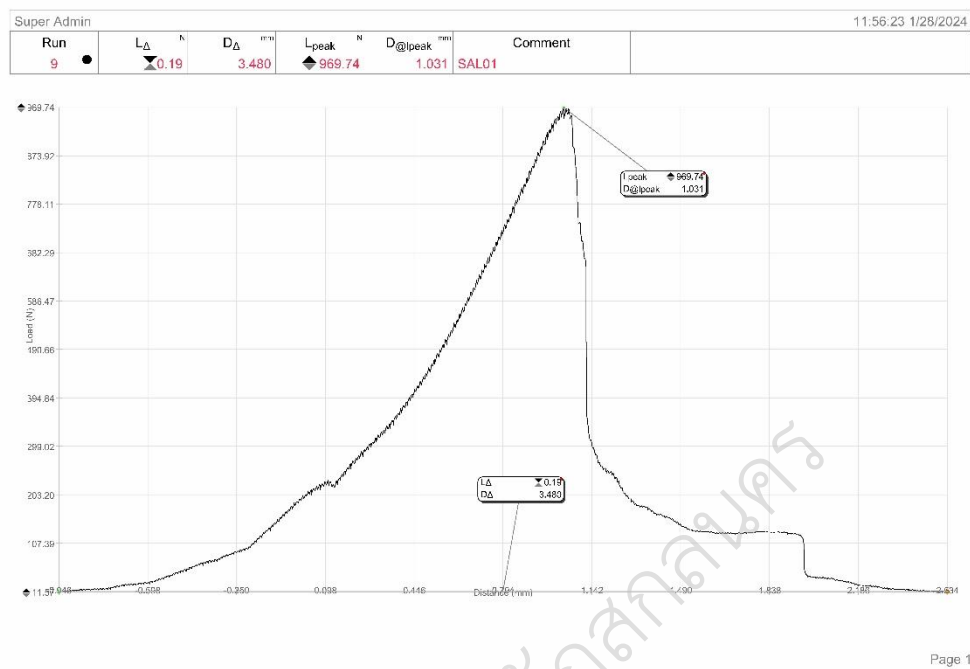


ภาพประกอบ 32 ลักษณะการวิบัติ สูตร PVA ตัวอย่างที่ 2

ตาราง 14 ความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า สูตร SAL

ตัวอย่างที่	ความกว้าง (มิลลิเมตร)	ความยาว (มิลลิเมตร)	แรงดึงสูงสุด (นิวตัน)	ความต้านแรงดึงตั้งฉากกับ ผิวหน้า (นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร)
1	48.02	49.41	969.74	0.41
2	48.71	49.51	732.43	0.30
3	44.18	44.18	717.00	0.37
4	47.07	46.00	738.84	0.34
5	47.59	48.01	814.07	0.36
6	46.94	48.47	867.29	0.38
7	46.13	48.97	793.00	0.35
8	47.88	46.32	852.66	0.38
ค่าเฉลี่ย	47.69	48.11	810.63	0.36

จากตาราง 14 พบว่าแผ่นไม้ปาร์ติเกิล สูตร SAL ตัวอย่างที่ 1 มีความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าสูงสุดเท่ากับ 0.41 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ซึ่งได้ผลการทดสอบจากเครื่องทดสอบแสดงในภาพประกอบ 33 และมีลักษณะการวิบัติแสดงในภาพประกอบ 34 แผ่นไม้ปาร์ติเกิล สูตร SAL มีความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าเฉลี่ยเท่ากับ 0.36 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ผลจากการทดสอบเพื่อหาความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล จากภาคการรวมทั้งสองสูตรพบว่าค่าเฉลี่ยของความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของสูตร SAL มีน้อยกว่าสูตร PVA อยู่ร้อยละ 8.29



ภาพประกอบ 33 ผลการทดสอบความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า สูตร SAL ตัวอย่างที่ 1



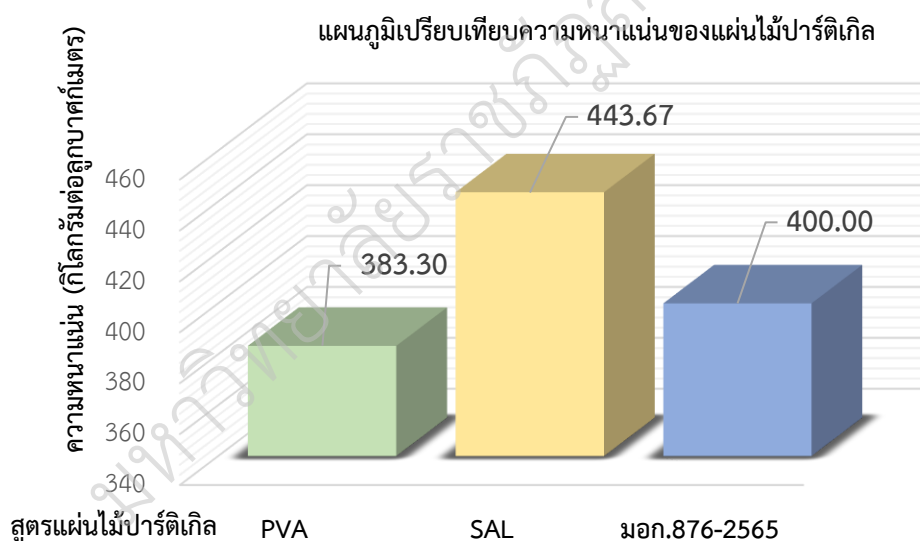
ภาพประกอบ 34 ลักษณะการวิบัติ สูตร SAL ตัวอย่างที่ 1

การวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการทดสอบ

หลังจากได้ผลการทดสอบแล้ว ผู้วิจัยได้นำค่าเฉลี่ยผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกล ของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล สูตร PVA และสูตร SAL มาเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นขึ้นไม้อัดชนิดอัดราบ (มอก.876-2565) ซึ่งผู้วิจัยได้แสดงเป็นแผนภูมิไว้ดังนี้

1. ความหนาแน่นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล

จากข้อมูลผลการทดสอบความหนาแน่นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลที่ทำจากกากคราม ในตาราง 3 และตาราง 4 สามารถนำมาประมวลผลเป็นแผนภูมิเปรียบเทียบผลการทดสอบระหว่างสูตร PVA สูตร SAL กับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.876-2565 ดังภาพประกอบ 35

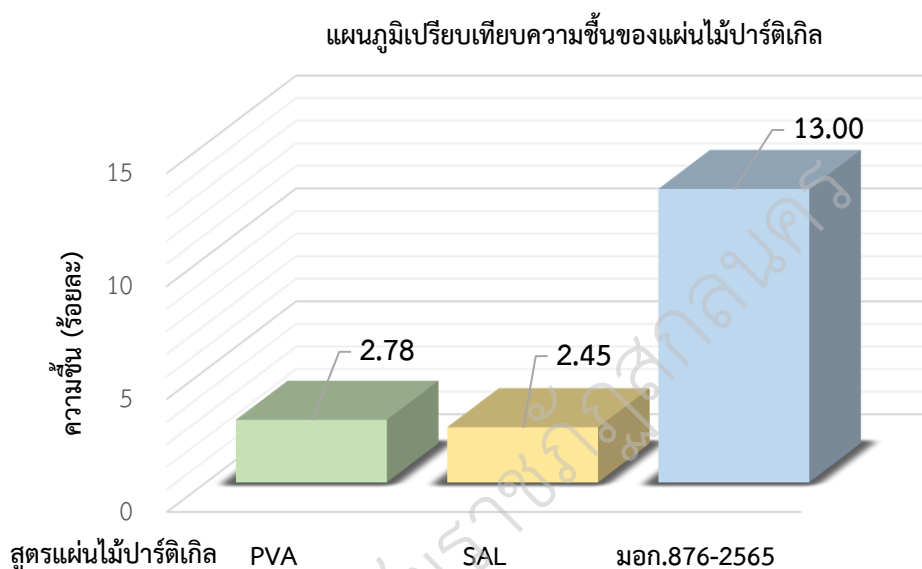


ภาพประกอบ 35 แผนภูมิเปรียบเทียบความหนาแน่นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล

จากภาพประกอบ 35 พบว่าค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล สูตร PVA เท่ากับ 383.30 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สูตร SAL เท่ากับ 443.67 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จะเห็นว่าความหนาแน่นของสูตร PVA จะน้อยกว่าค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.876-2565 ส่วนสูตร SAL อยู่ในช่วงค่ามาตรฐานอยู่ระหว่าง 400 – 900 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร คลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 10

2. ความชื้นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล

จากข้อมูลผลการทดสอบความชื้นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลที่ทำจากกากครามในตาราง 5 และตาราง 6 สามารถนำมาประมวลผลเป็นแผนภูมิเปรียบเทียบผลการทดสอบระหว่างสูตร PVA สูตร SAL กับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.876-2565 ดังภาพประกอบ 36

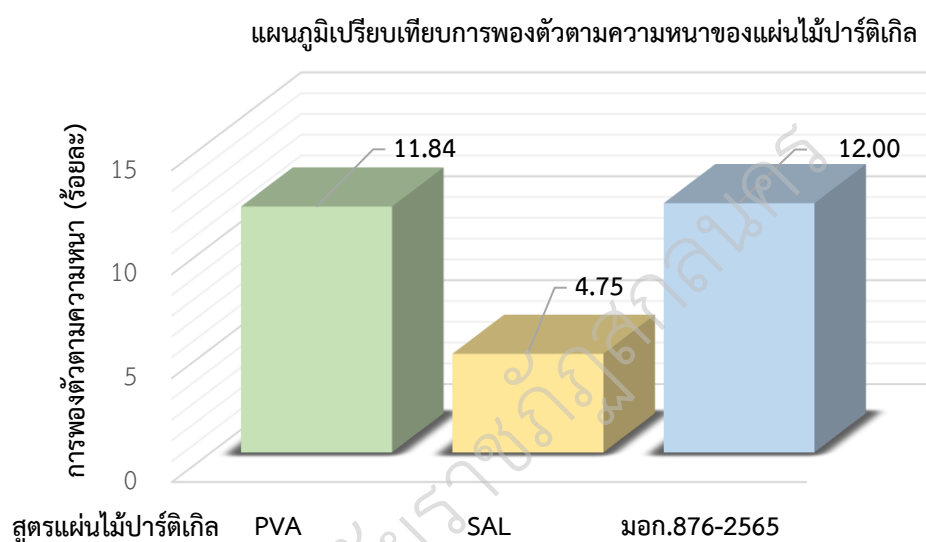


ภาพประกอบ 36 แผนภูมิเปรียบเทียบความชื้นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล

จากภาพประกอบ 36 พบว่าค่าเฉลี่ยความชื้นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล สูตร PVA เท่ากับร้อยละ 2.78 สูตร SAL เท่ากับร้อยละ 2.45 ซึ่งทั้งสองสูตรค่าความชื้นไม่เกินค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.876-2565 ที่กำหนดไว้ไม่เกินร้อยละ 13.00 ซึ่งจะเห็นว่าความชื้นของทั้งสองสูตรมีค่าใกล้เคียงกัน และไม่เกินค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.876-2565

3. การฟองตัวตามความหนาของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล

จากข้อมูลผลการทดสอบการฟองตัวตามความหนาของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลที่ทำจากกากครามในตาราง 7 และตาราง 8 สามารถนำมาประมวลผลเป็นแผนภูมิเปรียบเทียบผลการทดสอบระหว่างสูตร PVA สูตร SAL กับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.876-2565 ดังภาพประกอบ 37

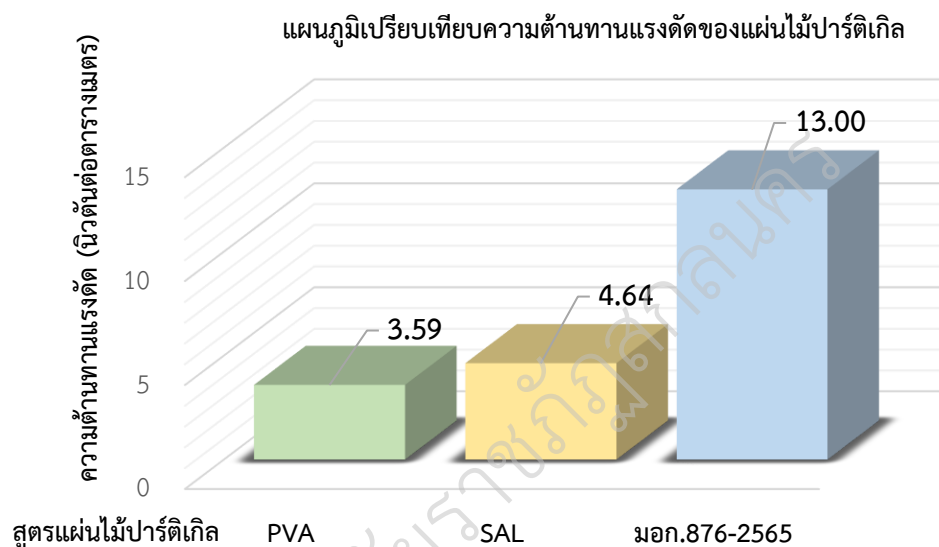


ภาพประกอบ 37 แผนภูมิเปรียบเทียบการฟองตัวตามความหนาของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล

จากภาพประกอบ 37 พบว่าค่าเฉลี่ยการฟองตัวตามความหนาของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลสูตร PVA เท่ากับร้อยละ 11.84 สูตร SAL เท่ากับร้อยละ 4.75 ซึ่งทั้งสองสูตรไม่เกินค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.876-2565 ที่ไม่เกินร้อยละ 12.00 จากแผนภูมิแสดงให้เห็นว่าการ PVA ส่งผลต่อการฟองตัวตามความหนาของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลมากกว่าเซลแลค

4. ความต้านแรงดัดของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล

จากข้อมูลผลการทดสอบความต้านแรงดัดของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลที่ทำจากกากครามในตาราง 9 และตาราง 10 สามารถนำมาประมวลผลเป็นแผนภูมิเปรียบเทียบผลการทดสอบระหว่างสูตร PVA สูตร SAL กับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.876-2565 ดังภาพประกอบ 38

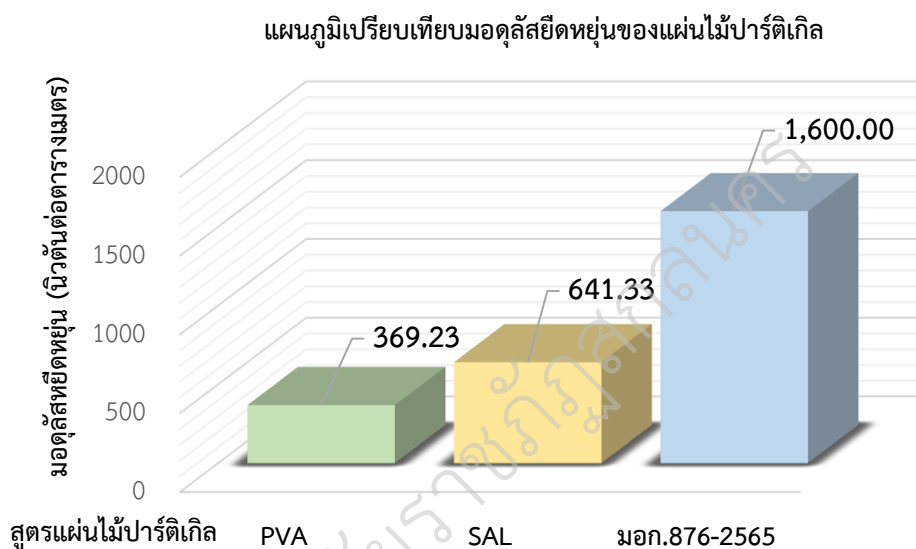


ภาพประกอบ 38 แผนภูมิเปรียบเทียบความต้านแรงดัดของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล

