การเตรียมเส้นใยธรรมชาติเพื่อสิ่งเพิ่มพูนสภาพแวดล้อม

สำหรับสัตว์ทดลองประเภทฟันแทะโดยใช้จุลินทรีย์

PREPARATION OF NATURAL FIBRE ENRICHMENT FOR LABORATORY RODENTS USING MICROORGANISM

นายทิวทรรศน์ มงคลชัย รหัสนิสิต 5836601 6

นางสาวณัชนินทร์ ตางาม รหัสนิสิต 5836657 3

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2561

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน การเตรียมเส้นใยธรรมชาติเพื่อสิ่งเพิ่มพูนสภาพแวดล้อมสำหรับสัตว์ทดลองประเภทฟันแทะโดยใช้จุลินทรีย์

ผู้ดำเนินโครงงาน นายทิวทรรศน์ มงคลชัย รหัสนิสิต 58366016

นางสาวณัชนินทร์ ตางาม รหัสนิสิต 58366573

ที่ปรึกษาโครงงาน ดร.นพวรรณ โม้ทอง

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ปีการศึกษา 2561

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

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

.....กรรมการ
(ดร.สุชาดา อยู่แก้ว)

.....กรรมการ
(ดร.วัฒนชัย เยาวรัตน์)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การเตรียมเส้นใยธรรมชาติเพื่อสิ่งเพิ่มพูนสภาพแวดล้อมสำหรับสัตว์ทดลองประเภทฟันแทะโดยใช้จุลินทรีย์	
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายทิวทรรศน์ มงคลชัย	รหัสนิสิต 58366016
	นางสาวณัชนินทร์ ตางาม	รหัสนิสิต 58366573
ที่ปรึกษาโครงงาน	ดร.นพวรรณ โม้ทอง	
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี	
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ	
ปีการศึกษา	2561	

.....

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้มุ่งเน้นศึกษากระบวนการเตรียมเส้นใยธรรมชาติโดยใช้จุลินทรีย์ไตรโค-เดอร์มาหลังการหมักบ่ม โดยในส่วนแรกเป็นการศึกษาในเรื่ององค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยกล้วย ได้แก่ การศึกษาผลของปริมาณจุลินทรีย์ต่อองค์ประกอบของเส้นใยกล้วยหลังการหมักบ่ม โดยใช้ปริมาณของจุลินทรีย์เท่ากับ 20 50 และ 100 กรัม ตามลำดับ และ การศึกษาผลของระยะเวลาที่ใช้ในการหมักบ่มต่อองค์ประกอบของเส้นใยกล้วย โดยระยะเวลาที่ใช้ในการหมักบ่มเท่ากับ 3 5 และ 7 วัน ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่า ระยะเวลาที่ใช้ในการหมักบ่มมีผลต่อการลดลงขององค์ประกอบในเส้นใยกล้วยมากกว่าปริมาณของจุลินทรีย์ที่ใช้การหมักบ่ม ในส่วนที่สองเป็นการศึกษาเรื่องความสามารถในการดูดซึมน้ำของแผ่นชิ้นงาน โดยผลการทดลองพบว่า แผ่นชิ้นงานทั้งหมดมีอัตราการดูดซึมน้ำเฉลี่ยอยู่ภายในช่วง 5 วินาที ซึ่งเป็นช่วงที่อยู่ในมาตรฐานการซึมน้ำของวัสดุรองนอนสำหรับสัตว์ทดลองประเภทฟันแทะที่ต้องมีการซึมน้ำอย่างรวดเร็วเพื่อรองรับการขับถ่ายของสัตว์ทดลองได้ เมื่อเปรียบเทียบจากปริมาณความต้องการน้ำของสัตว์ทดลอง และในส่วนสุดท้ายเป็นการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นชิ้นงานที่ขึ้นรูปจากเส้นใยกล้วยพบว่า แผ่นชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์มีความสามารถทนต่อความต้านทานแรงดึง และ มีคุณสมบัติในการยืด เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการเตรียมเส้นใยกล้วยที่ไม่ผ่านการหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์

Title	Preparation of Natural Fibre Enrichment for Laboratory Rodents Using Microorganism	
Author	Tiewtad Mongkolchai	58366016
	Natchanin Tangam	58366573
Advisor	Dr. Noppawan Motong	
Academic Paper	Undergraduate Thesis B.Eng (Chemical Engineering Faculty of Engineering, Naresuan University)	

Abstract

This thesis focuses on the study of the process of preparing natural fibers by using the trichroderma after fermentation. The first part is the study of the chemical composition of banana fibers, including Study on the effect of microorganism amounts on fibers composition after fermentation By using the amount of trichroderma to be 20, 50 and 100 grams, respectively, and studying the effect of the fermentation time on the composition of the fibers by using the fermentation time of 3, 5 and 7 days, respectively. The fermentation time has a significant effect on the reduction of banana fiber composition than the amount of microorganism fermentation. In the second part, the study of water absorption capacity of the work piece. The results showed that all work pieces found that the average water absorption rate was within 5 seconds, which is in the water absorption standard of the sleeping material for experimental animals that require rapid seepage. To support the excretion of experimental animals when compared with the amount of water requirement of the experimental animals and in the last part is to study the mechanical properties of the work piece forming fibers from banana find work piece through fermentation by microorganism have the ability to tensile strength and elongation properties. When compared with the process of preparing banana fibers that is not fermented by microorganism.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างสูงจาก ดร. นพวรรณ โม้ทอง อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน รวมถึงดร.สุชาดา อยู่แก้ว และ ดร.วัฒนชัย เยาวรัตน์ อาจารย์กรรมการโครงงาน ที่ได้ให้คำแนะนำ คำปรึกษา แนะนำวิธีแก้ไขปัญหา รวมถึงให้ข้อคิดเห็นต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ ตลอดจนการดูแลและเอาใจใส่ ติดตามการดำเนินงานมาโดยตลอด และขอขอบพระคุณอาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยนเรศวรทุกท่าน ที่ได้ให้วิชาความรู้ และอบรมสั่งสอน เพื่อนำความรู้ที่ได้มาประยุกต์ใช้ในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

นอกจากนี้ต้องขอขอบคุณเกษตรกรสวนกล้วยจังหวัดพิษณุโลก ที่ได้ให้ความกรุณาเอื้อเฟื้อต้นกล้วยเพื่อนำมาใช้ในการทำการทดลองในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นอย่างดีมาตลอด

สุดท้ายนี้ผู้ดำเนินโครงงานใคร่ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ได้ให้การดูแล อบรมสั่งสอน และให้กำลังใจด้วยดีเสมอมา ตลอดการดำเนินโครงงานจนสำเร็จการศึกษา

ผู้จัดทำโครงงาน

ทิวทรรศน์ มงคลชัย

ณัชนินทร์ ตางาม

มิถุนายน 2562

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์ ..... ก

บทคัดย่อ ..... ข

Abstract ..... ค

กิตติกรรมประกาศ ..... ง

สารบัญ ..... จ

สารบัญรูป ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

บทที่ 1 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 2

1.4 สถานที่ในการดำเนินงานวิจัย 3

1.5 ระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย 3

บทที่ 2 5

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 5

2.1.1 ความรู้เกี่ยวกับการเลี้ยงสัตว์ทดลอง 5

2.1.2 ความรู้เกี่ยวกับพืชเส้นใยที่ใช้ในการผลิตเยื่อ 5

2.1.3 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยธรรมชาติ 7

2.1.4 การใช้เส้นใยจากพืชในงานหัตถกรรม 9

2.1.5 คุณสมบัติเชิงกายภาพและเชิงกล 9

2.1.6 การย่อยสลายองค์ประกอบภายในพืช 10

2.1.7 การควบคุมเชื้อจุลินทรีย์ (Control of microorganism) 13

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 14

2.3 นิยามศัพท์เฉพาะ 24
2.3.1 สิ่งเพิ่มพูนสภาพแวดล้อมของสัตว์ทดลอง (Laboratory animals enrichment)...24
2.3.2 สัตว์ทดลอง (Laboratory animals)....24
2.3.3 อุปกรณ์ในการเลี้ยงหนูทดลอง (Rodent laboratory enrichment) 24
2.3.4 เส้นใยพืช (Plant fiber)....26
2.3.5 เยื่อ (Pulp)....27
บทที่ 3 28
3.1 วัตถุดิบและอุปกรณ์....28
3.1.1 วัตถุดิบ....28
3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ....28
3.1.3 สารเคมี 29
1)...สารละลายการวิเคราะห์หาเยื่อใยที่ละลายในสารฟอกที่เป็นกลาง (Neutral Detergent Fiber solution, NDF) 29
3.1.4 เครื่องทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของชิ้นงาน....29
3.2 วิธีการทดลอง....29
3.2.1 ขั้นตอนการเตรียมเส้นใยกล้วยที่ใช้ในการหมักบ่ม 29
3.2.3 ขั้นตอนการขึ้นรูปเป็นแผ่นชิ้นงาน 30
3.3 การศึกษาคุณสมบัติทางเคมี เชิงกายภาพ และเชิงกล 31
3.3.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบของเส้นใยกล้วย 31
3.3.2 การศึกษาการดูดซึมน้ำ....34
3.3.3 การศึกษาความต้านทานแรงดึง 34
3.4 แผนภาพการทดลอง....35
3.5 แผนภาพการศึกษาปริมาณจุลินทรีย์ไตรโคเดอร์มาที่ใช้ในการหมักบ่ม....36
3.6 แผนภาพการศึกษาระยะเวลาในการหมักบ่ม 37
3.7 แผนภาพการหาการวิเคราะห์หาเยื่อใยที่ละลายในสารฟอกที่เป็นกลาง หรือ NDF 38
3.8 แผนภาพการหาการวิเคราะห์หาเยื่อใยที่ละลายในสารฟอกที่เป็นกรด หรือ ADF 39