จากภาพประกอบ 38 พบว่าค่าเฉลี่ยความต้านแรงดัดของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล สูตร PVA เท่ากับ 3.59 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร สูตร SAL เท่ากับ 4.64 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ซึ่งจะเห็นว่าค่าความต้านแรงดัดของทั้งสองสูตรมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งน้อยกว่าค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.876-2565 ที่ต้องมากกว่า 13.00 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร

5. มอดุลัสยืดหยุ่นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล

จากข้อมูลผลการทดสอบมอดุลัสยืดหยุ่นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลที่ทำจากกากครามในตาราง 9 และตาราง 10 สามารถนำมาประมวลผลเป็นแผนภูมิเปรียบเทียบผลการทดสอบระหว่างสูตร PVA สูตร SAL กับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.876-2565 ดังภาพประกอบ 39

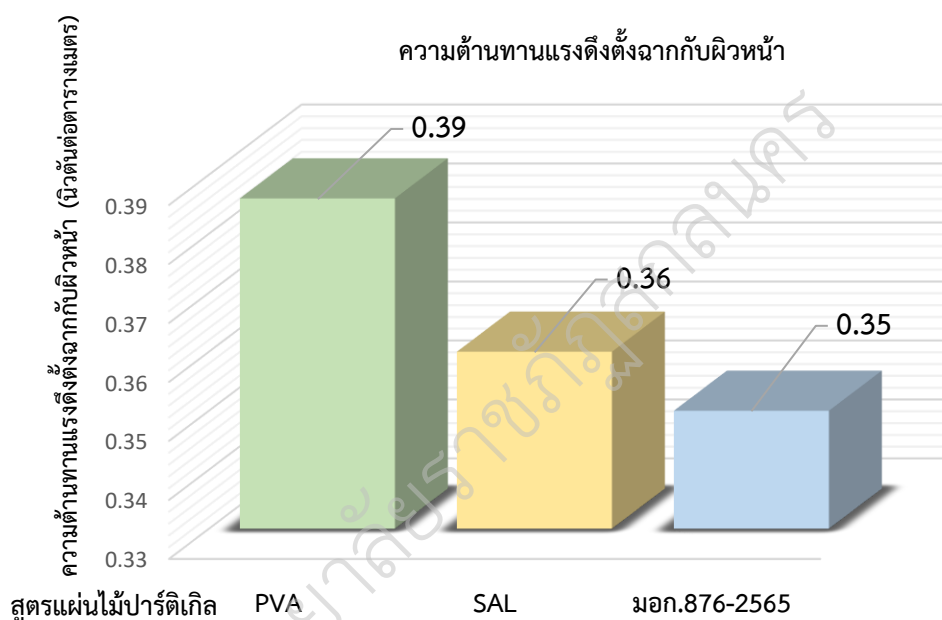


ภาพประกอบ 39 แผนภูมิเปรียบเทียบมอดุลัสยืดหยุ่นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล

จากภาพประกอบ 39 พบว่าค่าเฉลี่ยมอดุลัสยืดหยุ่นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล สูตร PVA เท่ากับ 369.23 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร สูตร SAL เท่ากับ 641.33 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ซึ่งน้อยกว่าค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.876-2565 ที่ต้องมากกว่า 1,600.00 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร จะเห็นว่าสูตร SAL จะส่งผลต่อค่ามอดุลัสยืดหยุ่นที่มากกว่าสูตร PVA

6. ความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล

จากข้อมูลผลการทดสอบความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลที่ทำจากกากครามในตาราง 11 และตาราง 12 สามารถนำมาประมวลผลเป็นแผนภูมิเปรียบเทียบผลการทดสอบระหว่างสูตร PVA สูตร SAL กับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.876-2565 ดังภาพประกอบ 40



ภาพประกอบ 40 แผนภูมิเปรียบเทียบความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล

จากภาพประกอบ 40 พบว่าค่าเฉลี่ยความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล สูตร PVA เท่ากับ 0.39 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร สูตร SAL เท่ากับ 0.36 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ซึ่งทั้งสองสูตร ได้ค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าสูงกว่าค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.876-2565 ที่ต้องมากกว่า 0.35 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร จะเห็นว่าสูตร PVA จะส่งผลต่อค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าที่มากกว่าสูตร SAL

จากผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่น ความชื้น และการพองตัวตามความหนา พบว่าแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากกากครามทั้งสองสูตรคือสูตร PVA และสูตร SAL มีคุณสมบัติทางกายภาพเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.876-2565 ส่วนคุณสมบัติทางกล ซึ่งได้แก่ ความต้านแรงดัด โมดูลัสยืดหยุ่น และความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า พบว่าความต้านแรงดัดและโมดูลัสยืดหยุ่นไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

มอก.876-2565 ความแข็งแรงในการรับแรงยังไม่ถึงเกณฑ์ ส่วนความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้านั้น ผ่านเกณฑ์มาตรฐานซึ่งบ่งบอกถึงการยึดติดของเนื้อวัสดุทำให้แผ่นไม้ปาร์ติเกิลทั้งสองสูตรนั้นมีลักษณะคงรูปเป็นเนื้อเดียวกัน

การใช้งานของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลที่ทำจากกากคราม จากผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกลของทั้งสองสูตรใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มไปทางเดียวกัน การใช้งานเหมาะกับงานที่ต้องรับแรงมาก ใช้ภายในอาคาร เหมาะสมที่จะนำไปทำเป็นบรรจุภัณฑ์เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์อื่น หรือใช้เป็นวัสดุตกแต่งเพื่อความสวยงาม

ต้นทุนในการผลิตในแต่ละสูตร พบว่าสูตร SAL จะมีต้นทุนสูงกว่าโดยเซลล์ที่ใช้เป็นกาบประสานกิโลกรัมละ 480 บาท ส่วนสูตร PVA ที่ใช้กาวโพลีไวนิลแอลกอฮอล์นั้นกิโลกรัมละ 100 บาท ดังนั้นสูตร PVA จะมีความคุ้มค่ามากกว่า

หลังจากได้ผลการทดสอบและได้เปรียบเทียบคุณสมบัติของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลทั้งสูตร PVA และสูตร SAL กับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.876-2565 แล้ว ผู้วิจัยได้นำเสนอสรุปผลการวิจัยในบทที่ 5 ต่อไป

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยการศึกษาคุณสมบัติของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลที่ทำจากกากคราม ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกลของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลที่ทำจากกากคราม ซึ่งผู้วิจัยได้ผลิตแผ่นไม้ปาร์ติเกิลไว้สองสูตร คือสูตร PVA ใช้กาวโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ เป็นกาวประสาน และสูตร SAL ใช้เซลแลคเป็นกาวประสาน แล้วนำแผ่นไม้ปาร์ติเกิลทั้งสองสูตรมาทำการทดสอบหาคุณสมบัติทางกายภาพได้แก่ ความหนาแน่น ความชื้น การพองตัวตามความหนา และคุณสมบัติทางกลได้แก่ ความต้านแรงดัด โมดูลัสยืดหยุ่น และแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า แล้วนำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 876-2565 ซึ่งกล่าวไว้ในบทที่ 4 ส่วนในบทที่ 5 นี้ผู้วิจัยได้สรุปและอภิปรายผลการวิจัยไว้ดังนี้

ผลการศึกษาการนำกากครามมาทำเป็นแผ่นไม้ปาร์ติเกิล

จากผลการศึกษาการผลิตแผ่นไม้ปาร์ติเกิลโดยใช้กาวโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) และเซลแลค (Shellac) เป็นกาวประสาน พบว่ากากครามสามารถนำมาทำเป็นแผ่นไม้ปาร์ติเกิลได้ทั้งสองสูตร โดยสูตร PVA ลักษณะภายนอกจะเห็นลายของกากครามชัดเจนเพราะกาว PVA มีลักษณะใสเมื่อเมื่อแห้งตัว ส่วนสูตร SAL ลักษณะภายนอกจะเห็นเซลแลคแทรกในแผ่นไม้ปาร์ติเกิลเกิดเป็นลวดลายสวยงามซึ่งเป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัว ซึ่งแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากกากครามทั้งสองสูตรนี้ มีความแข็งแรง มีระเบียบสม่ำเสมอทั้งแผ่น ไม่บิดงอ สามารถใช้เลื่อยตัดแบ่งเป็นชิ้นได้ ซึ่งจากคุณสมบัตินี้สามารถนำไปใช้งานภายใน ใช้เป็นวัสดุผลิตบรรจุภัณฑ์ได้ หรือใช้เป็นวัสดุตกแต่งอื่น ๆ ได้

ผลการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกลของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลที่ทำจากกากคราม

1. ผลการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ

การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล พบว่าความหนาแน่นของสูตร PVA มีค่าเท่ากับ 383.30 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เป็นผลทำให้แผ่นไม้ปาร์ติเกิล

สูตร PVA มีน้ำหนักที่เบากว่าสูตร SAL ในปริมาณที่เท่ากัน น้ำหนักที่น้อยกว่านี้ เป็นข้อได้เปรียบ ในด้านการนำไปใช้งาน ส่วนสูตร SAL มีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 443.67 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งอยู่ในช่วงค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.876-2565 ที่กำหนดไว้ 400–900 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร คลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 10

การศึกษาความชื้นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล สูตร PVA มีความชื้นร้อยละ 2.78 และสูตร SAL มีความชื้นเท่ากับร้อยละ 2.45 ซึ่งทั้งสองสูตรมีค่าความชื้นไม่เกินค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.876-2565 ที่น้อยกว่าร้อยละ 13 ค่าความชื้นที่ได้มีค่าน้อยทำให้แผ่นไม้ปาร์ติเกิลที่ผลิตจากทั้งสองสูตรไม่เก็บความชื้น หากนำไปใช้งานโอกาสที่แผ่นไม้ปาร์ติเกิลจะโค้งงอ เสียรูปเนื่องจากความชื้นจะมีน้อย และหากแผ่นไม้ปาร์ติเกิลมีความชื้นมากขึ้นความแข็งแรงจะลดลงตามไปด้วย

การศึกษาการพองตัวตามความหนา สูตร PVA มีการพองตัวตามความหนาเท่ากับร้อยละ 11.84 และสูตร SAL มีค่าเท่ากับร้อยละ 4.75 ซึ่งทั้งสองสูตรมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.876-2565 ที่น้อยกว่าร้อยละ 12 การพองตัวตามความหนาเป็นการศึกษาแผ่นไม้ปาร์ติเกิลเมื่อโดนแช่น้ำ จากผลการทดสอบจะเห็นว่าแผ่นไม้ปาร์ติเกิลทั้งสองสูตรเมื่อโดนน้ำแล้วจะขยายตัวออก แต่ก็ไม่เกินค่ามาตรฐานซึ่งสูตร PVA จะขยายตัวมากกว่าสูตร SAL การขยายตัวเมื่อแช่น้ำนั้น จะทำให้เกิดการเสื่อมสภาพเพราะน้ำจะทำกาาประสานเสื่อมคุณสมบัติ อีกทั้งยังก่อให้เกิดเชื้อราและกลิ่นไม่พึงประสงค์ จากผลการทดสอบจะเห็นว่า สูตร SAL นั้นมีความทนต่อการแช่น้ำได้ดีกว่ามาก

2. ผลการศึกษาคุณสมบัติทางกล

การศึกษาคุณสมบัติทางกลของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล ความต้านแรงดัดของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล สูตร PVA มีค่าเท่ากับ 3.59 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร และสูตร SAL มีค่าเท่ากับ 4.64 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ซึ่งน้อยกว่าค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.876-2565 ที่ต้องมากกว่า 13 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร จากผลทดสอบจะเห็นว่าค่าความต้านแรงดัดของสูตร SAL มีค่ามากกว่าสูตร PVA ซึ่งแผ่นไม้ปาร์ติเกิลที่ทำจากกากครามนี้ทนต่อการดัดงอได้น้อยกว่าค่ามาตรฐาน

การศึกษามอดุลัสยืดหยุ่น พบว่าสูตร PVA มีค่าเท่ากับ 369.23 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร สูตร SAL มีค่าเท่ากับ 641.33 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ซึ่งทั้งสองสูตรมีค่าน้อยกว่าค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.876-2565 ที่ 1600 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร จะเห็นว่าแผ่นไม้ปาร์ติเกิลที่ทำจากกากครามนี้ มีความยืดหยุ่นน้อยกว่าค่ามาตรฐานเมื่อมีแรงมากระทำ

การศึกษาความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า พบว่าสูตร PVA มีค่าเท่ากับ 0.39 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร สูตร SAL มีค่าเท่ากับ 0.36 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ซึ่งทั้งสองสูตรมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.876-2565 ที่มีค่าเท่ากับ 0.35 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร จากค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า จะเห็นว่ากาวที่ใช้ทำแผ่นไม้ปาร์ติเกิลที่ทำจากกากครามทั้งสองสูตร มีแรงยึดเหนี่ยวที่สูงพอที่จะทำให้กากครามยึดเกาะกันได้ โดยกาวประสานสูตร PVA ให้มีค่าสูงกว่า กาวประสานสูตร SAL

เปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกลของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลที่ทำจากกากครามกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.876-2565

จากการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกล จะพบว่าแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากกากคราม มีคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่น ความชื้น และการพองตัวตามความหนาเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.876-2565 คุณสมบัติทางกล ความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.876-2565 ส่วนคุณสมบัติความต้านแรงดัดและมอดูลัสยืดหยุ่น ยังไม่เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.876-2565 ซึ่งแผ่นไม้ปาร์ติเกิลที่ทำจากกากครามนี้ สูตร SAL มีความแข็งแรงสูงกว่าสูตร PVA เนื่องจากลักษณะของกาวเซลแลคในสูตร SAL นั้น เมื่อเย็นตัวหลังจากอบจะมีความแข็งกว่ากาว PVA แต่แรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า สูตร PVA มีค่าสูงกว่าเนื่องจากกาว PVA มีลักษณะเป็นของเหลว ในขั้นตอนการผสมกาวกับกากครามนั้นจะมีความทั่วถึงเข้ากันเป็นเนื้อเดียวกันมากกว่ากาวเซลแลคของสูตร SAL ที่มีลักษณะเป็นผง ซึ่งขั้นตอนในการผสมนั้นความเข้ากันเป็นเนื้อเดียวนั้นมีน้อยกว่า

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะจากผลการวิจัย

ผู้วิจัยขอเสนอแนวปฏิบัติ ดังนี้

1.1 ในขั้นตอนการผสมกาวหากมีการทำให้กาวมีความเหลวหรือเป็นน้ำจะทำให้การผสมเป็นเนื้อเดียวนั้นง่าย และหากมีเครื่องผสมกาวจะทำให้เนื้อกาวแทรกตัวไปอย่างสม่ำเสมอและลดการใช้ปริมาณกาวได้

1.2 ในขั้นตอนการอัดเนื้อวัสดุหากมีการสั่นหรือกระแทกขณะอัดเนื้อวัสดุ จะทำให้เนื้อวัสดุมีความแน่น ช่องว่างระหว่างชิ้นกากครามจะมีน้อย ซึ่งจะมีผลให้ความแข็งแรงและการยึดติดกันของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลมีมากขึ้น

2. ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยในครั้งต่อไป

2.1 เพื่อความแข็งแรงของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลอาจผสมวัสดุอื่นเข้าไป เช่น วัสดุที่เป็นเส้นใย (Fiber) เพราะเส้นใยมีความเหนียว

2.2 เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของแผ่นไม้ปาร์ติเกิล การประสานอาจต้องใช้กาวชนิดอื่นหรืออาจใช้กาวหลายชนิดผสมกันเพื่อให้ได้คุณสมบัติตามต้องการ