3.9 แผนภาพการหาการวิเคราะห์หาลิกนิน หรือ ADL 40
บทที่ 4 41
ผลการทดลองและการวิเคราะห์ 41
4.1 ผลของจุลินทรีย์ต่อความสามารถในการย่อยลิกนินในเส้นใยกล้วย 41
4.1.1 ผลของปริมาณจุลินทรีย์ต่อปริมาณลิกนินในเส้นใยกล้วยหลังการหมักบ่ม 41
4.1.2 ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการหมักบ่มต่อปริมาณลิกนินเส้นใยกล้วย 42
4.2 ผลของจุลินทรีย์ต่อความสามารถในการดูดซึมน้ำ 45
4.2.1 ผลของปริมาณจุลินทรีย์ในการหมักบ่มต่อการดูดซึมน้ำ 45
4.2.2 ผลของระยะเวลาในการหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์ต่อการดูดซึมน้ำ 47
4.3 ผลของการใช้จุลินทรีย์ที่มีต่อคุณสมบัติเชิงกล 47
4.3.1 การทดสอบแรงดึง (Tensile test) 49
บทที่ 5 55
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 55
5.1 สรุปผลการทดลอง 55
5.2 ข้อเสนอแนะ 56
เอกสารอ้างอิง 57
ภาคผนวก ก 60
กระบวนการทดลอง 60
ภาคผนวก ข 81
องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยกล้วย 81
ภาคผนวก ง 90
การทดสอบความต้านทานแรงดึง 90
ภาคผนวก จ 95
การทดสอบลักษณะพื้นผิวของชิ้นงานด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด 95
ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน 99

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 ต้นกล้วยน้ำว้าพันธุ์มะลิอ่องที่ปลูกในจังหวัดพิษณุโลก 6
รูปที่ 2.2 กล้วยที่เก็บเกี่ยวผลผลิตแล้ว 7
รูปที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส 7
รูปที่ 2.4 โครงสร้างทางเคมีของเฮมิเซลลูโลส 8
รูปที่ 2.5 โครงสร้างทางเคมีของลิกนิน 8
รูปที่ 2.6 เครื่องวัดค่ามาตรฐานคุณสมบัติเชิงกล (Universal Testing Machine) 10
รูปที่ 2.7 กราฟแสดงปริมาณเปอร์เซ็นต์เซลลูโลสของตัวอย่างพืชชนิดต่าง ๆ 17
รูปที่ 2.8 กราฟแสดงปริมาณเปอร์เซ็นต์ลิกนินของตัวอย่างพืชชนิดต่าง ๆ 18
รูปที่ 2.9 กราฟแสดงปริมาณเปอร์เซ็นต์เฮมิเซลลูโลสของตัวอย่างพืชชนิดต่าง ๆ 18
รูปที่ 2.10 เปรียบเทียบการย่อยลิกนิน จากการหมักด้วยเชื้อรา *T. viride* และ เชื้อรา *T. viride* ผสมกับข้าวฟ่าง 19
รูปที่ 2.11 เปรียบเทียบการย่อยเซลลูโลส จากการหมักด้วยเชื้อรา *T. viride* และ เชื้อรา *T. viride* ผสมกับข้าวฟ่าง 19
รูปที่ 2.12 การย่อยลิกนินที่ได้จากการย่อยกาบกล้วยน้ำว้าด้วย *T. viride* 22
รูปที่ 2.13 การย่อยเซลลูโลสและค่า Selection factor ที่ได้จากการย่อยกาบกล้วยน้ำว้าด้วย *T. viride* 23
รูปที่ 2.14 หนูที่เลี้ยงเพื่อใช้ในงานทดลอง 24
รูปที่ 2.15 วัสดุรองนอนและวัสดุทำรังที่ใช้ในการเลี้ยงหนูทดลอง 25
รูปที่ 2.16 วัสดุกัดแทะสำหรับหนูทดลอง 25
รูปที่ 2.17 วัสดุทำรังของหนูทดลอง 26
รูปที่ 2.18 ลักษณะโครงสร้างทั่วไปของเส้นใยพืช 26
รูปที่ 2.19 ตัวอย่างเยื่อที่ผ่านการปั่นและต้ม 27

รูปที่ 4.1 แสดงผลของปริมาณจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมักบ่มต่างกันต่อปริมาณลิกนินของเส้นใยกล้วยที่ระยะเวลาในการหมักบ่ม 3 วัน 42
รูปที่ 4.2 แสดงผลของระยะเวลาที่ใช้ในการหมักบ่มต่างกันต่อปริมาณลิกนินของเส้นใยกล้วยที่ปริมาณจุลินทรีย์ 20 กรัม 43

รูปที่ 4.3 ก) ลักษณะของเส้นใยกล้วยที่ไม่ผ่านการหมักบ่ม และ ข) ลักษณะของเส้นใยกล้วยที่ผ่านการหมักบ่ม 45
รูปที่ 4.4 แสดงการหยดน้ำบริเวณ 9 จุดบนแผ่นชิ้นงาน 45
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงดึง ปริมาณจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมักบ่ม และระยะเวลาที่ใช้ในการหมักบ่ม 49
รูปที่ 4.6 การแทรกตัวของน้ำที่จับกับหมู่ OH ของเซลลูโลสในเส้นใยพืช 50
รูปที่ 4.7 ภาพผิวหน้าของชิ้นงานที่ไม่ผ่านการหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์ 50
รูปที่ 4.8 ลักษณะของเส้นใย ณ จุดที่ขาดออกจากกันจากการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงของ ก) ชิ้นงานที่ใช้ปริมาณจุลินทรีย์ 20 กรัม ข) ชิ้นงานที่ใช้ปริมาณจุลินทรีย์ 50 กรัม และ ค) ชิ้นงานที่ใช้ปริมาณจุลินทรีย์ 100 กรัม 52
รูปที่ 4.9 ลักษณะของเส้นใยกล้วยที่ผ่านการหมักบ่มด้วยปริมาณจุลินทรีย์ 20 กรัม โดยใช้ ก) ระยะเวลาในการหมักบ่ม 5 วัน และ ข) ระยะเวลาในการหมักบ่ม 7 วัน 53
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะยืด ปริมาณจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมักบ่ม และระยะเวลาที่ใช้ในการหมักบ่ม 54

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน 4

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าการย่อยลิกนิน ที่ได้จากการย่อยกาบกล้วยน้ำว้าด้วย *T. viride T. harzianum* และ *T. hamatum*.....15

ตารางที่ 2.2 ค่าการย่อยลิกนินที่ได้จากการย่อยกาบกล้วยน้ำว้า ระหว่าง *T. viride T. harzianum* และ *T. hamatum*..... 15

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบค่าการย่อยเซลลูโลส และค่า Selection factor ที่ได้จากการย่อยกาบกล้วยน้ำว้า ระหว่าง *T. viride T. harzianum* และ *T. hamatum* 16

ตารางที่ 2.4 ผลการทดสอบความแข็งแรงเส้นใยจากพืชตระกูลกล้วยทางภาคเหนือกับเส้นใยธรรมชาติ..... 17

ตารางที่ 2.5 ตารางเปรียบเทียบน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งจาก 3 ช่วงของต้นกล้วย 20

ตารางที่ 4.1 แสดงองค์ประกอบของเส้นใยกล้วย (เปอร์เซ็นต์) ที่ได้จากการใช้ปริมาณจุลินทรีย์ในการหมักบ่มต่างกัน (กรัม) โดยมีระยะเวลาในการหมักบ่ม 3 วัน.....41

ตารางที่ 4.2 แสดงองค์ประกอบของเส้นใยกล้วย (เปอร์เซ็นต์) ที่ระยะเวลาในการหมักบ่มต่างกัน (วัน) โดยมีปริมาณจุลินทรีย์ 20 กรัม 43

ตารางที่ 4.3 เวลาเฉลี่ยในการดูดซึมน้ำและปริมาตรน้ำที่ได้จากเส้นใยที่ผ่านการหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์ปริมาณ 20 กรัม 50 กรัม และ 100 กรัม โดยใช้ระยะเวลาในการหมักบ่ม 3 วัน..... 46

ตารางที่ 4.4 เวลาเฉลี่ยในการดูดซึมน้ำและปริมาตรน้ำที่ได้จากเส้นใยกล้วยที่ผ่านการหมักบ่มระยะเวลา 3 วัน 5 วัน และ 7 วัน โดยใช้ปริมาณจุลินทรีย์ในการหมักบ่ม 20 กรัม 47

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

ในปัจจุบันเรานำสัตว์มาใช้ในงานวิจัย ทดสอบ และงานด้านวิทยาศาสตร์การแพทย์ เพื่อประโยชน์ในการพัฒนาคุณภาพชีวิตของมนุษย์และสัตว์ ซึ่งปัจจุบันสถานเลี้ยงสัตว์ทดลองเพื่องานวิจัย มหาวิทยาลัยนเรศวร ได้นำสิ่งเพิ่มพูนสภาพแวดล้อมมาใช้กับสัตว์ทดลองประเภทฟันแทะ โดยสิ่งเพิ่มพูนสภาพแวดล้อมสำหรับสัตว์ทดลองประเภทฟันแทะนั้นส่วนใหญ่ทำมาจากวัสดุที่เป็นพลาสติกโดยมีราคาค่อนข้างสูง เนื่องจากการนำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งงานวิจัยจากการศึกษาผลกระทบของสิ่งเพิ่มพูนสภาพแวดล้อมที่มีต่อสัตว์ทดลอง พบว่าสิ่งเพิ่มพูนนั้นมีผลต่อการลดหลั่งสารความเครียดของสัตว์ทดลอง ดังนั้นสิ่งเพิ่มพูนสภาพแวดล้อมจึงมีความสำคัญกับงานวิจัยที่ใช้ศึกษาในสัตว์ทดลอง

ซึ่งเส้นใยธรรมชาติที่นำมาศึกษา คือ เส้นใยกล้วย จากกลุ่มวิสาหกิจชุมชนตะโม่สร้างสรรค์ อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก ซึ่งเป็นกลุ่มอุตสาหกรรมชุมชนผลิตกล้วยตากที่นำผลไม้ท้องถิ่นมาแปรรูป เพิ่มมูลค่าและสร้างรายได้ให้กับคนในชุมชน ปัจจุบันเกษตรกรได้ขยายพื้นที่การปลูกกล้วยสำหรับอุตสาหกรรมกล้วยตากเพื่อขายในประเทศและส่งออก กล้วยจะให้ผลผลิตได้เพียงหนึ่งเครือต่อต้น ดังนั้นในการปลูกกล้วยจะได้ต้นกล้วยประมาณ 200 ต้นต่อไร่ หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตก็จะทำการตัดต้นกล้วยทิ้ง ซึ่งในการเก็บเกี่ยวแต่ละครั้งจะมีต้นกล้วยที่ตัดทิ้งเป็นจำนวนมาก นอกจากจะใช้เป็นอาหารสัตว์แล้ว ต้นกล้วยเหล่านี้ยังไม่ได้ถูกนำไปใช้ประโยชน์มากนัก คณะผู้วิจัยจึงเล็งเห็นว่าผลผลิตเหลือทิ้งของต้นกล้วยสามารถนำมาเพิ่มพูนมูลค่าได้โดยการใช้ประโยน์จากเส้นใยที่มีอยู่ในพืชชนิดนี้

การขึ้นรูปเส้นใยธรรมชาตินั้นมีกระบวนการเตรียมด้วยกรรมวิธีที่หลากหลายรูปแบบ เช่น กระบวนการเตรียมเส้นใยธรรมชาติจากการย่อยโดยใช้กรด กระบวนการเตรียมเส้นใยธรรมชาติจากการย่อยโดยใช้ด่าง กระบวนการเตรียมเส้นใยธรรมชาติโดยใช้การหมักบ่มด้วยน้ำ และกระบวนการเตรียมเส้นใยธรรมชาติโดยการหมักบ่มด้วยน้ำและจุลินทรีย์

จากงานศึกษางานวิจัยเรื่องการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการเตรียมเส้นใยธรรมชาติเพื่อสิ่งเพิ่มพูนของสภาพแวดล้อมของสัตว์ทดลอง (กฤตลักษณ์ ช้างรบ และ จริยา ก่อน้อย, 2016) พบว่ากระบวนการเตรียมเส้นใยธรรมชาตินั้นใช้กระบวนการหมักบ่มด้วยน้ำ ซึ่งกระบวนการนี้มีกรรมวิธีที่ซับซ้อนและหลากหลายขั้นตอน ส่งผลให้กระบวนการเตรียมเส้นใยธรรมชาติต้องใช้เวลานานหลายวัน และเนื่องด้วยผู้วิจัยไม่ต้องการใช้สารเคมีสำหรับกระบวนการเตรียมเส้นใย เพื่อช่วยลดผลกระทบต่อ

สิ่งแวดล้อมจากการใช้สารเคมี และเพื่อป้องกันการเกิดอันตรายจากสารเคมีกับสัตว์ทดลอง ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยเรื่องจุลินทรีย์ไตรโคเดอร์มามีผลต่อการย่อยสลายลิกนินในเส้นใยธรรมชาติและไม่สร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม คณะผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาในกระบวนการเตรียมเส้นใยธรรมชาติโดยใช้วิธีการหมักบ่มด้วยน้ำและจุลินทรีย์

ดังนั้นงานวิจัยนี้จะมุ่งศึกษาและพัฒนากระบวนการและขั้นตอนในการเตรียมเส้นใยธรรมชาติจากต้นกล้วยสำหรับสร้างสิ่งเพิ่มพูลสภาพแวดล้อมสำหรับสัตว์ทดลองโดยใช้จุลินทรีย์ไตรโคเดอร์มา ซึ่งเป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่สามารถช่วยย่อยสลายลิกนินในเส้นใยธรรมชาติได้ นอกจากจะช่วยหลีกเลี่ยงการเตรียมเส้นใยธรรมชาติโดยการใช้สารเคมีแล้ว จุลินทรีย์ไตรโคเดอร์มายังสามารถช่วยลดระยะเวลาในกระบวนการเตรียมเส้นใยกล้วยสำหรับการขึ้นรูปชิ้นงานและการปรับสภาพของชิ้นงานจากเส้นใยกล้วยได้อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1) เพื่อศึกษาขั้นตอนการเตรียมเส้นใยกล้วยโดยใช้จุลินทรีย์ไตรโคเดอร์มาและศึกษาความสามารถในการย่อยลิกนินของจุลินทรีย์ไตรโคเดอร์มา เพื่อนำไปพัฒนาสิ่งเพิ่มพูนสภาพแวดล้อมของสัตว์ทดลอง

2) เพื่อศึกษาคุณสมบัติเชิงกลและการดูดซึมน้ำของชิ้นงานที่เตรียมจากเส้นใยกล้วยที่ผ่านการหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์ไตรโคเดอร์มา

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ตัวแปรต้น

1) ปริมาณของจุลินทรีย์ไตรโคเดอร์มาที่ใช้ในการหมักบ่มกาบกล้วยเท่ากับ 20 50 และ 100 กรัม โดยใช้ระยะเวลาในการหมักบ่มด้วยน้ำและจุลินทรีย์ 3 วัน

2) ระยะเวลาที่ใช้ในการหมักบ่มกาบกล้วย (น้ำหนักแห้ง) ด้วยน้ำและจุลินทรีย์ไตรโคเดอร์มาจำนวน 3 5 และ 7 วัน โดยใช้ปริมาณจุลินทรีย์ไตรโคเดอร์มาที่เหมาะสมที่สุดจากข้อที่ 1)

ตัวแปรตาม

1) ปริมาณลิกนินในเส้นใยกล้วยหลังจากวิธีการหมักบ่มด้วยน้ำและจุลินทรีย์ไตรโคเดอร์มา

2) คุณสมบัติในการดูดซึมน้ำ ความต้านทานแรงดึงและระยะยืดของชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นรูปเป็นแผ่น

ตัวแปรควบคุม

1) อุณหภูมิที่ใช้ในการอบกาบกล้วยให้แห้ง ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 3 วัน

2) อุณหภูมิที่ใช้ในการต้มกาบกล้วย ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 2 ชั่วโมง

3) ชนิดกล้วย คือ กล้วยน้ำว้า พันธุ์มะลิอ่อง

4) ปริมาณกาบกล้วย (น้ำหนักแห้ง) 250 กรัม ต่อน้ำที่ใช้ในการหมักบ่มปริมาตร 5 ลิตร

5) ขนาดของกาบกล้วยหลังอบประมาณ 2 - 4 เซนติเมตร

1.4 สถานที่ในการดำเนินงานวิจัย

อาคารปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.5 ระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย

ตั้งแต่เดือน สิงหาคม พ.ศ 2561 ถึงเดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2562

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน

ขั้นตอนการทำงาน	2561					2562				
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค	เม.ย.	พ.ค.
1. ศึกษากระบวนการเตรียมเส้นใยธรรมชาติจากต้นกล้วย										
2. ศึกษากระบวนการย่อยสลายลิกนินจากการใช้จุลินทรีย์ไตรโคเดอร์มา										
3. ศึกษาข้อมูลของสัตว์ทดลองประเภทฟันแทะ										
4. ทำการทดลองโดยเริ่มจากกระบวนการหมักบ่มกาบกล้วยแห้งด้วยน้ำและจุลินทรีย์ตามที่กำหนดไว้และทำการขึ้นรูปเป็นแผ่นชิ้นงาน										
5. ตรวจวัดเปอร์เซ็นต์องค์ประกอบของเส้นใยกล้วยหลังผ่านกระบวนการขึ้นรูปเป็นแผ่นชิ้นงาน										
6. ศึกษาเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ คุณสมบัติเชิงกล และลักษณะผิวหน้าของชิ้นงานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด										
7. วิเคราะห์และสรุปผลที่ได้										
8. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์										

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ความรู้เกี่ยวกับการเลี้ยงสัตว์ทดลอง

เพื่อความเป็นอยู่ที่ดีของสัตว์ทดลอง คุณภาพงานวิจัยและความเจริญก้าวหน้าของความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่มีความเกี่ยวข้องกับมนุษย์และสัตว์ จะต้องได้รับการดูแลอย่างมีมนุษยธรรม หมายถึงการกระทำต่าง ๆเพื่อให้มั่นใจว่าสัตว์ทดลองได้รับการปฏิบัติอย่างสอดคล้องกับมาตรฐานทางจริยธรรมและทางวิทยาศาสตร์ การสร้างสภาพแวดล้อมของห้องปฏิบัติการที่ให้การดูแลอย่างมีมนุษยธรรม และมีความใส่ใจต่อสัตว์ทดลอง การออกแบบสถานที่ร่วมกับที่อยู่และการจัดการสัตว์ทดลองอย่างเหมาะสมเป็นสิ่งจำเป็นต่อความเป็นอยู่ที่ดีของสัตว์ รวมไปถึงคุณภาพของการวิจัยและการผลิตสัตว์ทดลอง (Janet C. Garbour. Et al, 2011)

อุปกรณ์และวัสดุที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์ทดลองจำพวกสัตว์ฟันแทะมีความสำคัญสำหรับการเลี้ยงสัตว์ทดลองเป็นอย่างมาก ได้มีการนำเข้าอุปกรณ์ต่าง ๆที่จำเป็นจากต่างประเทศ เช่น วัสดุรองนอน วัสดุกัดแทะ วัสดุสำหรับทำรัง เป็นต้น กระบวนการผลิตวัสดุดังกล่าวนี้ต้องผ่านการฆ่าเชื้อให้ได้มาตรฐาน ใช้สำหรับดูดซับปัสสาวะที่สัตว์ขับถ่ายออกมา ไม่ทำให้กรงอับชื้น อีกทั้งยังช่วยดูดกลิ่นไม่พึงประสงค์ด้วย วัสดุเหล่านี้มีลักษณะคล้ายกระดาษที่ถูกแปรรูปเป็นแบบต่าง ๆ มีลักษณะเนื้อเส้นใยไม่แข็งกระด้าง ไม่เป็นฝุ่นผง ขจัดออกจากกรงและสามารถย่อยสลายได้ง่าย (ประดน จาติกวนิช, 2007) เพื่อให้เหมาะสมต่อชนิดและสายพันธุ์ของสัตว์ทดลอง เนื่องจากต้องปลอดเชื้อและนำเข้าจากต่างประเทศ ทำให้วัสดุดังกล่าวมีราคาแพงมาก

2.1.2 ความรู้เกี่ยวกับพืชเส้นใยที่ใช้ในการผลิตเยื่อ

พืชเส้นใย หมายถึง พืชที่ให้เส้นใย คำว่า “เส้นใย” หมายถึง สิ่งที่มีลักษณะเป็นเส้นยาวเรียว เส้นใยธรรมชาติซึ่งได้จากพืชจะมีส่วนประกอบทางเคมีส่วนใหญ่เป็นเซลลูโลสซึ่งได้จากหลายส่วนของพืช เซลลูโลส มีส่วนประกอบทางเคมีพวกคาร์โบไฮเดรต (สารพวกเดียวกับแป้งและน้ำตาล) โมเลกุลใหญ่ประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลเดี่ยวสูญน้ำไป 1 โมเลกุล ($C_6H_{10}O_5$) เชื่อมต่อกันหลาย ๆโมเลกุลย่อยสลายตัวได้ยาก โมเลกุลของเซลลูโลสเรียงตัวกันในผนังเซลล์ของพืช เป็นหน่วยเส้นใยขนาดเล็กมากเกาะจับตัวกันเป็นเส้นใย