2.3 เพิ่มการทดสอบการดูดซับเสียง ฉนวนกันความร้อน หรือการดูดซับกลิ่น

มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- กรมส่งเสริมการเกษตร. (2565). ระบบสารสนเทศการผลิตทางการเกษตร . เข้าถึงได้จาก production.doae.go.th 22 สิงหาคม 2566.
- เกศินี พวงประดิษฐ์ พาณิชย์จังหวัดสกลนคร ,บทสัมภาษณ์หนังสือพิมพ์สยามรัฐ 13 กรกฎาคม 2565.
- จารุณี เข้มพิลลา. (2562). การผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดจากใบตะไคร้และฟางข้าว. วารสารวิชาการปทุมวัน.
- ณัฏฐกาภรณ์ จรรย์จารุพัฒน์ และสาลินี อาจารย์. (2560). การผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 28(2). เข้าถึงได้จาก <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/kmutnb-journal/article/view/185544>
- นันทวัน บุญยะประภัศร และอรนุช โชคชัย. (2543). สมุนไพร ไม้พื้นบ้าน. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยมหิดล.
- นุรุทธธิดา มะเย้ง. การพัฒนาแผ่นใยไม้อัดจากขาน้อยผสมซีเมนต์. งานประชุมวิชาการระดับชาติด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเครือข่ายภาคใต้ ครั้งที่ 6.
- บริษัทแอ็บโซลูท สไตล์ จำกัด. (2560). ปาร์ติเกิลบอร์ด. เข้าถึงได้จาก <https://www.absolutestyle.co.th/ปาร์ติเกิลบอร์ด>. 1 กุมภาพันธ์ 2567.
- ไพฑูรย์ ออบเชย. (2560). พี่ที่ให้สี่ครามธรรมชาติ, สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.
- วรรณธรรม อุ่นจิตติชัย. (2555). วัสดุทดแทนไม้. กรุงเทพฯ: กรมป่าไม้
- วนารัตน์ กรวิสุรานุกุล. (2562). การพัฒนาแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากแกนกล้วยเพื่อเป็นผนังตกแต่งภายในอาคาร. วารสารวิชาการ พลังงานและสิ่งแวดล้อมในอาคาร, 2(2).
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2565). มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม แผ่นขึ้นไม้อัดชนิดราบ มอก.876 - 2565. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงอุตสาหกรรม.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เข้าถึงได้จาก <http://oae.go.th/view/1/รายละเอียดข่าว/ข่าวทั้งหมด/39335/TH-TH>, 3 กรกฎาคม 2565.
- สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้. กาวประสานไม้. เข้าถึงได้จาก http://forprod.forest.go.th/forprod/wood_industries/wood_industries2/WoodComposite/adhesiveweb/thermo-setting.htm 1 กุมภาพันธ์ 2567.

- แสงระวี สุชีธรรมและทรงกรด จารุสมบัติ. (2562). แผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้จากโรงงานทำตะเกียบ. *วารสารวนศาสตร์*, 38(2). เข้าถึงได้จาก <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/tjf/article/view/246276/168397>
- ศูนย์ศึกษาการพัฒนาภูพานอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดสกลนคร. (2555). *การผลิตผ้า ย้อมคราม*, สำนักงานคณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ. เข้าถึงได้จาก <https://www.rdpb.go.th/UploadNew/Documents/ผ้าย้อมคราม.pdf> 11 พฤศจิกายน 2565.
- เอกพจน์ สมนาม. (2562). สมบัติเชิงกายภาพ สมบัติเชิงกล และสมบัติเชิงความร้อน ของแผ่นไม้อัดที่ทำจากฟางผสมซีลี้อย. *การประชุมวิชาการระดับชาติ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีระหว่างสถาบัน ครั้งที่ 7*. captaincoating.com. *แชลคขาว*. เข้าถึงได้จาก <https://www.captaincoating.com/%e0%b9%81%e0%b8%8a%e0%b8%a5%e0%b8%84%e0%b8%82%e0%b8%b2%e0%b8%a7/> 1 กุมภาพันธ์ 2567.
- century-trading.com. โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ / พีวีเอ (POLYVINYL ALCOHOL / PVA). เข้าถึงได้จาก <https://www.century-trading.com/product.php> 1 กุมภาพันธ์ 2567.
- Chanpor Yiachongthor. (2564). *การเพิ่มมูลค่าซีลี้อยไม้สักจากโรงเลื่อยในเมืองเชียงใหม่ แขวงหลวงพระบาง เป็นแผ่นปาร์ติเกิลเพื่อการผลิตเป็นเฟอร์นิเจอร์*. มหาวิทยาลัยแม่โจ้
- Fisayo Adesina, Tiamiyu Ishola Mohammed, และ Oluwole Timothy Ojo. (2018). Design and Fabrication of a Manually Operated. (5). Open Access Library Journal. Retrieved from <https://doi.org/10.4236/oalib.1104522>
- Jeffrey Ken B Balangao, Mikee P Tuyor, Arjel Salcedo, Consorcio S Namoco, & Liezl M Jabile. (2023). DESIGN AND DEVELOPMENT OF A HOT-PRESSING MACHINE FOR AGRICULTURAL. 34(6). HAL open science. Retrieved from <https://hal.science/hal-03929032>
- L Astari. (2018). Properties of Particleboard Made from Wood Waste with Various Size. *Earth and Environmental Science*, 2018(166). Retrieved from <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/166/1/012004/pdf>

- Lubis, Muhammad Adly Rahandi. (2021). Enhancing the performance of natural rubber latex with polymeric isocyanate as cold-pressing and formaldehyde free adhesive for plywood, 58-73. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/00218464.2021.1999233>
- Lubis, Muhammad Adly Rahandi. (2022). Influence of Lignin Content and Pressing Time on Plywood Properties Bonded with Cold-Setting Adhesive Based on Poly (Vinyl Alcohol), Lignin, and Hexamine. *Polymers*, 14(2111). Retrieved from <https://www.mdpi.com/2073-4360/14/10/2111>
- Paul chukwulozie Okolie, Echezona Nnaemeka Obika, Benjamin Segun Oluwadare, Obiora Nnaemeka Ezenwa, & Chinedu Stanley Udensi. (2020). Steel work design and analysis of a 40-ton constant temperature. *scienceDirect*. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04783>
- Sari, Ratih Afrida Lismana. (2023). Properties of Plywood Bonded with Formaldehyde-Free Adhesive Based on Poly (vinyl alcohol)–Tannin–Hexamine at Different Formulations and Cold-Pressing Times. *Journal of Composites Science*, 7(3). Retrieved from <https://www.mdpi.com/2504-477X/7/3/113>
- Zepeda-Cepeda, Christian Osvaldo. (2021). Effect of Sawdust Particle Size on Physical, Mechanical, and Energetic Properties of *Pinus durangensis* Briquettes, 11(3805). Retrieved from <https://doi.org/10.3390/app11093805>

มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์

ภาคผนวก ก

การผลิตเครื่องอัดแผ่นไม้ปาร์ติเกิล



ก. โครงสร้างเหล็กเครื่องอัดแผ่นไม้ปาร์ติเกิล



ข. ติดตั้งเสาประคองและทาสี



ค. ติดตั้งแม่แรงแบบมีมาตรวัด

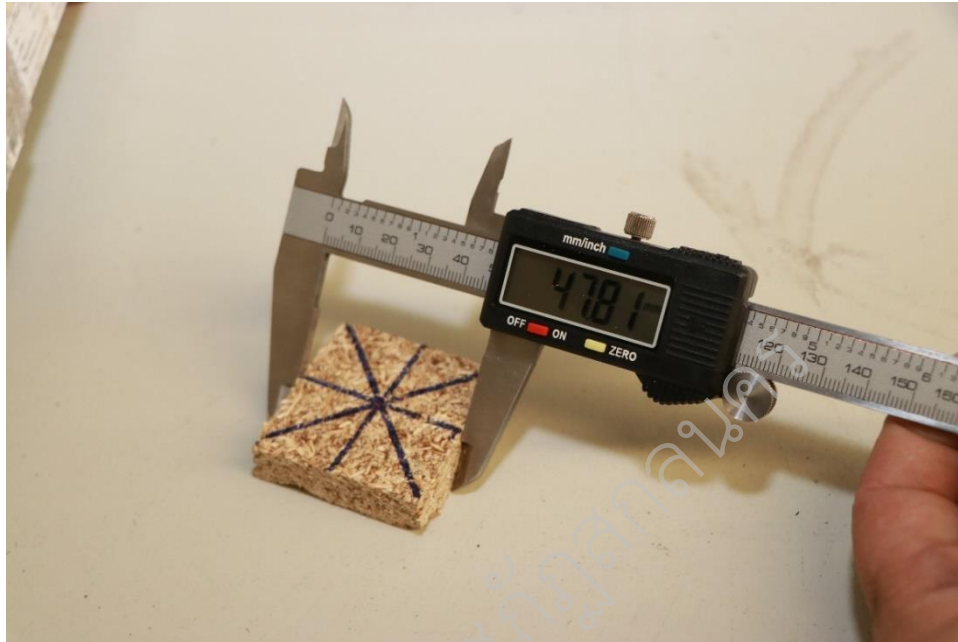


ง. เครื่องอัดแผ่นไม้ปาร์ติเกิล

ภาคผนวก ข

ภาพผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ

ภาพผลการทดสอบความหนาแน่น



ภาพการวัดขนาดตัวอย่างทดสอบ



ภาพการชั่งตัวอย่างทดสอบ

ภาพผลการทดสอบความชื้น



ภาพตัวอย่างทดสอบก่อนอบ



ภาพตัวอย่างทดสอบขณะอบ

ภาพผลการทดสอบการพองตัวของความหนา สูตร PVA

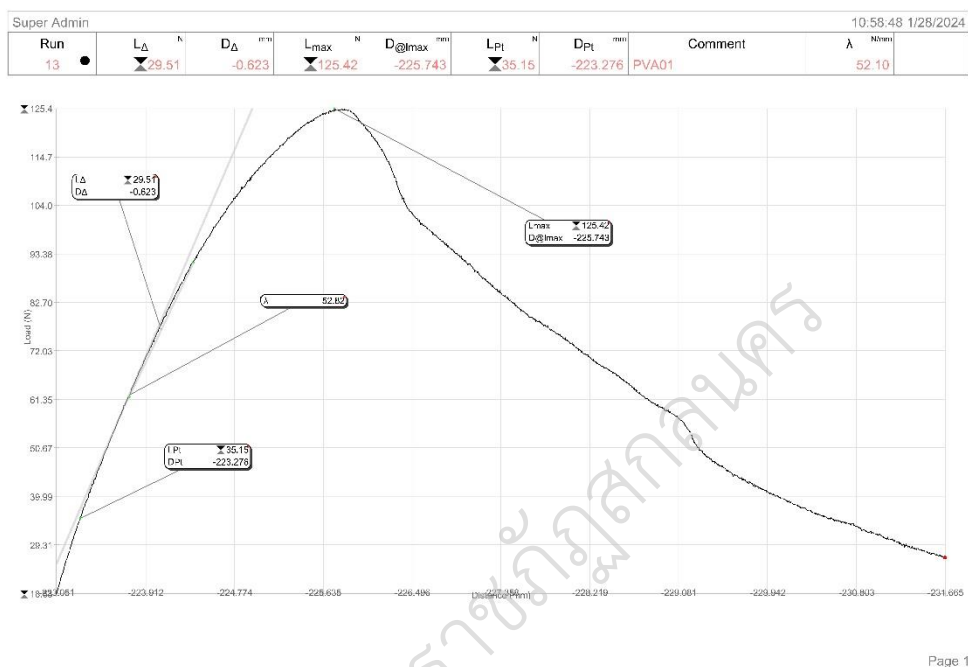


ภาพผลการทดสอบการพองตัวของความหนา สูตร SAL



ภาคผนวก ค
ภาพผลการทดสอบคุณสมบัติทางกล

ผลการทดสอบความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่นแผ่นไม้ปาร์ติเกิล สูตร PVA

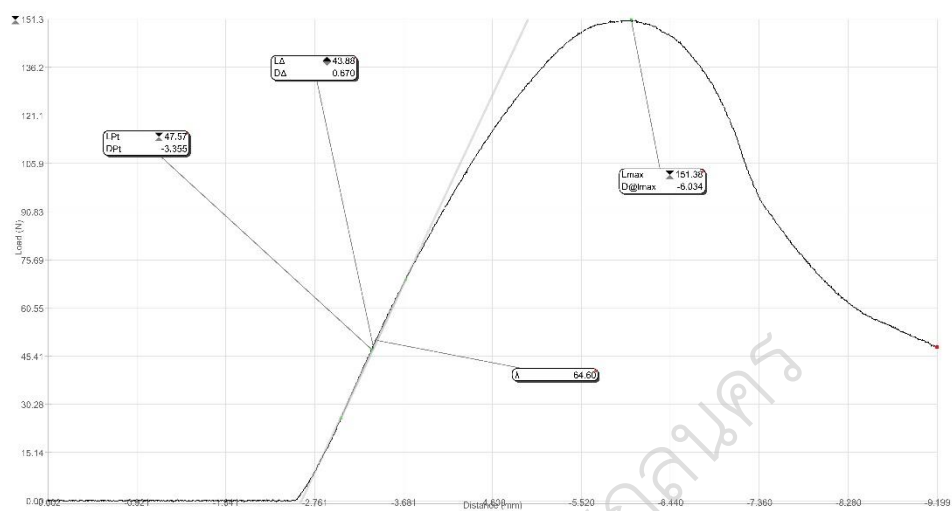


ผลการทดสอบความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่นสูตร PVA ตัวอย่างที่ 1



ลักษณะการวิบัติสูตร PVA ตัวอย่างที่ 1

Super Admin										11:01:09 1/26/2024	
Run	L_{Δ}	N	D_{Δ}	L_{max}	$D_{@lmax}$	L_{Pt}	D_{Pt}	λ	Comment		
18	27.11		0.670	151.38	-6.034	47.57	-3.355	64.60	PVA02		



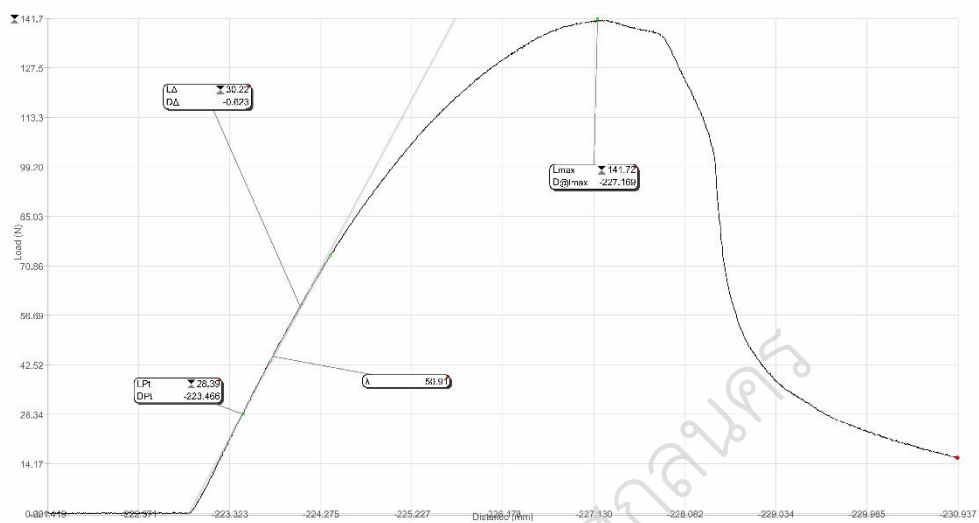
Page 1

ผลการทดสอบความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่นสูตร PVA ตัวอย่างที่ 2



ลักษณะการวิบัติสูตร PVA ตัวอย่างที่ 2

Super Admin														11:02:47 1/28/2024	
Run		L_{Δ} ^N		D_{Δ} ^{mm}		L_{max} ^N		$D_{@Lmax}$ ^{mm}		L_{Pt} ^N		D_{Pt} ^{mm}	Comment		λ ^{mm}
15	●	30.22		-0.623		141.72		-227.169		28.39		-223.466	PVA03		50.91