เส้นใยพืชจัดเป็นวัตถุดิบสำคัญที่สุดในการทำเยื่อ ส่วนมากแล้วใช้ทำเยื่อกระดาษ (Paper pulp) พืชเกือบทุกชนิดสามารถนำมาทำเป็นเยื่อกระดาษได้ แต่ต้องพิจารณาด้านการใช้ประโยชน์ให้มีประสิทธิภาพสูง (รัทนา ทาปา, 2011) พืชเส้นใยจำพวกกล้วยมีลักษณะของเส้นใยที่สามารถนำมาปั่นเป็นเยื่อได้ นอกจากการแปรรูปเป็นอาหารแล้ว กล้วยยังเป็นวัตถุดิบสำคัญในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่าง ๆด้วย เช่น การผลิตยารักษาโรค ส่วนต่าง ๆของกล้วยยังนำมาแปรรูปเป็นสินค้าอื่น ๆได้ด้วย เช่น ใบตองสามารถนำมาแปรรูปเป็นกระเป๋า ตะกร้า หรือของตกแต่งบ้านได้ กาบกล้วยสามารถนำมาทำเยื่อกระดาษได้ และที่น่าสนใจคือ เส้นใยกล้วยสามารถนำมาทำเป็น สิ่งทอ ตะกร้า กระเป๋า หรือที่ใส่ทิชชู เป็นต้น ลักษณะของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อกล้วยจะมีลักษณะเส้นใยที่หยาบกว่าเยื่อปอสาที่นำมาผลิตเป็นกระดาษสา

กล้วยน้ำว้า (Banana) พบปลูกทั่วไปในประเทศไทย รับประทานกันมากในทุกภาค ในภาคกลางปลูกเป็นการค้าทั่วไป ภาคเหนือปลูกมากที่จังหวัดพิษณุโลก พันธุ์ที่นิยมปลูกมากคือ พันธุ์มะลิอ่อง ดังตัวแสดงในรูปที่ 2.1 สามารถให้ผลผลิตได้เป็นจำนวนมากและนำไปทำกล้วยตากจนเป็นอาชีพที่สำคัญอย่างหนึ่งของชาวจังหวัดพิษณุโลก ปัจจุบันเกษตรกรได้ขยายพื้นที่การปลูกกล้วยน้ำว้า พันธุ์มะลิอ่อง สำหรับอุตสาหกรรมกล้วยตากเพื่อขายในประเทศและส่งออกต่างประเทศ

กล้วยมีลำต้นอยู่ใต้ดินเรียกว่า หัว หรือ เหง้า (Rhizome) ที่มีตา (Bud) ซึ่งเจริญเป็นต้นเกิดหน่อ (Sucker) หลายหน่อเรียกว่า การแตกหน่อหรือต้นที่เห็นอยู่เหนือดิน เรียกว่า ลำต้นเทียม (Pseudo stem) ส่วนนี้เกิดจากการอัดแน่นของกาบใบที่เกิดจากจุดเจริญของลำต้นใต้ดิน กาบใบจะชูก้านใบและใบที่จุดเจริญนี้จะมีการเจริญเป็นดอกตามขึ้นมา หลังจากสิ้นสุดการเจริญของใบ ใบสุดท้ายของการเกิดดอกเรียกว่า ใบธง (เบญจมาศ ศิลาย้อย, 2002)

รูปที่ 2.1 ต้นกล้วยน้ำว้าพันธุ์มะลิอ่องที่ปลูกในจังหวัดพิษณุโลก

ที่มา : สำนักความหลากหลายทางชีวภาพสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2012

นอกจากนี้แล้วกล้วยยังสามารถปลูกเพื่อใช้เส้นใยได้ จากส่วนของกาบใบที่อยู่รอบลำต้นกล้วย (Musa textilis) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 เมื่อต้มในสารละลายด่าง จะมีลักษณะอ่อนนุ่ม เส้นใยที่ได้มีลักษณะ

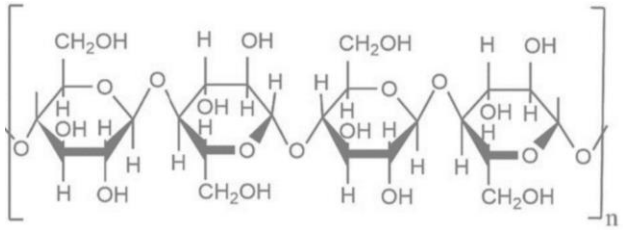
ตรงและมีปลายเรียวแหลม เส้นผ่านศูนย์กลางของแต่ละเส้นอยู่ระหว่าง 14 – 50 ไมโครเมตร และมีความยาวตั้งแต่ 2.5 ถึง 13 มิลลิเมตร (Hearle J.W.S., Peter R.H., 1963)

ก) ข)

รูปที่ 2.2 กล้วยที่เก็บเกี่ยวผลผลิตแล้ว ก) ลำต้นกล้วยที่เก็บเกี่ยวผลผลิตแล้ว) ข) กาบกล้วยแห้ง
ที่มา : ก) สุกรี มะดากะกุน, 2016 และ ข) จุฑาลักษณ์ ศรีบัว และคณะ, 2014

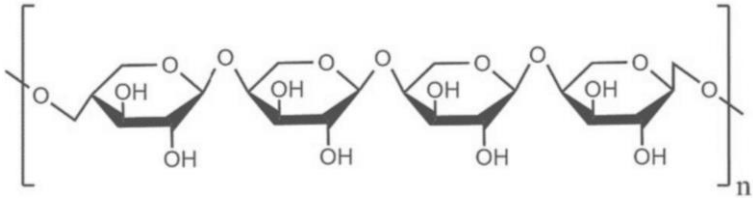
2.1.3 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยธรรมชาติ (Kirk, T.K. and Farrell, R.L., 1987) มี 3 ส่วนหลัก ได้แก่

2.1.3.1 เซลลูโลส (Cellulose) เป็นโครงสร้างหลักของผนังเซลล์พืช เช่น ผัก ผลไม้ และเมล็ดธัญพืช โดยอยู่รวมกับเฮมิเซลลูโลส และเพกทิน เซลลูโลสเป็นสารคาร์โบไฮเดรตประเภทโพลีแซคคาไรด์ (Polysaccharide) น้ำหนักโมเลกุลสูงประกอบด้วยหน่วยซ้ำ ๆกันของ D-glucose ต่อกันเป็นพอลิเมอร์ มีสมบัติไม่ละลายน้ำ ตัวทำละลายอินทรีย์ทั่วไปและสารละลายด่างสามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) กับกรดได้ และที่สำคัญคือโครงสร้างเป็นไปได้ทั้ง แบบเรียงตัวเป็นระเบียบ (Crystalline) และ แบบไม่เป็นระเบียบ (Amorphous) รวมกันในสัดส่วนต่างกัน ซึ่งมีผลทำให้เซลลูโลสมีสมบัติในด้านการดูดซึม (Absorption) ยืดหยุ่น (Stress-strain) และการพองตัว (Swelling) เป็นต้น โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลสดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส
ที่มา : Amin et al. AMB Express., 2017

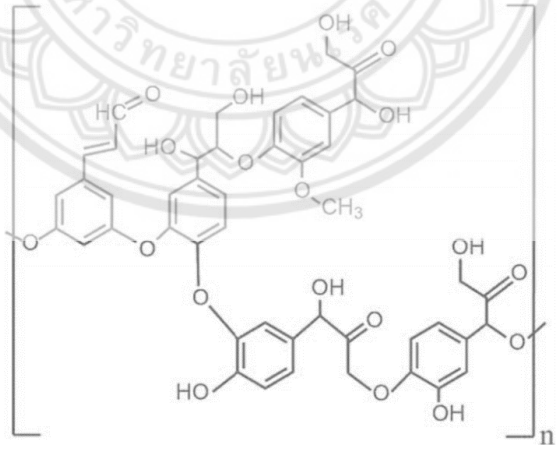
2.1.3.2 เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) เป็นสารคาร์โบไฮเดรตเช่นเดียวกับเซลลูโลส แต่มีโครงสร้างส่วนใหญ่เป็น แบบไม่เป็นระเบียบ (Amorphous) จึงดูดซึมน้ำได้ดีซึ่งมีผลทำให้เส้นใยพองตัวได้รวดเร็ว ง่ายต่อการตีเยื่อและยังช่วยให้เส้นใยมีคุณสมบัติยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นอีกด้วย นอกจากนั้นยังสามารถทำปฏิกิริยาได้ในสารละลายด่าง โครงสร้างทางเคมีของเฮมิเซลลูโลสดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 โครงสร้างทางเคมีของเฮมิเซลลูโลส

ที่มา : Amin et al. AMB Express, 2017

2.1.3.3 ลิกนิน (Lignin) (Namrata Chhabra, 2012) เป็นสารประกอบเชิงซ้อน มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มักอยู่รวมกับเซลลูโลส ลิกนินเป็นสารที่ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนรวมกันเป็นหน่วยย่อยหลายชนิดซึ่งเป็นสารอะโรมาติก ลิกนินไม่ละลายน้ำ ไม่มีสมบัติทางการยืดหยุ่น เพราะฉะนั้นจึงทำให้พืชที่มีลิกนินมากมีความแข็งแรงทนทาน พืชแต่ละชนิดมักพบลิกนินเป็นองค์ประกอบอยู่ 20 - 35 เปอร์เซ็นต์ โดยทำหน้าที่รวมมัดของเส้นใยของโพลีแซคคาไรด์ไว้ด้วยกัน เมื่อพืชตายลิกนินจะถูกย่อยด้วยเอนไซม์ลิกเนส (Lignase) หรือลิกนินเนส (Ligninase) ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่สำคัญในรากไม้แต่ละชนิด โครงสร้างทางเคมีของลิกนินดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 โครงสร้างทางเคมีของลิกนิน

ที่มา : Amin et al. AMB Express, 2017

2.1.3.4 สารแทรก (Others) (Namrata Chhabra, 2012) สารแทรกหรือสารอื่น ๆ คือสารที่เป็นองค์ประกอบที่อยู่ภายในพืชเพียงเล็กน้อยโดยสารแทรกที่สามารถละลายในน้ำได้ส่วนใหญ่เป็นพวกยางไม้ น้ำตาล แทนนิน และสารให้สี และสารแทรกที่สามารถละลายได้ในแอลกอฮอลล์-เบนซินส่วนใหญ่เป็นสารพวกไข ไขมัน ยาง ชัน เป็นต้น

2.1.4 การใช้เส้นใยจากพืชในงานหัตถกรรม (สุจยา ฤทธิศร, 2011)

การทำกระดาษด้วยมือส่วนใหญ่ในปัจจุบันเป็นการทำกระดาษเพื่อใช้ในงานหัตถกรรม ซึ่งมีวัตถุดิบจากพืชหลายชนิด แต่ก่อนกระดาษจะทำจากเปลือกไม้ที่มีอยู่ในท้องถิ่น เช่น ถ้าใช้เปลือกสาก็จะเรียกสมุดปอสา เป็นต้น รวมทั้งพืชทั้งหลายที่เป็นผักและผลไม้เมื่อนำไปบริโภคแล้วยังมีส่วนที่ตกค้างอยู่ในแปลงปลูกที่ไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์ นอกจากการเผาทำลายทิ้ง ซึ่งจะทำให้เกิดมลพิษทางอากาศและส่งเสริมให้เกิดภาวะโลกร้อน จึงนำพืชที่เหลือทิ้งทางการเกษตรมาทำเป็นกระดาษ ตัวอย่างเช่น กาบกล้วย ชานอ้อย ใบสับปะรด ฟางข้าว ผักตบชวา เป็นต้น นอกจากพืชที่กล่าวมาแล้วยังมีพืชอีกหลายชนิดที่สามารถนำมาทำกระดาษได้ ขั้นตอนหลักของการทำกระดาษด้วยมือสามารถทำได้ดังนี้

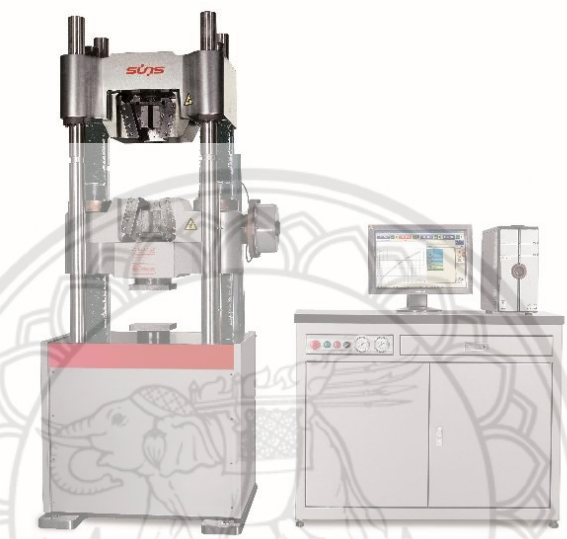
1) การเตรียมวัตถุดิบ
2) การล้างเยื่อ
3) การทำแผ่นกระดาษ
4) การทำแห้งกระดาษ
5) การดึงกระดาษออกจากตระแกรง

2.1.5 คุณสมบัติเชิงกายภาพและเชิงกล

2.1.5.1 คุณสมบัติเชิงกายภาพ: การดูดซึมน้ำ (Water absorption) หมายถึง ความสามารถในการดูดซึมน้ำของวัสดุ ภายในระยะเวลาที่กำหนด (กฤตลักษณ์ ช้างรบ และ คณะ, 2016)เนื่องจากวัสดุต่าง ๆ ในการเลี้ยงสัตว์ทดลองนั้น ต้องมีการซึมซับน้ำได้อย่างรวดเร็ว เพื่อป้องกันการก่อให้เกิดเชื้อโรคในกรง

2.1.5.2 คุณสมบัติเชิงกล: ความต้านทานแรงดึงขาด (Tensile strength) หมายถึง ความสามารถในการรับแรงดึงสูงสุดที่วัสดุทนได้ก่อนขาดออกจากกัน มีหน่วยเป็นแรงต่อความกว้างของกระดาษที่ใช้ทดสอบ เช่น กิโลนิวตันต่อเมตร (kN/m) หรือปอนด์ต่อนิ้ว (lb/in) (วิขัณฑ์ อรรณพานุรักษ์, 2002) โดยเครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าความต้านทานแรงดึงขาดคือ เครื่องวัดค่ามาตรฐานคุณสมบัติเชิงกล (Universal Testing Machine) ตามมาตรฐาน ASTM D638 โดยมาตรฐาน ASTM D638 คือมาตรฐาน

การทดสอบชิ้นงานทั่วไปสำหรับการหาค่าคุณสมบัติแรงดึง ได้แก่ ความต้านทานแรงดึง ระยะยืด เป็นต้น ทำงานโดยใช้แรงดึงกับชิ้นงานทดสอบ และวัดค่าต่าง ๆของชิ้นงานที่ยังอยู่ภายใต้ความเค้น ซึ่งกระทำได้โดยเครื่องทดสอบแรงดึงที่ช่วงความเร็วที่ใช้ในการทดสอบระหว่าง 1 ถึง 500 มิลลิเมตรต่อนาที จนกระทั่งชิ้นงานเสียรูป (คราก หรือขาด) ตัวอย่างที่จะทำการศึกษาจะอยู่ในรูปแบบของแข็ง ตัดแต่งชิ้นงานทดสอบให้ได้ขนาดตามมาตรฐานที่ใช้อ้างอิง เช่น ชิ้นงานรูปทรงดัมเบลล์ แท่ง หรือท่อทรงกระบอก เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 เครื่องวัดค่ามาตรฐานคุณสมบัติเชิงกล (Universal Testing Machine)
ที่มา : https://www.indiamart.com/proddetail/hydraulic-universal-testing-machine-14724460173.html

2.1.6 การย่อยสลายองค์ประกอบภายในพืช (รัชพล พะวงศ์รัตน์, 2015)

องค์ประกอบภายในเส้นใยพืชนั้นเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีการนำมาใช้ประโยชน์ในหลายด้าน ได้แก่ การนำเซลลูโลสไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมทำเยื่อกระดาษและกระดาษ อุตสาหกรรมทอผ้า เป็นต้น การย่อยสลายองค์ประกอบภายในพืชให้เป็นสารที่มีขนาดโมเลกุลที่เล็กลงนั้นสามารถทำได้หลายวิธีเช่น การย่อยสลายด้วยวิธีการทางเคมี การย่อยสลายด้วยวิธีการทางชีวภาพ และการย่อยสลายด้วยวิธีการทางกายภาพ

2.1.6.1 การย่อยสลายด้วยวิธีการทางชีวภาพ (Biological pretreatment) การย่อยสลายองค์ประกอบภายในพืชด้วยวิธีการทางชีวภาพ เป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดกับองค์ประกอบภายในพืช เช่น เซลลูโลส และลิกนิน โดยต้องพึ่งพาจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆที่เป็นแบคทีเรียและเชื้อรา รวมทั้งเอนไซม์ที่ผลิตจากจุลชีพเหล่านี้ สามารถย่อยสลายเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและลิกนินได้ และเข้าไปมีบทบาทในการ

ย่อยสลายให้องค์ประกอบที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่เปลี่ยนเป็นโมเลกุลขนาดเล็ก โดยสภาพของพืชที่ปรากฏออกมานั้นจะมีสีซีดหรือเข้มกว่าปกติ นอกจากนี้การย่อยด้วยวิธีการทางชีวภาพนั้นจะส่งผลให้เนื้อไม้มีลักษณะเปื่อยยุ่ย เชื้อราและแบคทีเรียเหล่านี้ได้แก่ *Aspergillus terreus, Trichodermaspp, Cyathus stercoreus, Penicillium camemberti, Phanerochaete chrysosporium, Streptomyces griseus* ฯลฯ เป็นต้น ส่วนเอนไซม์ที่ใช้ย่อยลิกโนเซลลูโลส ตัวอย่างเช่น cellulases, glucuronidase, acetylesterase, feruloylesterase, xylanese, β-xylosidase, lignin peroxidase, manganese peroxidase และ laccase เป็นต้น

2.1.6.2 การย่อยสลายด้วยวิธีทางกายภาพ (Physical pretreatment)

1) การใช้แรงทางกล (Mechanical) วิธีการทำให้วัตถุดิบมีขนาดเล็กลงสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การทุบ การบด การโม่ การเขย่าวัตถุดิบ เป็นต้น ความสามารถในการลดขนาดจะขึ้นอยู่กับขนาดสุดท้ายของวัสดุและคุณสมบัติของวัสดุนั้น ซึ่งปกติขนาดของเศษวัตถุดิบจะทำให้มีขนาดประมาณ 0.2 - 2 มิลลิเมตร

2) การไพโรไลซิส (Pyrolysis) วิธีการอบที่ใช้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง ให้วัตถุดิบกลายสภาพเป็นแก๊สหรือของแข็ง กระบวนการจะทำได้ช้าและการระเหยจะต่ำถ้าใช้อุณหภูมิต่ำ จากการวิจัยพบว่าการใช้อุณหภูมิมากไปหรือน้อยไปจะไม่เป็นผลดี จึงต้องมีการวิจัยที่เหมาะสม ซึ่งสำหรับงานวิจัยนี้ยังมีข้อมูลที่ค่อนข้างน้อย

3) การใช้ความร้อน (Thermal heat treatment) เป็นการปรับสภาพของวัตถุดิบเพื่อทำลายเนื้อเยื่อของเซลลูโลส ซึ่งโดยส่วนใหญ่มักจะใช้อุณหภูมิมากกว่า 150 - 180 องศาเซลเซียส แต่ต้องทำให้วัสดุมีขนาดที่เล็กลงก่อนเข้าสู่กระบวนการย่อยวัตถุดิบทางความร้อน

2.1.6.3 การย่อยสลายด้วยวิธีการทางเคมี (Chemical pretreatment)

1) การทำปฏิกิริยากับโอโซน (Ozonolysis) โอโซนเป็นตัวออกซิแดนซ์ที่มีประสิทธิภาพ และสามารถทำให้เกิดการแตกตัวของลิกนินและเฮมิเซลลูโลสในวัสดุพวกฟางข้าวได้ วิธีนี้มีจุดเด่นคือ เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการเอาลิกนินออกได้ดี ไม่มีสารพิษที่จะไปยับยั้งการทำปฏิกิริยาในส่วนต่าง ๆ กระบวนการนี้สามารถทำได้ที่อุณหภูมิห้อง แต่ผลเสียของวิธีนี้ คือค่าใช้จ่ายที่สูงมาก