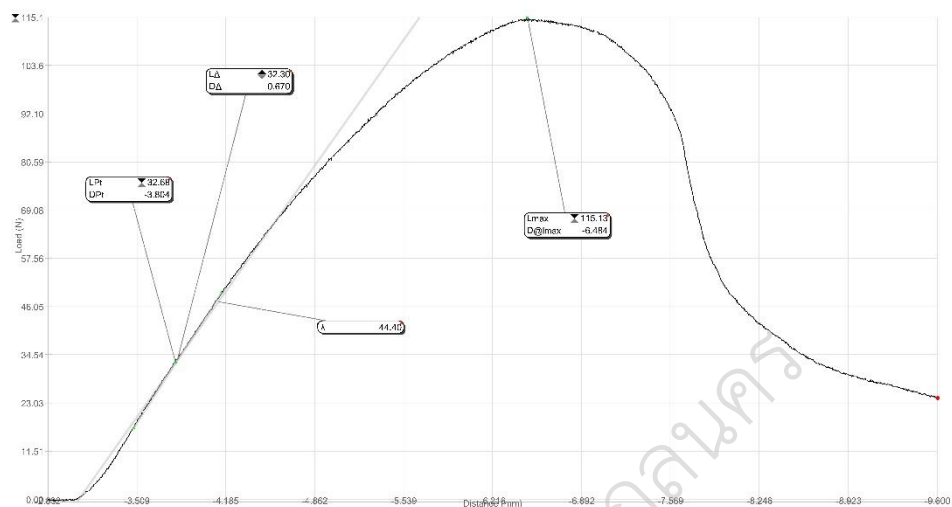
Page 1

ผลการทดสอบความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่นสูตร PVA ตัวอย่างที่ 3



ลักษณะการวิบัติสูตร PVA ตัวอย่างที่ 3

Super Admin															11:08:44 1/28/2024			
Run	20		L_{Δ}	N	D_{Δ}	0.670	L_{max}	N	$D_{@lmax}$	-6.484	L_{Pt}	N	D_{Pt}	-3.804	λ	44.40	Comment	PVA04



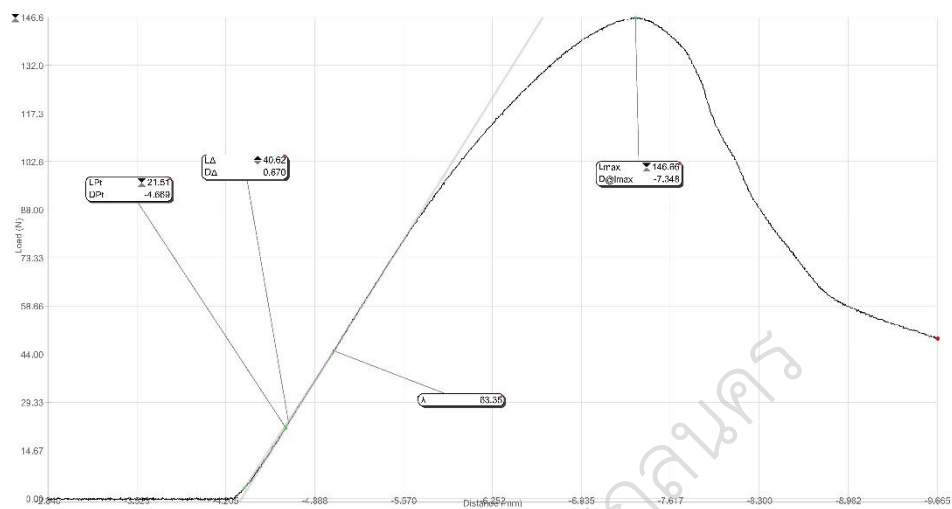
Page 1

ผลการทดสอบความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่นสูตร PVA ตัวอย่างที่ 4



ลักษณะการวิบัติสูตร PVA ตัวอย่างที่ 4

Super Admin										11:09:56 1/28/2024						
Run	L_{Δ}	N	D_{Δ}	N	L_{max}	N	$D_{@lmax}$	N	L_{Pt}	N	D_{Pt}	N	λ	N_{PVA}	Comment	
19	●	▲	40.62	0.670	▲	146.66	▼	-7.348	▼	21.51	▼	-4.669	▲	63.35	PVA05	



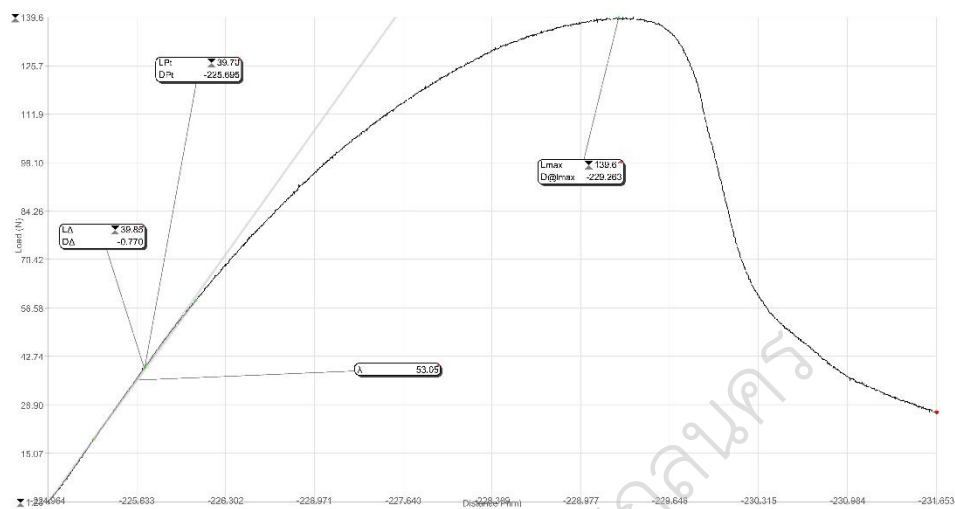
Page 1

ผลการทดสอบความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่นสูตร PVA ตัวอย่างที่ 5



ลักษณะการวิบัติสูตร PVA ตัวอย่างที่ 5

Super Admin										11:11:31 1/28/2024	
Run		L_{Δ}	D_{Δ}	L_{max}	$D@L_{max}$	L_{Pt}	D_{Pt}	Comment	λ	N(mm)	
18	●	39.85	-0.770	139.61	-229.263	39.70	-225.695	PVA06	53.05		



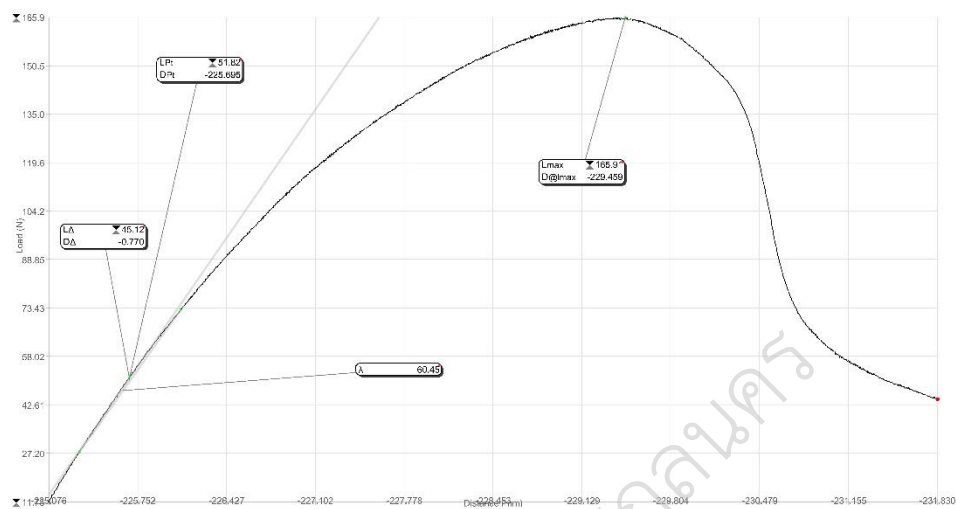
Page 1

ผลการทดสอบความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่นสูตร PVA ตัวอย่างที่ 6



ลักษณะการวิบัติสูตร PVA ตัวอย่างที่ 6

Super Admin												11:12:22 1/28/2024				
Run		L_{Δ}	N	D_{Δ}	(mm)	L_{max}	N	$D_{@Lmax}$	(mm)	L_{Pt}	N	D_{Pt}	(mm)	Comment	λ	N(mm)
19	●	45.12		-0.770		165.91		-229.459		51.82		-225.695		PVA07	60.45	



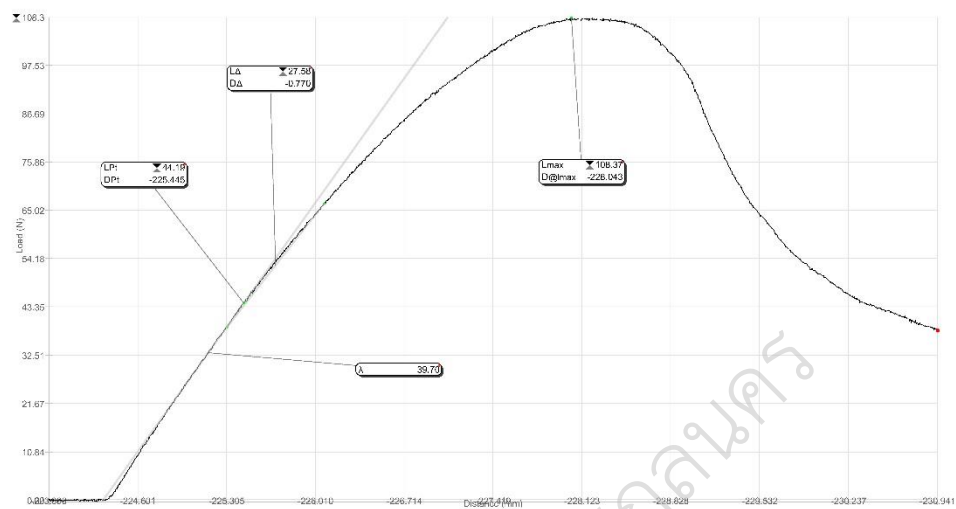
Page 1

ผลการทดสอบความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่นสูตร PVA ตัวอย่างที่ 7



ลักษณะการวิบัติสูตร PVA ตัวอย่างที่ 7

Super Admin										11:13:30 1/28/2024	
Run		L_{Δ}	D_{Δ}	L_{max}	$D_{@Lmax}$	L_{Pt}	D_{Pt}	Comment		A	N/mm
20	●	27.58	-0.770	108.37	-228.043	44.19	-225.445	PVA08		39.30	



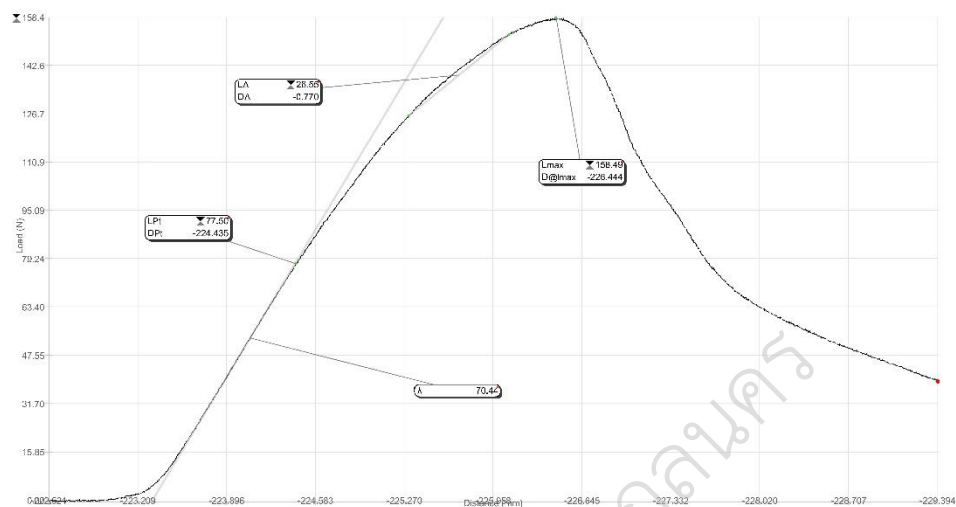
Page 1

ผลการทดสอบความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่นสูตร PVA ตัวอย่างที่ 8



ลักษณะการวิบัติสูตร PVA ตัวอย่างที่ 8

Super Admin												11:20:01 1/28/2024				
Run		L_{Δ}	N	D_{Δ}	(mm)	L_{max}	N	$D_{L_{max}}$	(mm)	L_{Pt}	N	D_{Pt}	(mm)	Comment	λ	N
23	●	26.55		-0.770		158.49		-226.444		77.50		-224.435		PVA09	61.84	



Page 1

ผลการทดสอบความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่นสูตร PVA ตัวอย่างที่ 9



ลักษณะการวิบัติสูตร PVA ตัวอย่างที่ 9

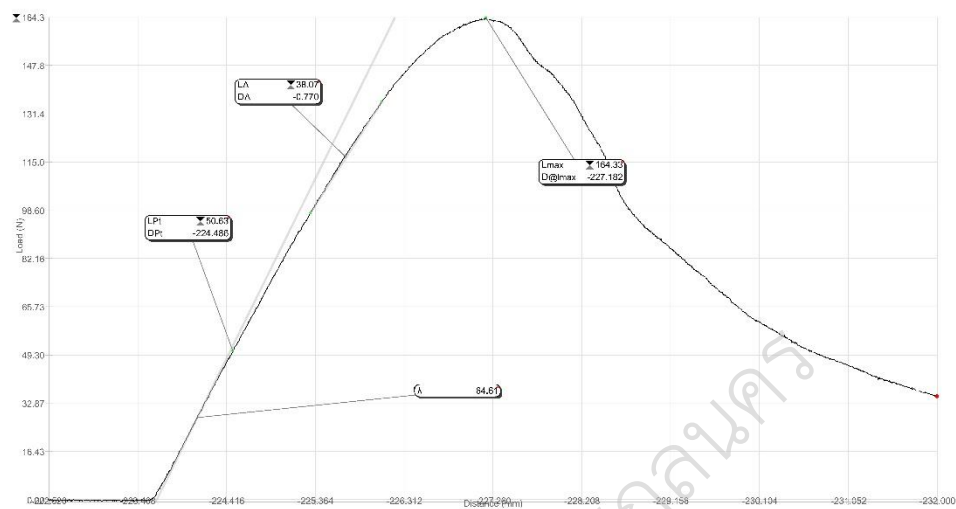


ผลการทดสอบความต้านแรงดัดและมอดุลลียืดหยุ่นสูตร PVA ตัวอย่างที่ 10



ลักษณะการวิบัติสูตร PVA ตัวอย่างที่ 10

Super Admin										11:20:42 1/28/2024	
Run		L_{Δ}	D_{Δ}	L_{max}	$D@L_{max}$	L_{Pt}	D_{Pt}	Comment	λ		
24	●	38.07	-0.770	164.33	-227.182	50.63	-224.486	PVA11	58.51		



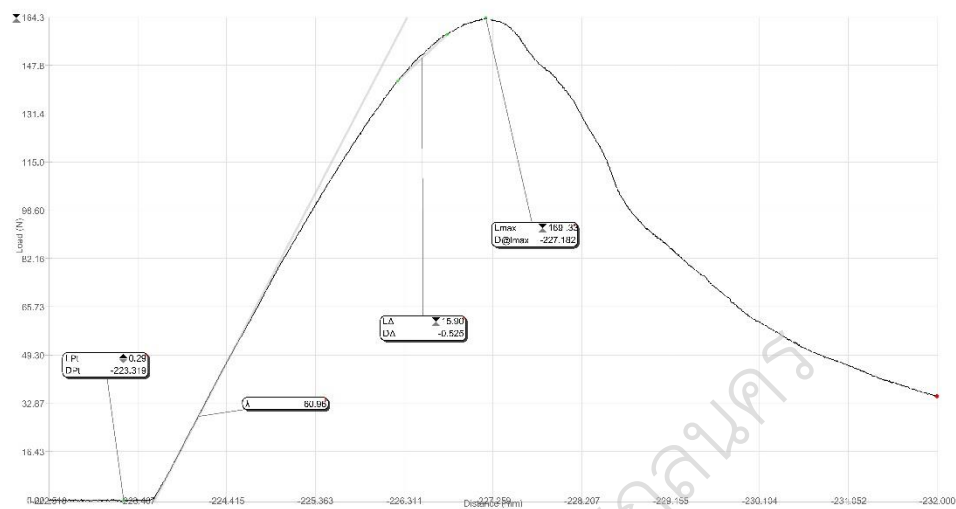
Page 1

ผลการทดสอบความต้านแรงดัดและมอดุลลียืดหยุ่นสูตร PVA ตัวอย่างที่ 11



ลักษณะการวิบัติสูตร PVA ตัวอย่างที่ 11

Super Admin													13:23:38 1/27/2024	
Run		L_{Δ}	N	D_{Δ}	L_{max}	N	D_{lmax}	N	L_{Pt}	N	D_{Pt}	Comment	λ	N/mm
25		15.90		-0.525	169.33		-227.182		0.29		-223.319	PA12	60.96	



Page 1

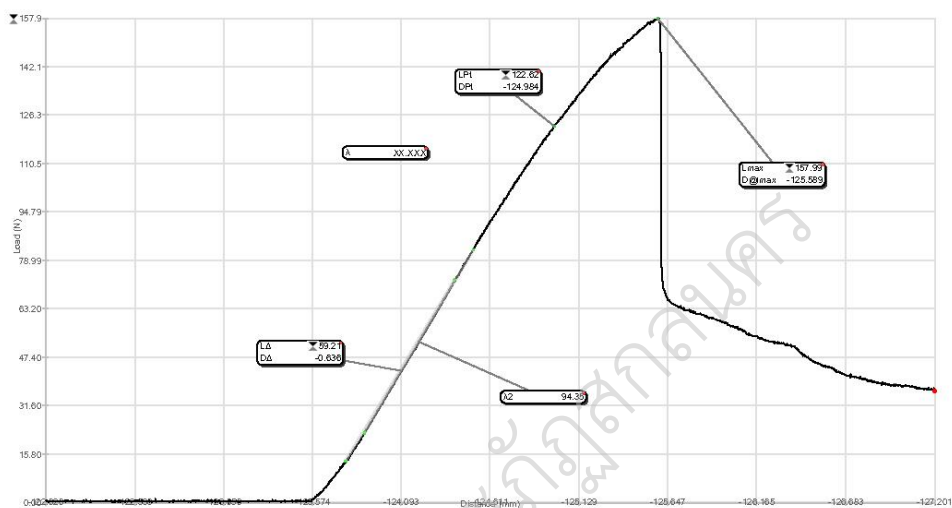
ผลการทดสอบความต้านแรงดัดและมอดุลลียืดหยุ่นสูตร PVA ตัวอย่างที่ 12



ลักษณะการวิบัติสูตร PVA ตัวอย่างที่ 12

ผลการทดสอบความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่นแผ่นไม้ปาร์ติเกิล สูตร SAL

Super Admin										10:37:50 1/28/2024	
Run	L_d	D_d	L_{max}	D_{gmax}	L_{Pl}	D_{Pl}	A	Comment	A_2		
17	59.84	-0.636	157.99	-125.989	122.62	-124.984	XX.XXX	SAL01	94.35		



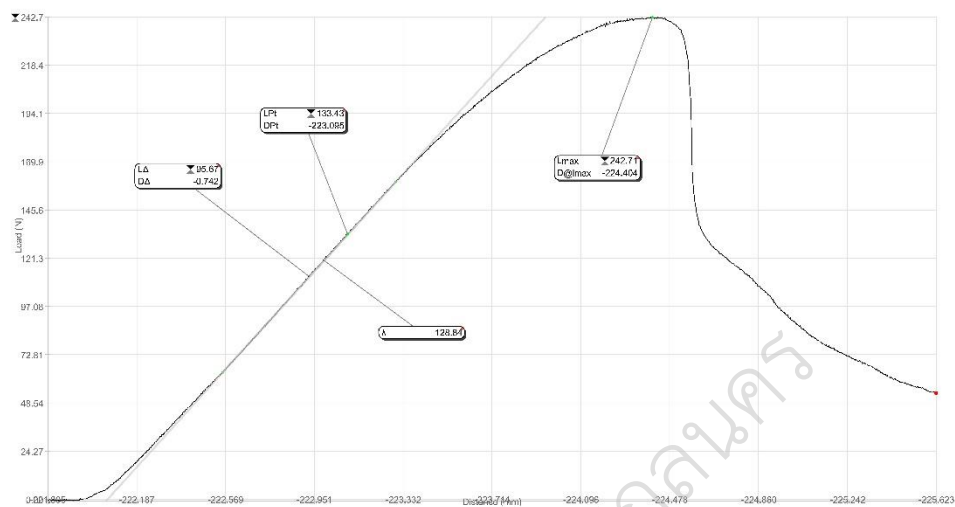
Page 1

ผลการทดสอบความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่นสูตร SAL ตัวอย่างที่ 1



ลักษณะการวัดสูตร SAL ตัวอย่างที่ 1

Super Admin											10:06:25 1/28/2024	
Run	L_{Δ}	h	D_{Δ}	L_{max}	N	$D@lmax$	L_{Pt}	N	D_{Pt}	λ	N_{mem}	Comment
2	95.67		-0.742	242.71		-224.404	133.43		-223.095	128.90		SAL02



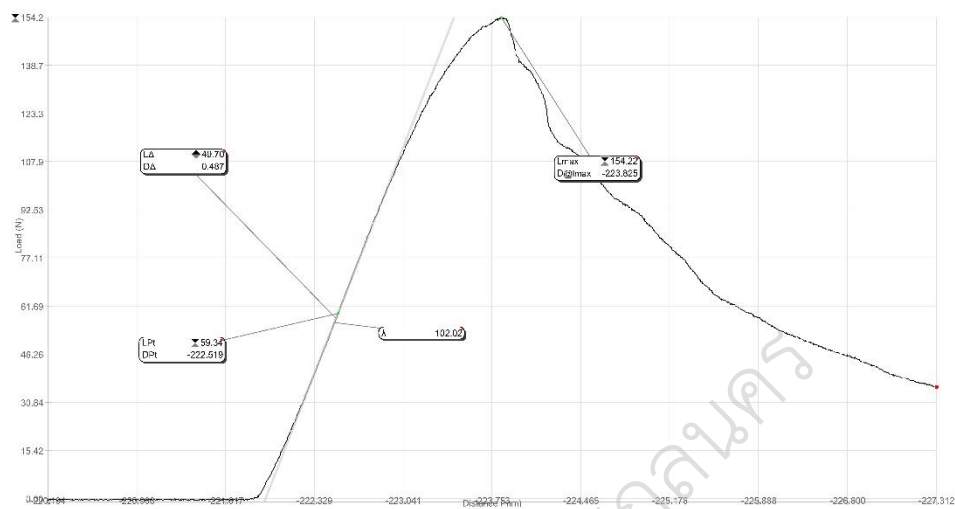
Page 1

ผลการทดสอบความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่นสูตร SAL ตัวอย่างที่ 2



ลักษณะการวิบัติสูตร SAL ตัวอย่างที่ 2

Super Admin											10:05:24 1/28/2024	
Run	L_{Δ}	N	D_{Δ}	L_{max}	N	$D@lmax$	L_{Pt}	N	D_{Pt}	λ	N_{term}	Comment
4	50.64		0.495	154.22		-223.825	59.34		-222.519	103.08		SAL03

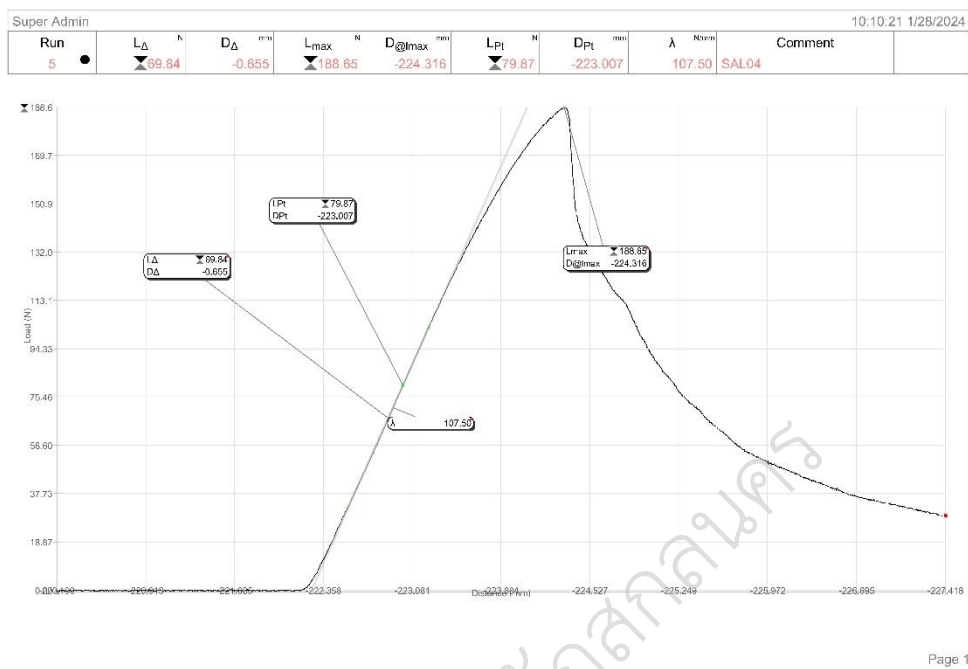


Page 1

ผลการทดสอบความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่นสูตร SAL ตัวอย่างที่ 3



ลักษณะการวิบัติสูตร SAL ตัวอย่างที่ 3

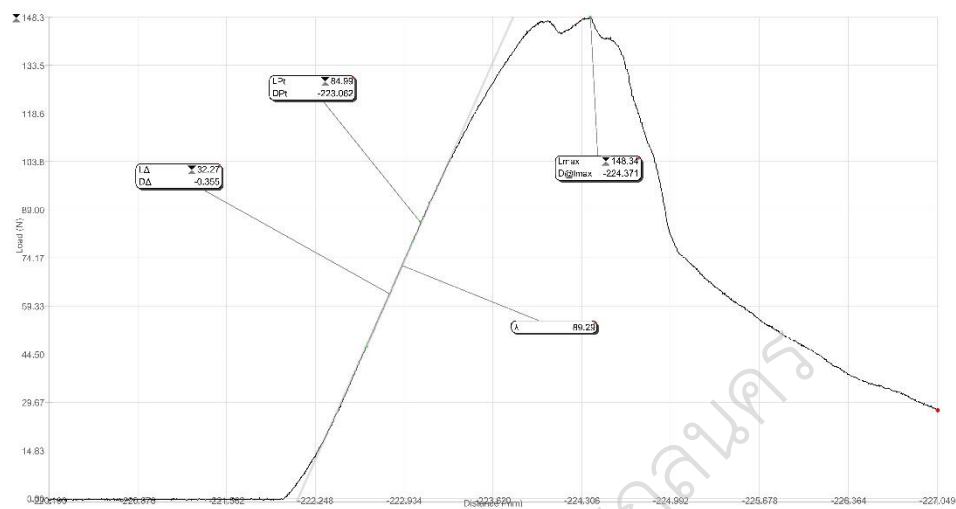


ผลการทดสอบความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่นสูตร SAL ตัวอย่างที่ 4



ลักษณะการวิบัติสูตร SAL ตัวอย่างที่ 4

Super Admin														10:18:18 1/28/2024			
Run	6	L_{Δ}	32.27	D_{Δ}	-0.355	L_{max}	148.34	$D_{@lmax}$	-224.371	L_{Pt}	84.99	D_{Pt}	-223.062	λ	88.89	Comment	SAL05



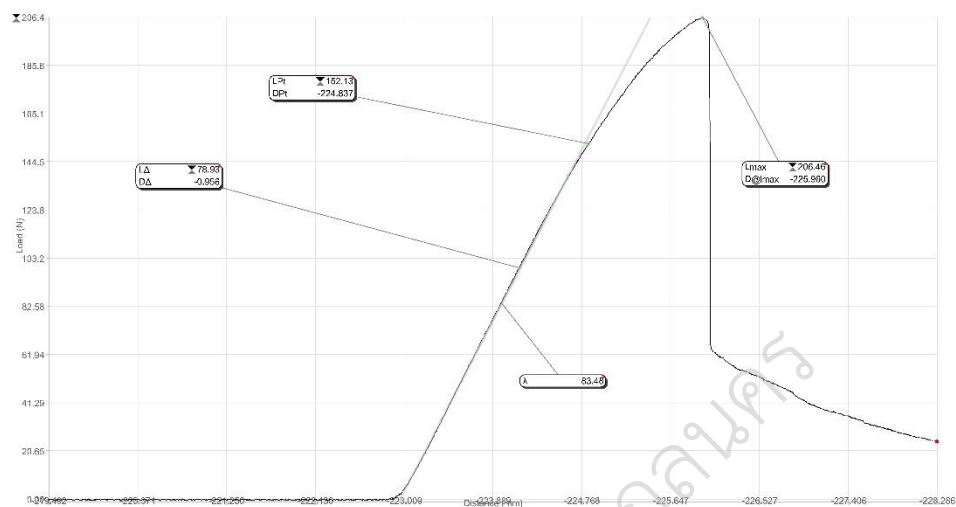
Page 1

ผลการทดสอบความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่นสูตร SAL ตัวอย่างที่ 5



ลักษณะการวิบัติสูตร SAL ตัวอย่างที่ 5

Super Admin										10:19:24 1/28/2024	
Run	L_{Δ}	D_{Δ}	L_{max}	$D_{@lmax}$	L_{Pt}	D_{Pt}	λ	Comment			
7	64.61	-0.770	206.46	-225.960	152.13	-224.837	83.48	SAL06			



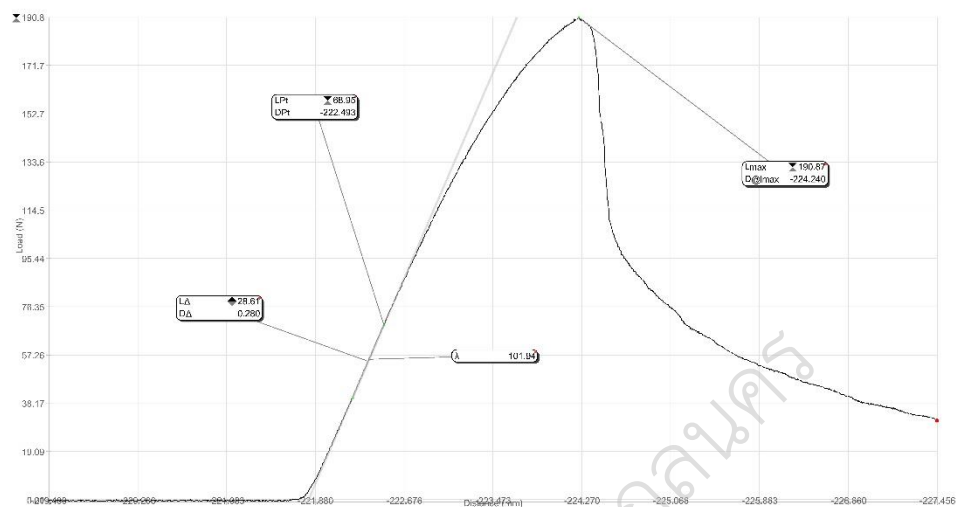
Page 1

ผลการทดสอบความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่นสูตร SAL ตัวอย่างที่ 6