2) การทำปฏิกิริยาด้วยการใช้ด่าง (Alkali pretreatment) การใช้ด่างในกระบวนการปรับสภาพวัตถุดิบมีผลต่อวัสดุจำพวกลิกโนเซลลูโลส และผลของด่างที่ใช้ในกระบวนการแปลงสภาพจะขึ้นอยู่กับปริมาณของลิกนินที่มีอยู่ในวัสดุนั้นด้วย กลไกการทำงานของด่างนั้นเชื่อว่าจะไปเพิ่มการพองตัวภายในโมเลกุลภายในต่อสายพันธะภายในของไซแลนในเฮมิเซลลูโลส ความพรุนของวัสดุจะเพิ่มขึ้นได้เมื่อทำการกำจัดสายโซ่ที่เชื่อมต่อภายใน การใช้ด่างเจือจางในวัสดุลิกโนเซลลูโลสมีผลทำให้เกิดการบวมภายในเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสในการทำปฏิกิริยาทำให้วัสดุมีความพรุนเพิ่มขึ้นได้ ลดความเป็น

โครงสร้างผลึกของเซลลูโลส ลดระดับความเป็นพอลิเมอร์ขนาดใหญ่ และสามารถแยกสายโครงสร้างระหว่างลิกนินและคาร์โบไฮเดรต และเป็นการแยกองค์ประกอบหรือทำลายโครงสร้างของลิกนิน อย่างไรก็ตามการใช้ด่างเพื่อปรับสภาพมักจะไม่มีผลต่อวัสดุพวกไม้เนื้ออ่อนเท่าไม้เนื้อแข็ง ด่างที่นิยมใช้ในการแยกลิกนิน ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ได้ศึกษาการปรับสภาพข้าวบาร์เลย์ด้วยแอมโมเนียพบว่าแอมโมเนียที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เวลา 24 - 72 ชั่วโมง สามารถสกัดแยกเอาส่วนของ ลิกนินออกได้ร้อยละ 50 - 66

3) การทำปฏิกิริยาด้วยการใช้กรด (Acid pretreatment) กระบวนการปรับสภาพโดยการใช้กรดนั้นมีจุดประสงค์คือ เพื่อให้ได้น้ำตาลในปริมาณที่สูงจากวัสดุชีวมวล ชนิดของกรดที่นำมาปรับสภาพมีมากมายหลายประเภทได้แก่ กรดซัลฟิวริก ไฮโดรคลอริก ไนตริก หรือฟอสฟอริก ในกระบวนการแปลงสภาพสามารถใช้ได้ทั้งกรดเข้มข้นและเจือจางเพื่อเพิ่มการทำงานของกระบวนไฮโดรไลซีส ในกระบวนการปรับสภาพวัตถุดิบ การใช้กรดเจือจางเป็นวิธีหนึ่งที่ได้รับความสนใจศึกษากันมากและแพร่หลายที่สุด การใช้กรดเจือจางเพื่อปรับสภาพวัสดุที่อุณหภูมิที่เหมาะสมโดยใช้กรดซัลฟิวริก หรือกรดฟอสฟอริกมักจะถูกใช้สำหรับการเปลี่ยนวัสดุพวกลิกโนเซลลูโลส ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นเฮมิ-เซลลูโลส ไปเป็นน้ำตาลที่ละลายได้ตามด้วยการใช้เอนไซม์เป็นตัวเร่งในปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเพื่อให้เกิดเป็นกลูโคส ในการใช้กรดเจือจางจะมีอยู่ 2 รูปแบบที่ใช้ คือ (1) ปริมาณสารตั้งต้นน้อย (ร้อยละ5 - 10 โดยน้ำหนัก) ที่อุณหภูมิสูง (T> 433 เคลวิน) และ (2) ปริมาณสารตั้งต้นมาก (ร้อยละ10 - 40 โดยน้ำหนัก) ที่อุณหภูมิต่ำ (T< 433 เคลวิน) โดยทั่วไปแล้วพบว่าเมื่อทำการปรับสภาพที่อุณหภูมิสูงและเวลาที่ใช้น้อยกว่าจะมีผลทำให้พบปริมาณไซโลสสูง และการทำงานของเอนไซม์สามารถทำงานได้ดีกว่า ที่อุณหภูมิสูงการใช้กรดเจือจางพบว่ามีผลต่อการเพิ่มการย่อยเซลลูโลส ซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดของสารตั้งต้นและความเข้มข้นที่ใช้ โดยส่วนใหญ่ร้อยละ 80 และ 95 ของน้ำตาลในเฮมิเซลลูโลสสามารถได้คืนมาโดยการใช้กรดเจือจางในการปรับสภาพจากการใช้วัสดุลิกโนเซลลูโลสเป็นสารตั้งต้น นอกจากนั้นความเข้มข้นของกรดและอุณหภูมิที่ใช้เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเกิดสารที่เป็นพิษ อุณหภูมิที่เหมาะสม (<160 องศาเซลเซียส) ได้มีการพิสูจน์ว่าเพียงพอต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของเฮมิเซลลูโลส ในอีกด้านหนึ่งเมื่อใช้อุณหภูมิที่สูงกว่า 160 องศาเซลเซียส จะมีผลต่อเซลลูโลสมากกว่าซึ่งพบว่าจะมี การเกิดปริมาณน้ำตาลที่สูงและมีการสลายส่วนประกอบของลิกนิน การทำงานของกรดเจือจางในการแปลงสภาพจะมีผลไปยังกระบวนการไฮโดรไลซิสขององค์ประกอบของเฮมิเซลลูโลสที่สามารถผลิตเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว การมีอยู่ของเซลลูโลส เพื่อให้เกิดการทำปฏิกิริยาโดยเอนไซม์โดยที่มีการกำจัดเฮมิเซลลูโลสและส่วนที่เป็นลิกนิน โดยทั่วไปแล้วการใช้กรดเจือจางผสมกับวัสดุชีวมวลและทำที่อุณหภูมิสูงที่ 160-220 องศาเซลเซียสในช่วงเวลาสั้นที่ไปไฮโดรไลซ์เฮมิเซลลูโลสให้เป็นไซโลสและน้ำตาลตัวอื่น และจากนั้นจะมีการทำลาย

ไซโลสให้เป็นเฟอฟูรัล กระบวนการไฮโดรไลซีสโดยไม่ผ่านการปรับสภาพวัตถุดิบก่อนพบว่าผลผลิตที่ได้มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 20 ในขณะที่เมื่อผ่านกระบวนการปรับสภาพแล้วได้ผลผลิตมากกว่าร้อยละ 90

2.1.7 การควบคุมเชื้อจุลินทรีย์ (Control of microorganism) (สุนทร ตรีนันทวัน, 2010)

คือทำลายหรือยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ โดยจะทำสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมที่จุลินทรีย์จะเจริญซึ่งทำได้หลายวิธี ดังนี้

1) การใช้ความร้อน การใช้ความร้อนทำลายหรือยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ ขึ้นกับระดับของความร้อน เวลาที่ให้ความร้อนและธรรมชาติของจุลินทรีย์ชนิดนั้น ๆด้วย อุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียสขึ้นไปจะยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ดี การใช้ความร้อนทำได้ทั้ง 2 แบบ คือ การใช้ความร้อนชื้น โดยใช้น้ำเป็นตัวพาความร้อนสู่จุลินทรีย์ เช่น การต้ม นึ่ง หรือนึ่งภายใต้ความดัน ส่วนการใช้ความร้อนแห้ง เช่น การอบปกติที่อุณหภูมิ 70 – 80 องศาเซลเซียส เอนไซม์จะถูกทำลาย ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสทั้งเอนไซม์และเซลล์จุลินทรีย์จะถูกทำลายหมด ยกเว้นสปอร์ของแบคทีเรียบางชนิดจะทนอุณหภูมิได้นานถึง 5 ชั่วโมง จึงต้องใช้เวลานานในการทำลายเซลล์จุลินทรีย์ชนิดนี้

2) การเผา เป็นการทำลายจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดแต่จะเป็นการทำลายวัสดุที่จุลินทรีย์อาศัยอยู่ด้วยจึงไม่นิยมนำมาใช้ในการควบคุมเชื้อจุลินทรีย์

3) การฆ่าเชื้อแบบพาสเจอร์ไรส์ เป็นกระบวนการฆ่าจุลินทรีย์ที่ใช้ความร้อนค่อนข้างต่ำ โดยมุ่งทำลายจุลินทรีย์ที่เป็นเชื้อโรค คือ ทำให้ได้รับความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที หรือ ที่อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที แล้วทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็ว

4) การฆ่าเชื้อแบบยูเอชที (UHT) เป็นการฆ่าเชื้อโดยใช้ความร้อนสูงและใช้เวลาสั้น ๆคือ ใช้ความร้อน 140 – 150 องศาเซลเซียส นาน 2–3 นาที การฆ่าเชื้อแบบที่ 3 และ 4 นิยมฆ่าเชื้อในผลิตภัณฑ์นม และน้ำผลไม้ชนิดกล่อง

5) การแช่เย็น เป็นการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ช่วงระยะเวลาหนึ่งเท่านั้น แต่บางชนิดก็เจริญได้แม้อุณหภูมิต่ำ

6) การแช่เยือกแข็ง เป็นการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์โดยใช้อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง ทำให้น้ำในอาหารและในจุลินทรีย์กลายเป็นผลึกน้ำแข็ง ทำให้เกิดการเปลี่ยนของสภาพโปรตีนในเซลล์ของจุลินทรีย์ทำให้จุลินทรีย์ถูกทำลายได้