ลักษณะการวิบัติสูตร SAL ตัวอย่างที่ 6

Super Admin										10:26:10 1/28/2024	
Run	L _Δ	D _Δ	L _{max}	D _{@lmax}	L _{Pt}	D _{Pt}	λ	Comment			
8	28.22	0.280	190.87	-224.240	68.95	-222.493	101.94	SAL07			



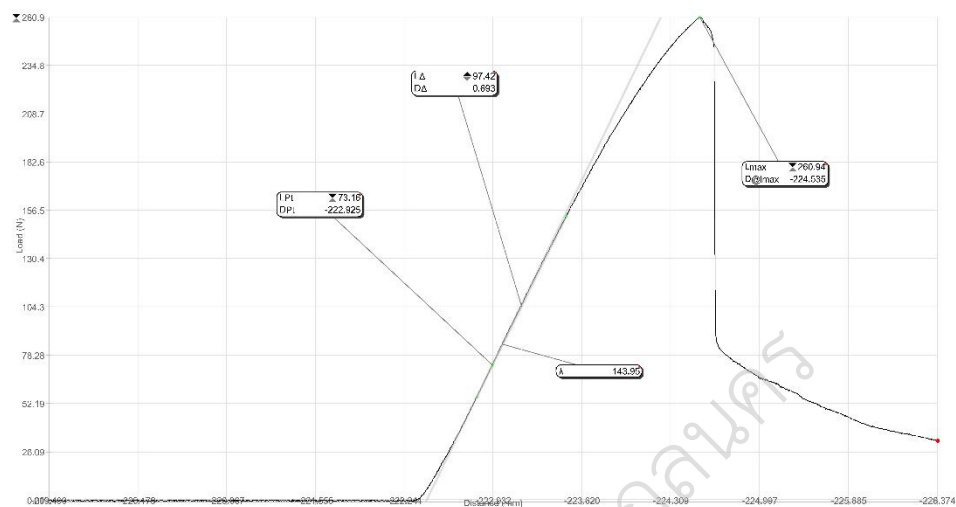
Page 1

ผลการทดสอบความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่นสูตร SAL ตัวอย่างที่ 7



ลักษณะการวิบัติสูตร SAL ตัวอย่างที่ 7

Super Admin										10:28:37 1/28/2024	
Run	L _Δ	h	D _Δ	L _{max}	N	D@lmax	L _{Pt}	N	D _{Pt}	λ	Comment
9	98.07		0.693	260.94		-224.535	73.16		-222.925	143.19	SAL08



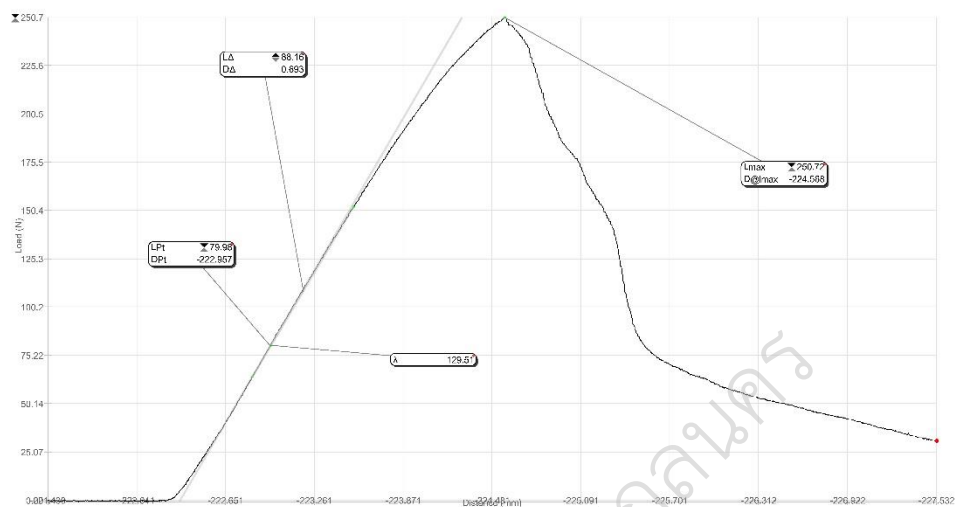
Page 1

ผลการทดสอบความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่นสูตร SAL ตัวอย่างที่ 8



ลักษณะการวิบัติสูตร SAL ตัวอย่างที่ 8

Super Admin											10:30:22 1/28/2024	
Run	L_{Δ}	N	D_{Δ}	L_{max}	N	$D_{@lmax}$	L_{Pt}	N	D_{Pt}	λ	N_{term}	Comment
10	89.44		0.693	250.72		-224.568	79.98		-222.957	129.51		SAL09

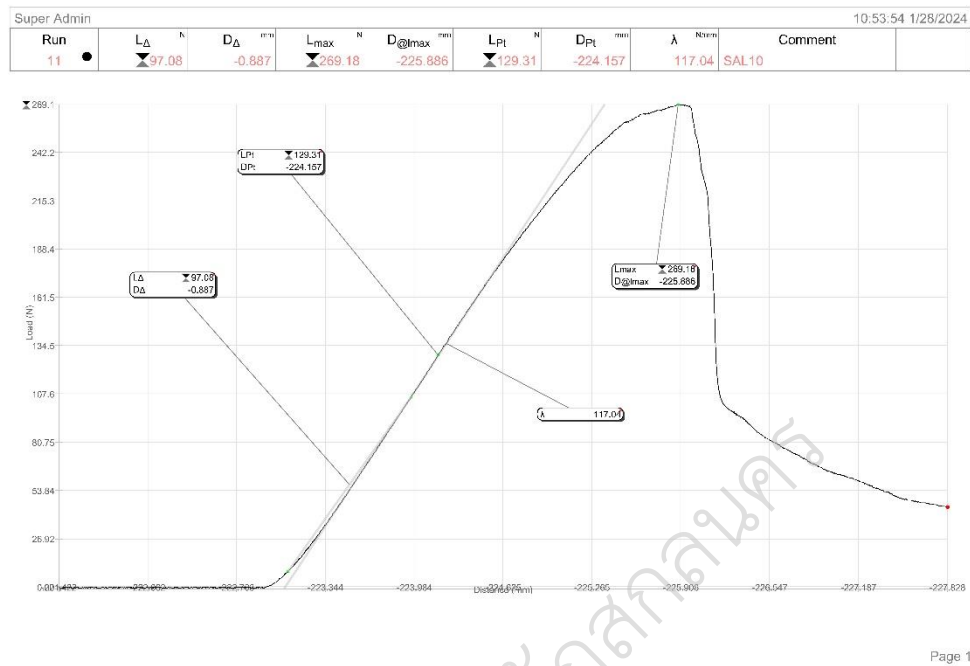


Page 1

ผลการทดสอบความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่นสูตร SAL ตัวอย่างที่ 9



ลักษณะการวิบัติสูตร SAL ตัวอย่างที่ 9



ผลการทดสอบความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่นสูตร SAL ตัวอย่างที่ 10



ลักษณะการวิบัติสูตร SAL ตัวอย่างที่ 10

Super Admin												10:55:17 1/28/2024	
Run		L_{Δ}	N	D_{Δ}	L_{max}	N	$D_{@Lmax}$	L_{Pt}	N	D_{Pt}	λ	N_{term}	Comment
12	●	74.48		0.670	166.76		-222.925	73.78		-221.648	114.48		SAL11



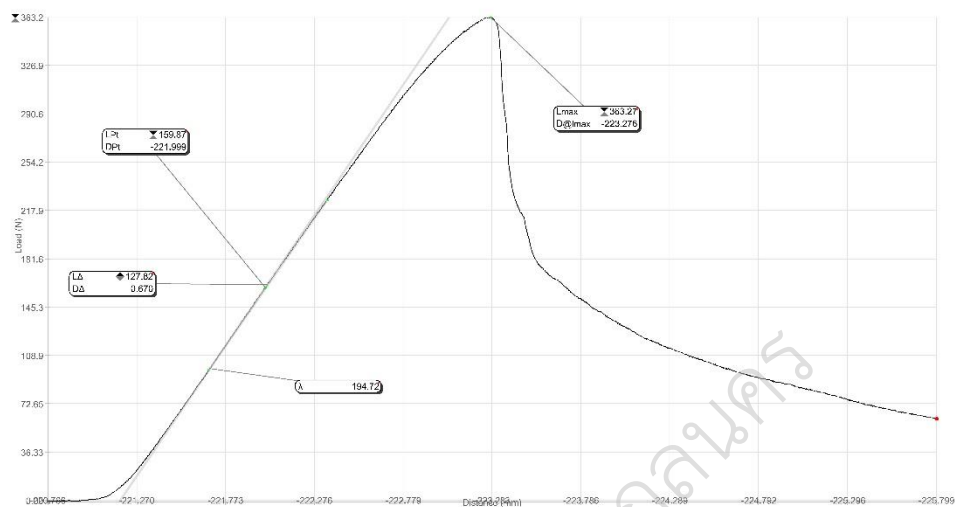
Page 1

ผลการทดสอบความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่นสูตร SAL ตัวอย่างที่ 11



ลักษณะการวิบัติสูตร SAL ตัวอย่างที่ 11

Super Admin										10:55:46 1/28/2024	
Run		L_{Δ}	D_{Δ}	L_{max}	$D_{@Lmax}$	L_{Pt}	D_{Pt}	λ		Comment	
13	●	127.82	0.670	363.27	-223.276	159.87	-221.999	194.72	SAL12		



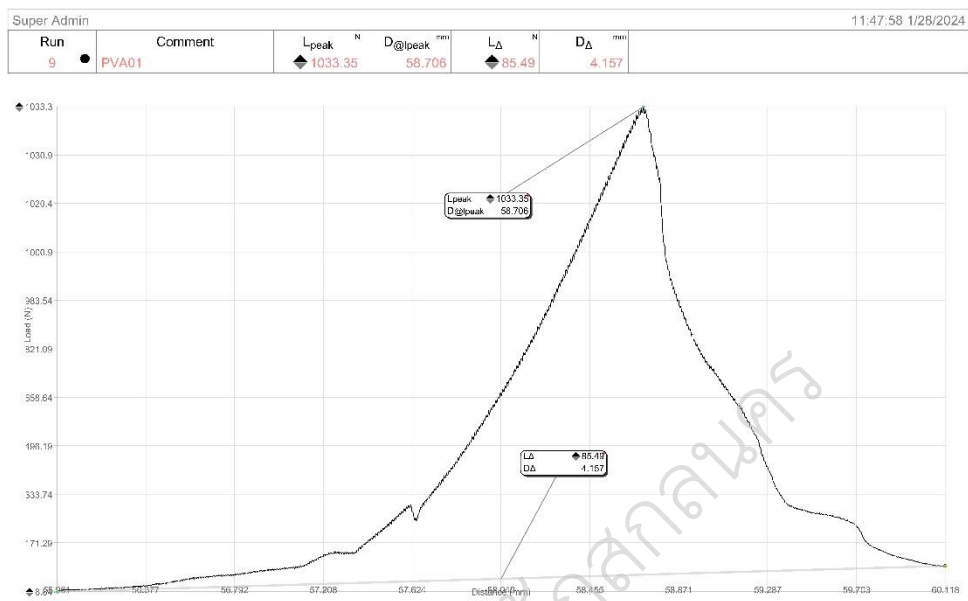
Page 1

ผลการทดสอบความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่นสูตร SAL ตัวอย่างที่ 12



ลักษณะการวิบัติสูตร SAL ตัวอย่างที่ 12

ผลการทดสอบแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าแผ่นไม้ปาร์ติเกิล สูตร PVA



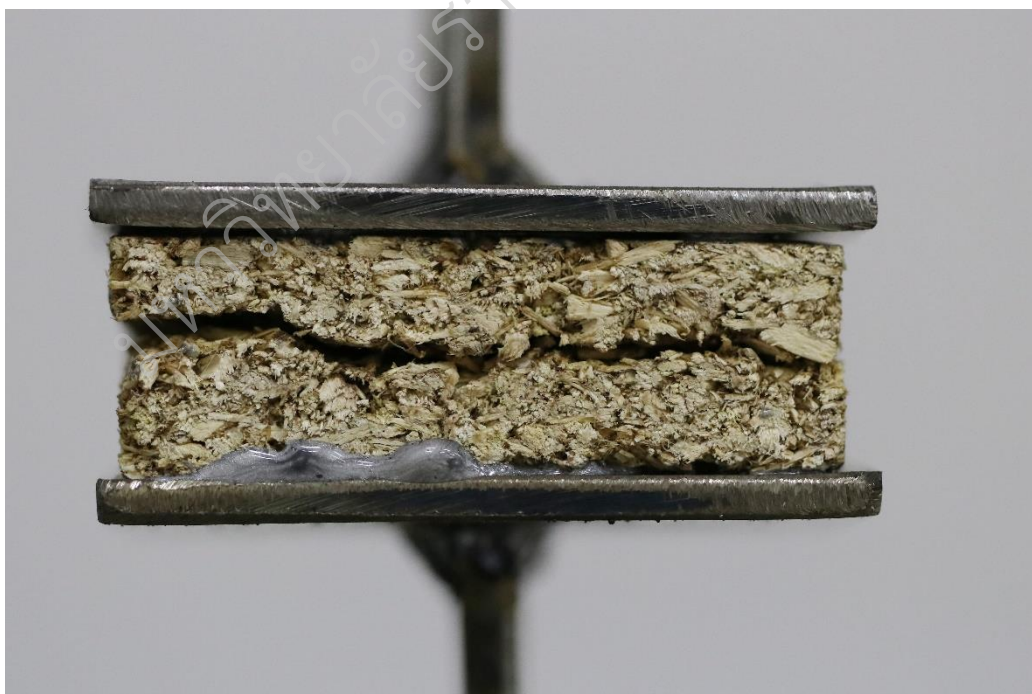
ผลการทดสอบแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าสูตร PVA ตัวอย่างที่ 1



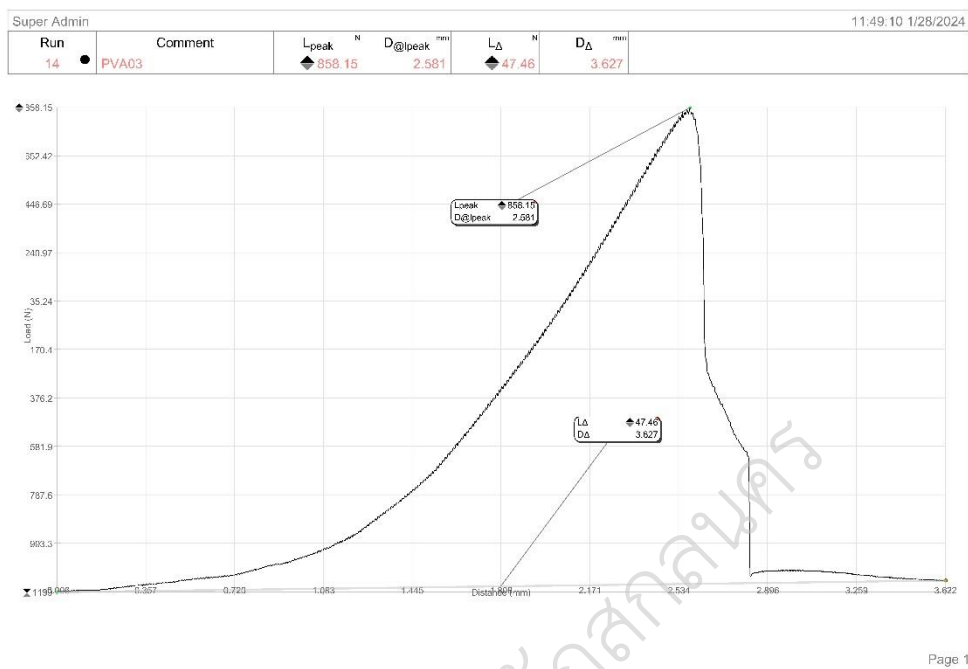
ลักษณะการวิบัติสูตร PVA ตัวอย่างที่ 1



ผลการทดสอบแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าสูตร PVA ตัวอย่างที่ 2



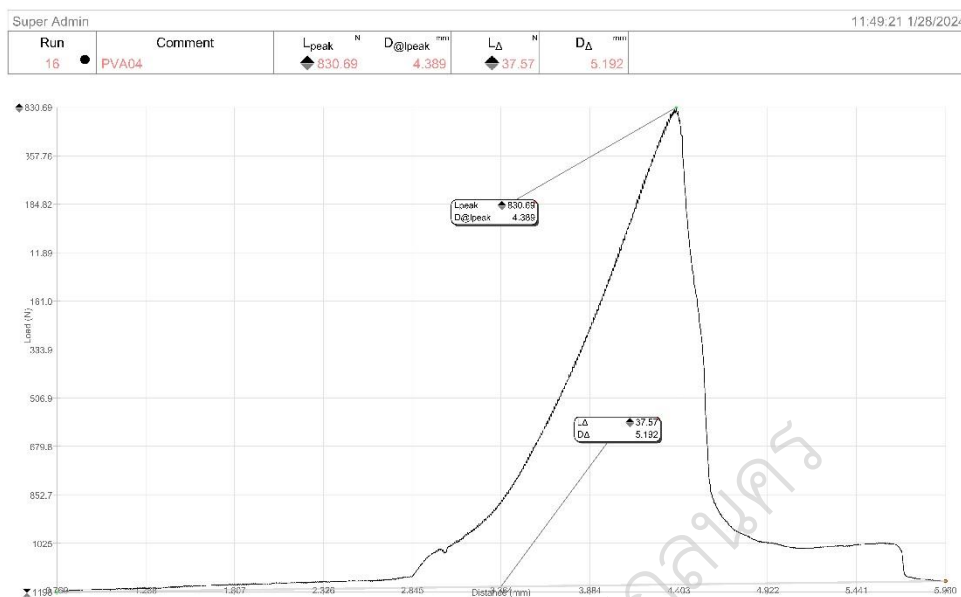
ลักษณะการวิบัติสูตร PVA ตัวอย่างที่ 2



ผลการทดสอบแรงดึงต้งฉากกับผิวหน้าสูตร PVA ตัวอย่างที่ 3



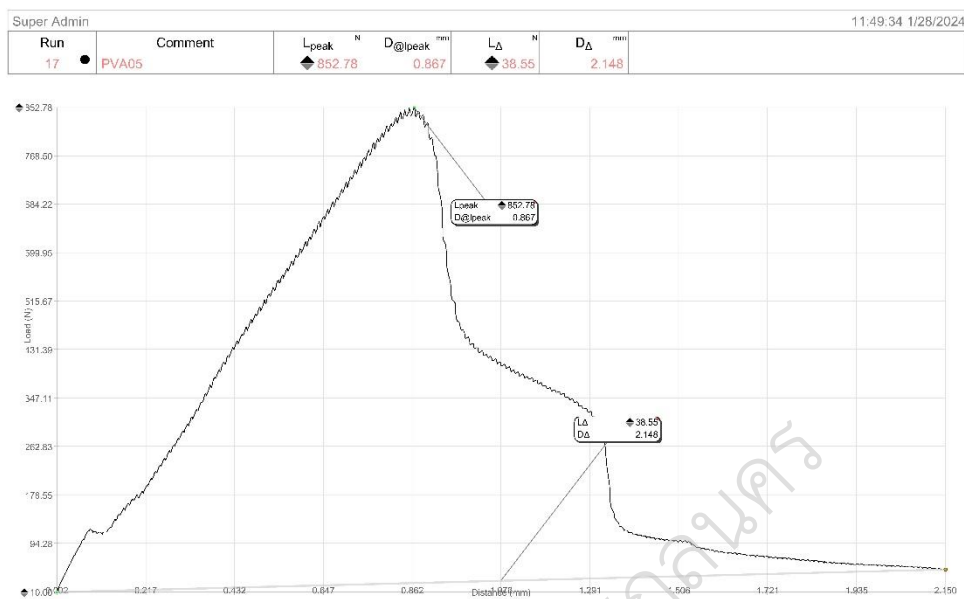
ลักษณะการวิบัติสูตร PVA ตัวอย่างที่ 3



ผลการทดสอบแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าสูตร PVA ตัวอย่างที่ 4



ลักษณะการวิบัติสูตร PVA ตัวอย่างที่ 4

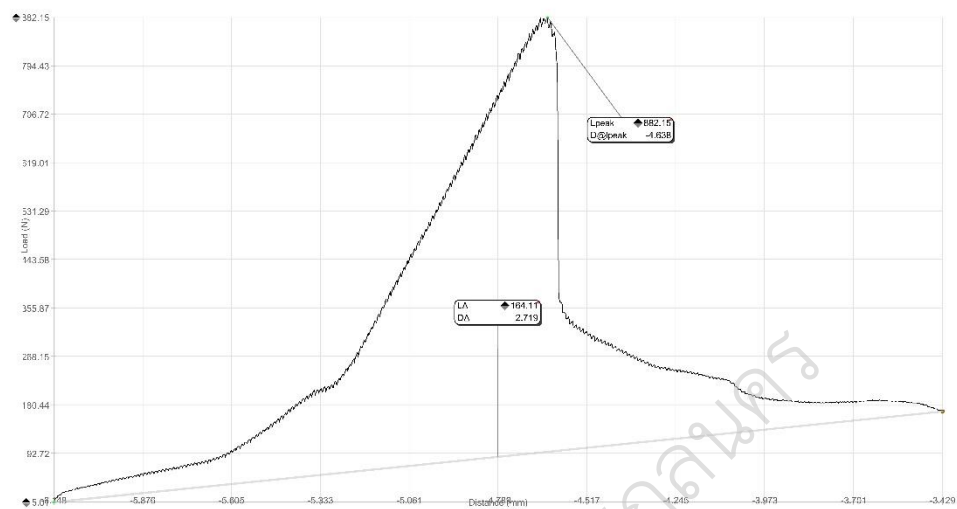


ผลการทดสอบแรงดึงต้งฉากกับผิวหน้าสูตร PVA ตัวอย่างที่ 5



ลักษณะการวิบัติสูตร PVA ตัวอย่างที่ 5

Super Admin				11:49:51 1/28/2024			
Run	Comment	L _{peak}	N	D _{@lpeak}	L _Δ	N	D _Δ
18	PVA06	882.15		-4.638	164.11		2.719

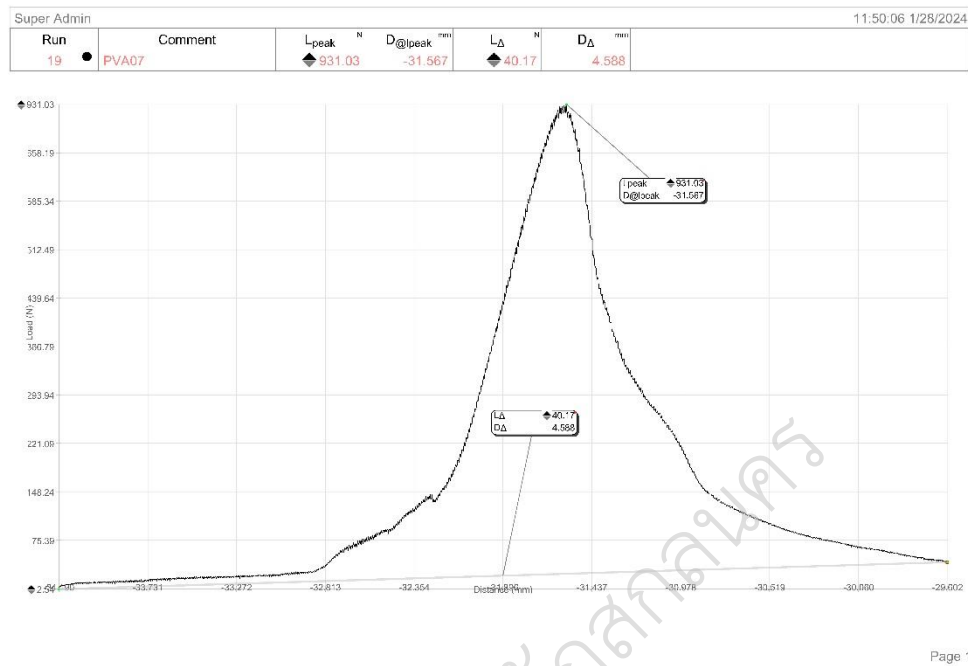


Page 1

ผลการทดสอบแรงดึงต้งฉากกับผิวหน้าสูตร PVA ตัวอย่างที่ 6



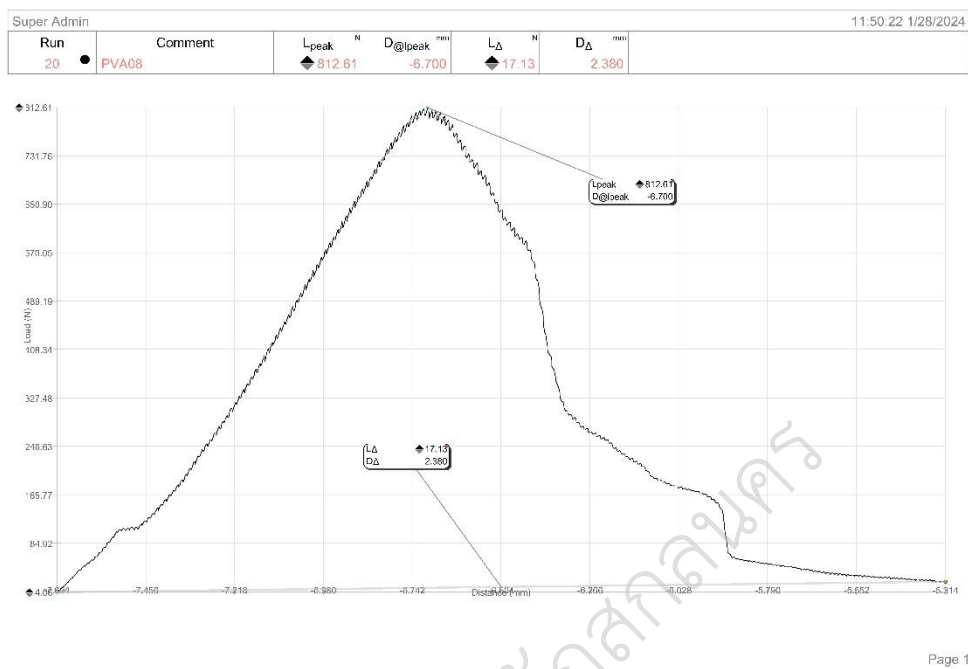
ลักษณะการวิบัติสูตร PVA ตัวอย่างที่ 6



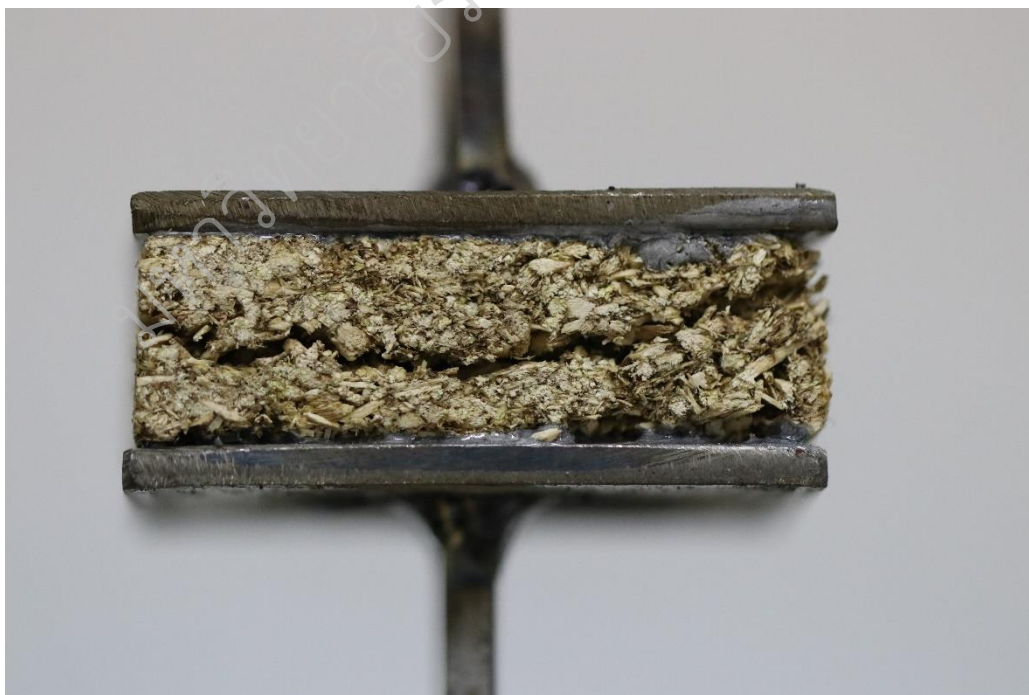
ผลการทดสอบแรงดึงต้งฉากกับผิวหน้าสูตร PVA ตัวอย่างที่ 7



ลักษณะการวิบัติสูตร PVA ตัวอย่างที่ 7



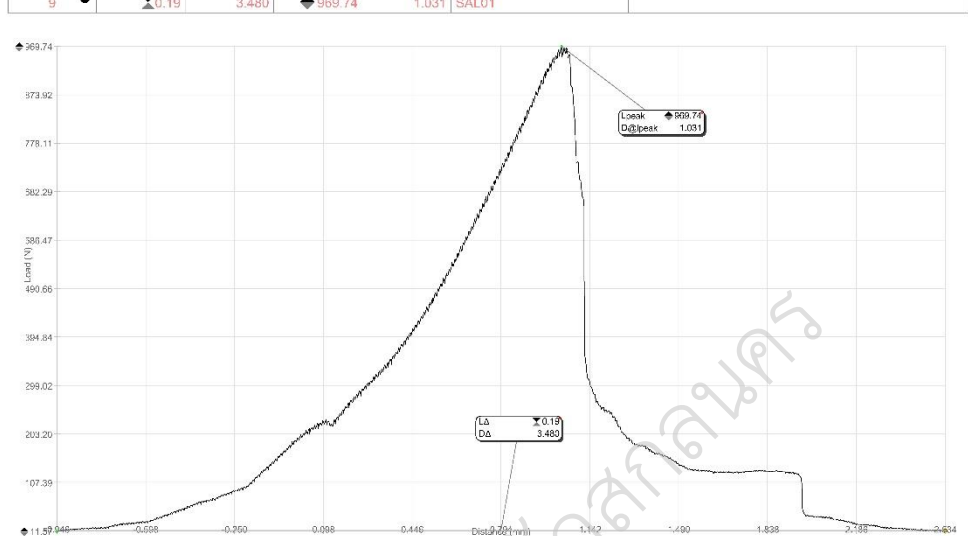
ผลการทดสอบแรงดึงต้งฉากกับผิวหน้าสูตร PVA ตัวอย่างที่ 8



ลักษณะการวิบัติสูตร PVA ตัวอย่างที่ 8

ผลการทดสอบแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าแผ่นไม้ปาร์ติเกิล สูตร SAL

Super Admin										11:56:23 1/28/2024	
Run		L_{Δ}	N	D_{Δ}	m	L_{peak}	N	$D_{@peak}$	mm	Comment	