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Jenet C. Garbour และคณะ (2011) ได้กำหนดข้อแนะนำสำหรับการดูแลและการใช้สัตว์ทดลอง เพื่อให้ข้อมูลที่จะส่งเสริมความเป็นอยู่ที่ดีของสัตว์ คุณภาพวิจัย และความเจริญก้าวหน้าของความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่มีความเกี่ยวข้องต่อทั้งมนุษย์และสัตว์ โดยมีเนื้อหาครอบคลุมเกี่ยวกับการดูแลสัตว์ทดลองอย่างมีจรรยาบรรณ รวมไปถึงการออกแบบสภาพแวดล้อมให้กับสัตว์ทุกตัวอาศัยอยู่ภายใต้สภาวะที่มีที่ว่างอย่างเพียงพอ มีโครงสร้างสนับสนุนวัสดุเพื่อตอบสนองความจำเป็นทางกายภาพ และการแสดงออกทางพฤติกรรม นอกเหนือจากนั้นก็ควรมีสิ่งเพิ่มพูนสภาพแวดล้อมเพื่อกระตุ้นสัตว์ให้มีการรับรู้ เร่งให้เกิดการรับรู้ที่เป็นคุณสมบัติเฉพาะของสัตว์แต่ละชนิด แต่อย่างไรก็ตามควรพิจารณาความแปลกใหม่และหมุนเวียนหรือทดแทนสิ่งเพิ่มพูน เพราะการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมบ่อยเกินไปนั้นส่งผลให้สัตว์ทดลองเกิดความเครียด

สุจยา ฤทธิศร (2011) ได้ทำการศึกษาการใช้เชื้อรายย่อยลิกนินในการผลิตเยื่อกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยวิธีทางชีวภาพ พบว่าค่าการย่อยลิกนิน ที่ได้จากการย่อยกาบกล้วยน้ำว้าด้วย *T. viride* *T. harzianum* และ *T. hamatum* แสดงดังตารางที่ 2.1 และค่าการย่อยลิกนินที่ได้จากการย่อยกาบกล้วยน้ำว้า ระหว่าง *T. viride* *T. harzianum* และ *T. hamatum* แสดงดังตารางที่ 2.2 และได้ทำการแสดงการเปรียบเทียบค่าการย่อยเซลลูโลส และค่า Selection factor ที่ได้จากการย่อยกาบกล้วยน้ำว้าระหว่าง *T. viride* *T. harzianum* และ *T. hamatum* แสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าการย่อยลิกนิน ที่ได้จากการย่อยกาบกล้วยน้ำว้าด้วย *T. viride T. harzianum* และ *T. hamatum* (สุจยา ฤทธิศร, 2011)

จำนวนชิ้นวุ้น-สัปดาห์	การย่อยลิกนิน (%น้ำหนักแห้ง)		
	T. viride	*T. harzainum*	*T. hamatum*
1-3	0.58^{Aa}	0.03^{Aa}	0.02^{Aa}
1-4	0.58^{Ab}	0.25^{Ab}	0.12^{Ab}
1-5	0.62^{Ac}	0.51^{Ac}	0.45^{Ac}
2-3	0.58^{Ba}	0.05^{Ba}	0.03^{Ba}
2-4	0.58^{Bb}	0.28^{Bb}	0.13^{Bb}
2-5	0.62^{Bc}	0.54^{Bc}	0.48^{Bc}
3-3	0.58^{Ca}	0.17^{Ca}	0.05^{Ca}
3-4	0.58^{Cb}	0.33^{Cb}	0.17^{Cb}
3-5	0.62^{Cc}	0.60^{Cc}	0.53^{Cc}
CV (%)	26.90	22.10	19.80

หมายเหตุ 1. ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ A B และ C หมายถึงปริมาณชิ้นวุ้นที่ใช้ คือ 1 2 และ 3 ชิ้น ตามลำดับ
2. ตัวอักษรพิมพ์เล็ก a b และ c หมายถึงเวลาที่ใช้ในการเพาะเลี้ยง คือ 3 4 และ 5 สัปดาห์ ตามลำดับ

ตารางที่ 2.2 ค่าการย่อยลิกนินที่ได้จากการย่อยกาบกล้วยน้ำว้า ระหว่าง *T. viride T. harzianum* และ *T. hamatum* (สุจยา ฤทธิศร, 2011)

ผลิตด้วยเชื้อรา	การย่อยลิกนิน (%น้ำหนักแห้ง)
T. viride	0.62
T. harzianum	0.60
T. hamatum	0.53
CV (%)	7.60

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบค่าการย่อยเซลลูโลส และค่า Selection factor ที่ได้จากการย่อยกาบกล้วยน้ำว้า ระหว่าง *T. viride T. harzianum* และ *T. hamatum* (สุจยา ฤทธิศร, 2011)

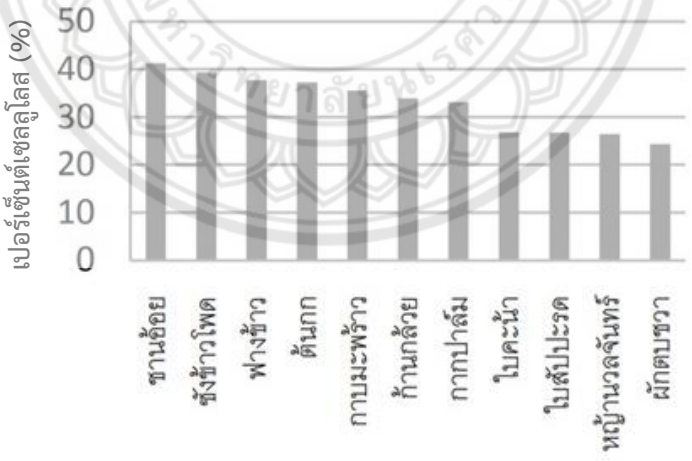
ผลิตด้วยเชื้อรา	การย่อยเซลลูโลส (%น้ำหนักแห้ง)	ค่า Selection factor
T. viride	24.38	0.03
T. harzianum	29.40	0.02
T. hamatum	28.48	0.02
CV (%)	13.50	15.70

สาธิต เหล่าวัฒนพงษ์ และคณะ ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์เส้นใยจากพืชตระกูลกล้วยทางภาคเหนือเพื่อใช้ประโยชน์ในการสร้างผลิตภัณฑ์ โดยมีการศึกษาพื้นที่ในการปลูกพืชตระกูลกล้วย 5 จังหวัดทางภาคเหนือ โดยมีสายพันธุ์จากพืชตระกูลกล้วยที่ศึกษา 9 สายพันธุ์ เพื่อใช้ประโยชน์ในการสร้างผลิตภัณฑ์และได้ข้อสรุปจากกระบวนการผลิตเส้นใยจากพืชตระกูลกล้วยเพื่อได้วัสดุใหม่ในการนำมาใช้เป็นแนวทางในการออกแบบผลิตภัณฑ์เพื่อสร้างรายได้จากเกษตรกรหลังจากการเพาะปลูกทางเกษตรกรรม ผลการวิจัยพบว่ากล้วยพันธุ์ที่ใช้ในการวิจัยคือกล้วยป่าหรือกล้วยตานี เพราะมีเนื้อเส้นใยที่เหนียวที่สุด โดยนำส่วนของพืชตระกูลกล้วยที่เหลือทิ้งจากการเกษตรทำการแยกเส้นใยเป็นเส้นและทำการฟั่นเป็นเส้นตรง สามารถนำเส้นใยของพืชตระกูลกล้วยมาใช้ประโยชน์ทางด้านการสร้างผลิตภัณฑ์วัสดุ และได้แสดงผลการทดสอบความแข็งแรงเส้นใยจากพืชตระกูลกล้วยทางภาคเหนือกับเส้นใยธรรมชาติ ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ผลการทดสอบความแข็งแรงเส้นใยจากพืชตระกูลกล้วยทางภาคเหนือกับเส้นใยธรรมชาติ (สาธิต เหล่าวัฒนพงษ์ และคณะ, 2012)

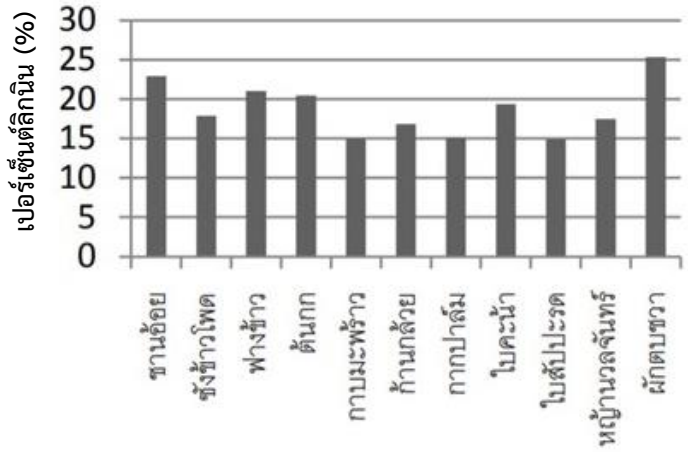
ลำดับ	รายชื่อเส้นใย	แรงดึงขาด (นิวตัน)
1.	เส้นใยกล้วย + เส้นใยกล้วย	49.57
2.	เส้นใยกล้วย + เส้นใยฝ้าย	137.71
3.	เส้นใยกล้วย + เส้นใยไหม	129.11
4.	เส้นใยกล้วย + เส้นใยปอ	678.71
5.	เส้นใยกล้วย + เส้นใยกัญชง	115.40

วิทวัส จิรัฐพงศ์ และคณะ (2011) ได้ทำการศึกษาปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินจากของเหลือทิ้งจากพืชเพื่อใช้ในการผลิตแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพ โดยของเหลือทิ้งจากพืชที่นำมาศึกษาคือ ต้นกล้วย ชานอ้อย ซังข้าวโพด ฟางข้าว และกาบมะพร้าว โดยวิธี Detergent ในการสกัดและวิเคราะห์ปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน จากนั้นทำการเลือกวัตถุดิบที่มีปริมาณเซลลูโลสมากที่สุดมาทำการขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพ โดยเปลี่ยนเซลลูโลสมาอยู่ในรูปของคาร์บอกซีเมทธิล โดยปริมาณที่ได้จากการศึกษาจะแสดงเป็นปริมาณเปอร์เซ็นต์เซลลูโลส ลิกนิน และเฮมิเซลลูโลส ของพืชชนิดต่าง ๆดังตัวอย่างรูปที่ 2.7 2.8 และ 2.9 ตามลำดับ