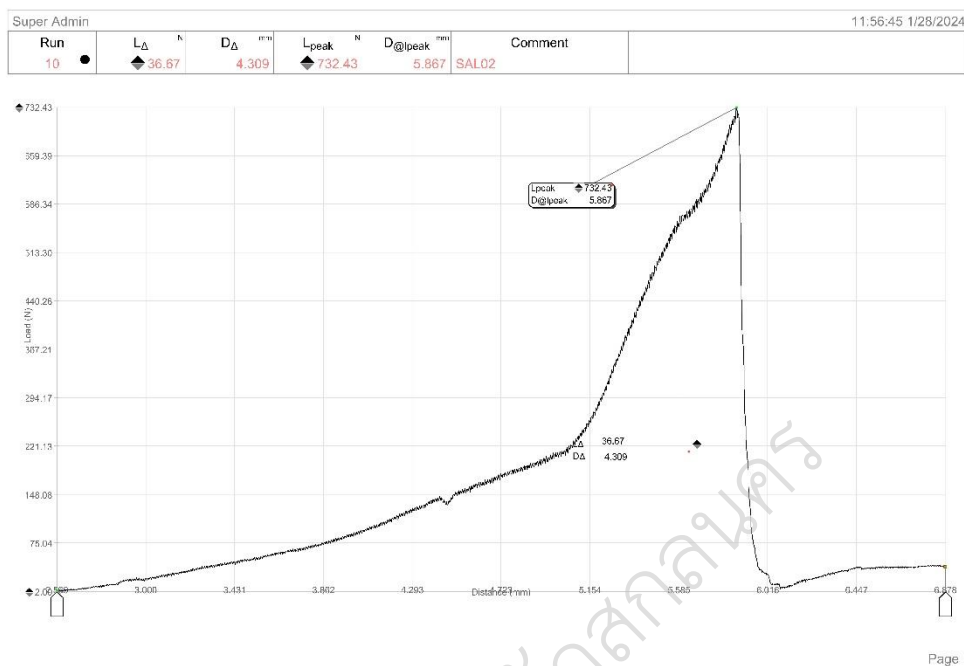


Page 1

ผลการทดสอบแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าสูตร SAL ตัวอย่างที่ 1



ลักษณะการวิบัติสูตร SAL ตัวอย่างที่ 1

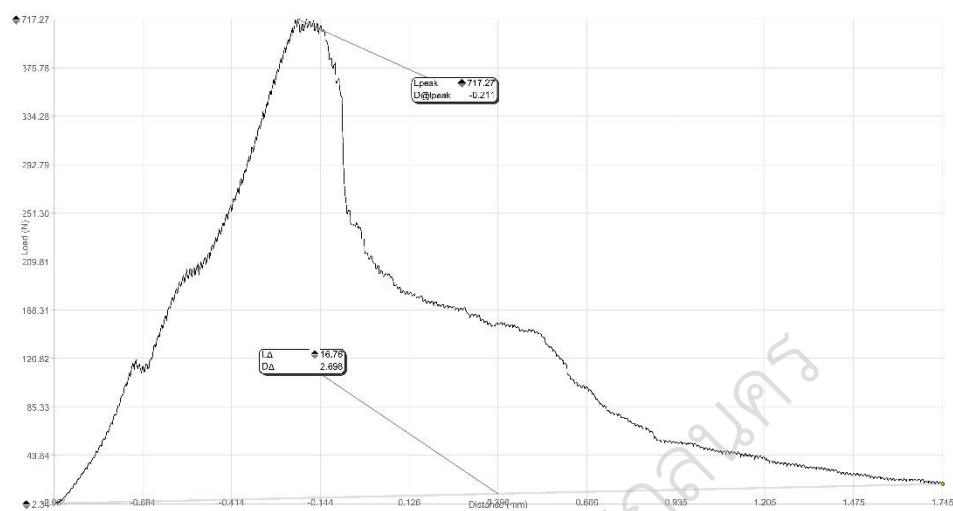


ผลการทดสอบแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าสูตร SAL ตัวอย่างที่ 2



ลักษณะการวิบัติสูตร SAL ตัวอย่างที่ 2

Super Admin						11:57:11 1/28/2024	
Run	L Δ	h	D Δ	L Δ	D Δ	Comment	
11	16.76		2.698	717.27	-0.211	SAL03	

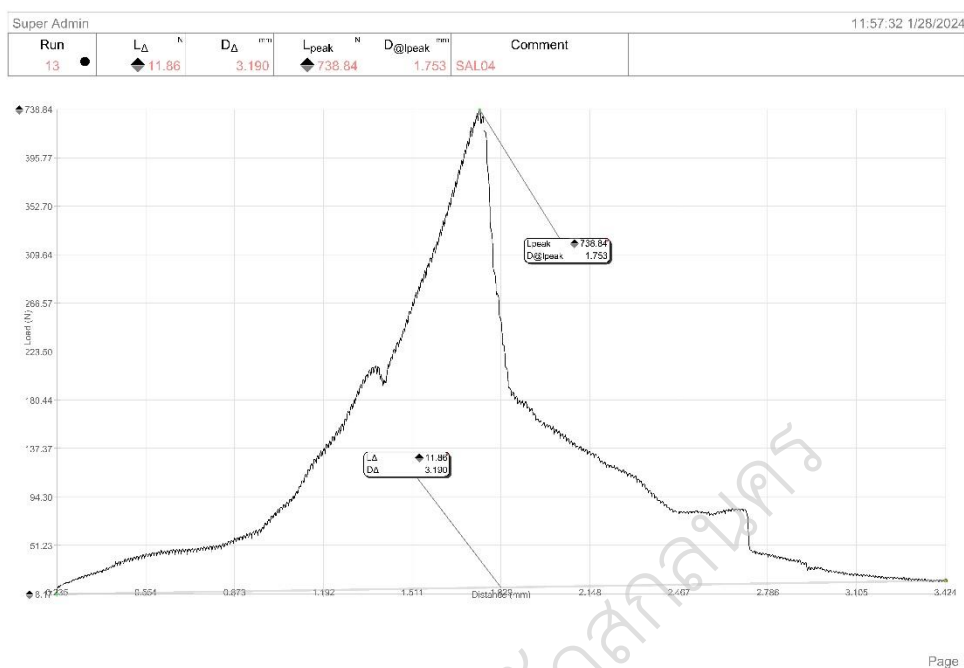


Page 1

ผลการทดสอบแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าสูตร SAL ตัวอย่างที่ 3



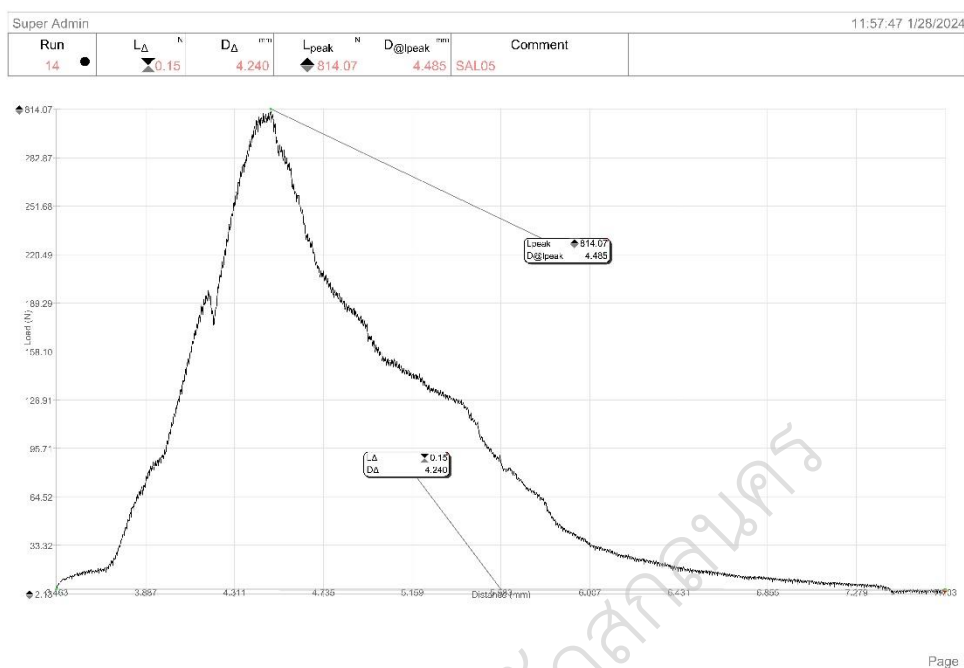
ลักษณะการวิบัติสูตร SAL ตัวอย่างที่ 3



ผลการทดสอบแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าสูตร SAL ตัวอย่างที่ 4



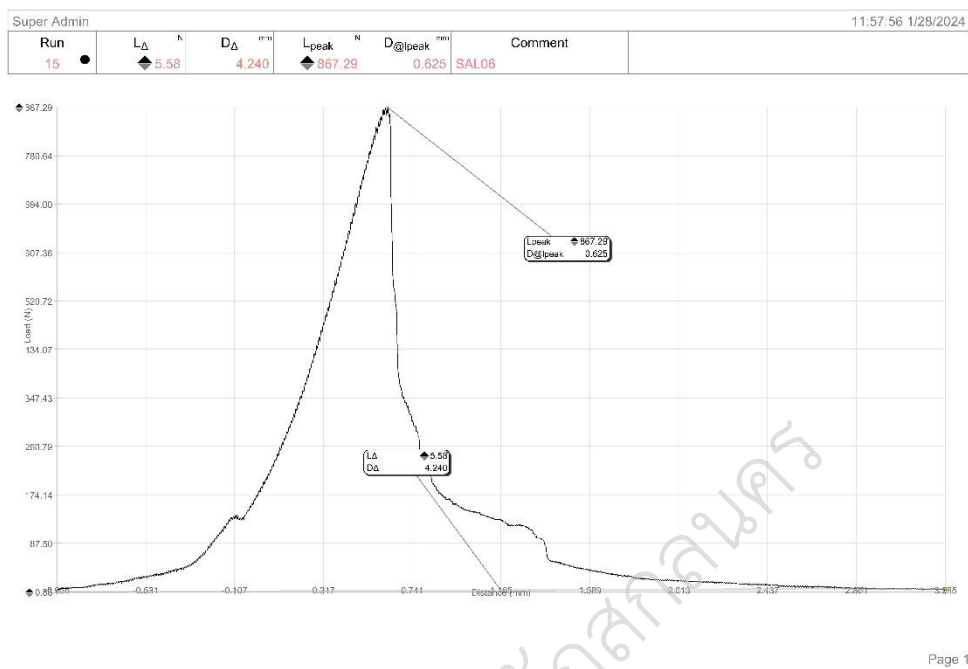
ลักษณะการวิบัติสูตร SAL ตัวอย่างที่ 5



ผลการทดสอบแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าสูตร SAL ตัวอย่างที่ 5



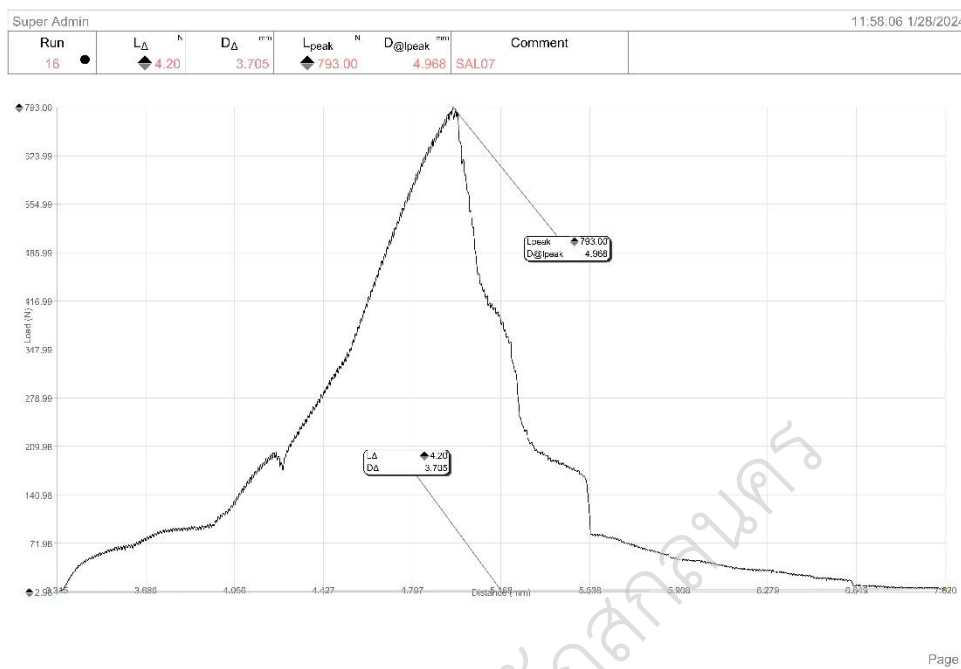
ลักษณะการวิบัติสูตร SAL ตัวอย่างที่ 5



ผลการทดสอบแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าสูตร SAL ตัวอย่างที่ 6



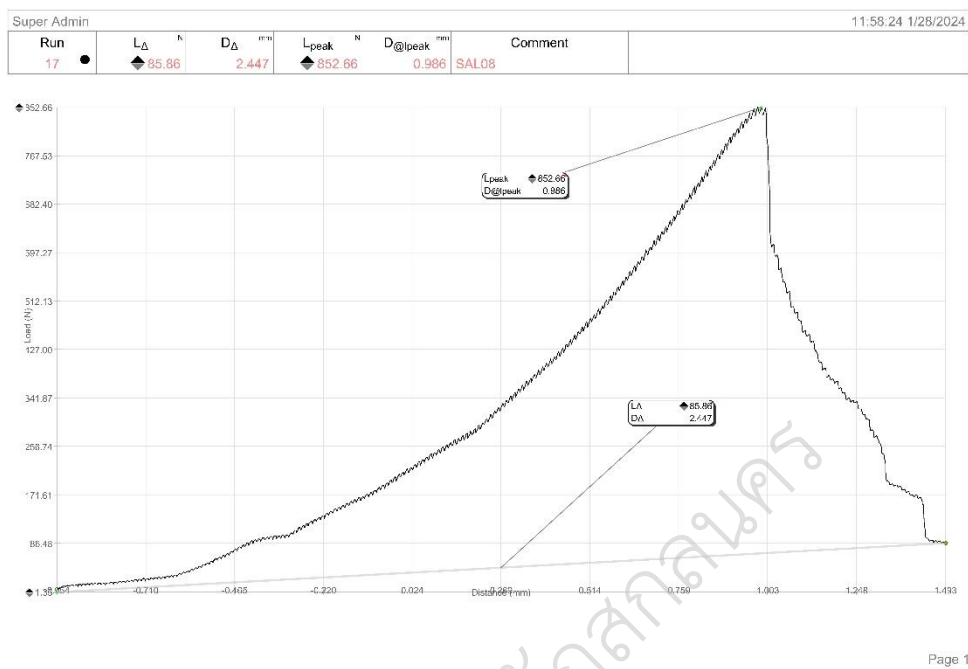
ลักษณะการวิบัติสูตร SAL ตัวอย่างที่ 6



ผลการทดสอบแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าสูตร SAL ตัวอย่างที่ 7



ลักษณะการวิบัติสูตร SAL ตัวอย่างที่ 7



ผลการทดสอบแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าสูตร SAL ตัวอย่างที่ 8



ลักษณะการวิบัติสูตร SAL ตัวอย่างที่ 8

ประวัติย่อของผู้วิจัย

ประวัติย่อของผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นายปรมินทร์ นิลจินดา
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 22 เดือนสิงหาคม ปี พ.ศ. 2521
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	56/2 ซอยนิลจินดา 5 ถนนนิตโย ต.ธาตุเชิงชุม อำเภอเมืองสกลนคร จังหวัดสกลนคร 47000
ตำแหน่งปัจจุบัน	เจ้าของกิจการ
สถานที่ทำงาน	เพ็ญพอดีอะพาร์ตเมนต์
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2539	ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนขอนแก่นวิทยายน อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น
พ.ศ. 2545	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
พ.ศ. 2567	ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
ประวัติการทำงาน	-