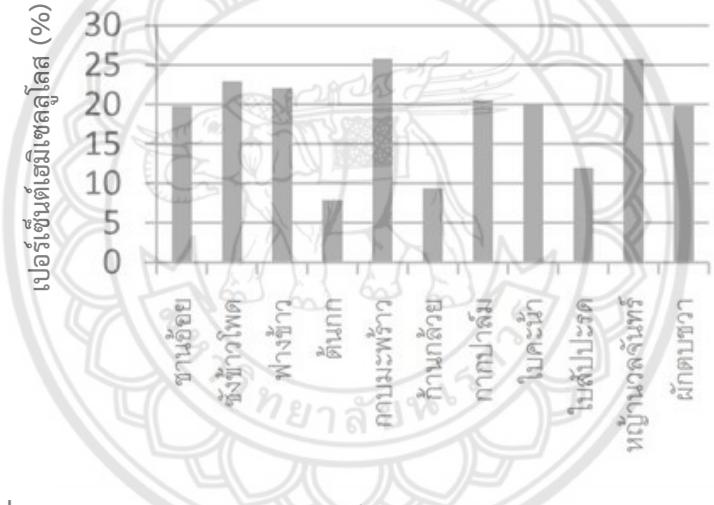
รูปที่ 2.7 กราฟแสดงปริมาณเปอร์เซ็นต์เซลลูโลสของตัวอย่างพืชชนิดต่าง ๆ

ที่มา : วิทวัส จิรัฐพงศ์ และคณะ, 2011



รูปที่ 2.8 กราฟแสดงปริมาณเปอร์เซ็นต์ลิกนินของตัวอย่างพืชชนิดต่าง ๆ

ที่มา : วิทวัส จิรัฐพงศ์ และคณะ, 2011

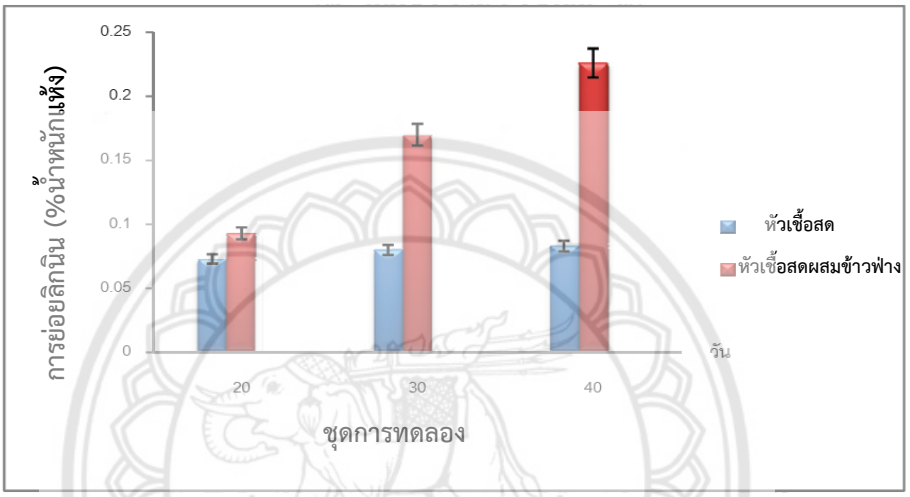


รูปที่ 2.9 กราฟแสดงปริมาณเปอร์เซ็นต์เฮมิเซลลูโลสของตัวอย่างพืชชนิดต่าง ๆ

ที่มา : วิทวัส จิรัฐพงศ์ และคณะ, 2011

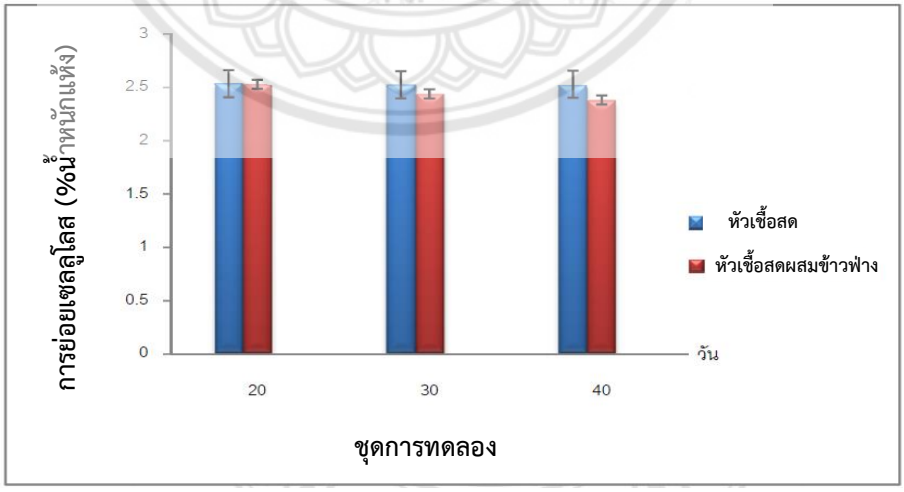
M.Sfiligoj Smole และคณะ (2013) ได้ศึกษาเส้นใยจากพืชเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอและการประยุกต์ใช้เฉพาะทาง โดยศึกษาโครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยที่ได้จากส่วนต่าง ๆของพืช เส้นใยที่ได้จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ผลการศึกษาพบว่าเส้นใย 2 ชนิดได้แก่ เส้นใยกล้วย (Musa sapientum) ได้มาจากส่วนของลำต้นเทียม (Pseudo stem) คือส่วนที่ยึดตัวของหน่อและเส้นใยจากชานอ้อย (Saccharumoffcinarum) มีโครงสร้างทางเคมีของเส้นใยที่แยกสกัดได้พบว่า เส้นใยชานอ้อยมีปริมาณเซลลูโลสสูง และเส้นใยกล้วยมีปริมาณเซลลูโลสน้อยกว่าชานอ้อย เส้นใยทุกชนิดมีปริมาณลิก-นินสูง และสมบัติการดูดซับความชื้นของเส้นใยเหล่านี้ใกล้เคียงกับฝ้าย

พินิจกานต์ อารีวงศ์ และคณะ (2012) ได้ศึกษาการผลิตเยื่อกระดาษจากฟางข้าวด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับกรรมวิธีโซดา และยังได้เปรียบเทียบการย่อยเซลลูโลสและลิกนิน โดยใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์แบบสดเปรียบเทียบกับหัวเชื้อจุลินทรีย์แบบผสมกับข้าวฟ่าง โดยการย่อยลิกนิก (%น้ำหนักแห้ง) หัวเชื้อจุลินทรีย์แบบแห้งสามารถย่อยสลายลิกนินได้ดีกว่าหัวเชื้อแบบสด และเปรียบเทียบการย่อยเซลลูโลส (%น้ำหนักแห้ง) หัวเชื้อสดสามารถย่อยสลายลิกนินได้ดีกว่าหัวเชื้อแบบแห้ง โดยค่าการย่อยลิกนิน (%น้ำหนักแห้ง) และเซลลูโลส (%น้ำหนักแห้ง) ที่ใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์แบบสดเปรียบเทียบกับหัวเชื้อจุลินทรีย์แบบผสมกับข้าวฟ่าง ผลออกมาดังแสดงในรูปที่ 2.10 และ 2.11 ตามลำดับ



รูปที่ 2.10 เปรียบเทียบการย่อยลิกนิน จากการหมักด้วยเชื้อรา *T. viride* และ เชื้อรา *T. viride* ผสมกับข้าวฟ่าง

ที่มา : พินิจกานต์ อารีวงศ์ และคณะ, 2012



รูปที่ 2.11 เปรียบเทียบการย่อยเซลลูโลส จากการหมักด้วยเชื้อรา *T. viride* และ เชื้อรา *T. viride* ผสมกับข้าวฟ่าง

ที่มา : พินิจกานต์ อารีวงศ์ และคณะ, 2012

ปัญญา ฉริยะพงศ์พันธุ์ (2013) ได้จัดทำเอกสารเกี่ยวกับการเลี้ยงและการดูแลสัตว์ทดลองในงานวิทยาศาสตร์ทดลอง โดยบรรยายเกี่ยวกับสถานที่เลี้ยงสัตว์ทดลองการเข้าใช้สถานที่ขั้นตอนการแต่งกายขณะปฏิบัติงาน การปฏิบัติงานประจำวันของเจ้าหน้าที่ การออกแบบพื้นที่ การควบคุมสภาพแวดล้อมการเลี้ยงสัตว์ทดลอง การทำความสะอาดห้อง กรง วัสดุเลี้ยงสัตว์รวมไปถึงสาเหตุและปัญหาสุขภาพที่เกิดขึ้นกับสัตว์ทดลอง เพื่อให้ทราบถึงข้อมูลที่ถูกต้องในการเลี้ยงสัตว์ทดลองของศูนย์ทดลองแห่งชาติมหาวิทยาลัยมหิดล

ชัยพร สามพุ่มพวง และคณะ (2003) ได้ศึกษาคุณสมบัติของกระดาษจากเยื่อกล้วยน้ำว้าพันธุ์มะลิอ่องเพื่องานหัตถกรรม เพื่อต้องการทราบว่าเยื่อจากส่วนไหนของลำต้นเทียมของกล้วยน้ำว้าที่สามารถนำมาผลิตกระดาษด้วยมือเพื่อใช้ในงานหัตถกรรมได้โดยลอกกาบออกจากลำต้นเทียม แบ่งกาบออกเป็น 3 ส่วนเท่า ๆกัน คือ กาบช่วงในตั้งแต่กาบที่ 1 - 4 กาบช่วงกลางตั้งแต่กาบที่ 5 - 8 และกาบช่วงนอกตั้งแต่กาบที่ 9 - 12 โดยนับจากกาบด้านในสุดออกมายังกาบด้านนอก อบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศา-เซลเซียสจนน้ำหนักคงที่ นำกาบกล้วยแห้งแต่ละส่วนต้มเยื่อในระบบเปิดโดยกรรมวิธีโซดาใช้สารโซเดียม-ไฮดรอกไซด์อีกร้อยละ 8 เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และฟอกเยื่อด้วยสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 4 โซเดียมซิลิเกต ร้อยละ 2 แมกนีเซียมซัลเฟตร้อยละ 0.05 และปรับ pH ให้ได้ 10.5 - 11.0 ด้วยโซดาไฟ ที่อุณหภูมิ 80 - 90 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ตารางเปรียบเทียบน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งจาก 3 ช่วงของต้นกล้วย (ชัยพร สามพุ่งพวง และคณะ, 2003)

Pseudo-stem period	Wet weight (%)	Dry weight (%)	Dry weight/Pseudo (%)
Inner	29.08	6.64	26.24
Middle	42.10	7.26	43.02
Outer	28.82	7.33	30.74

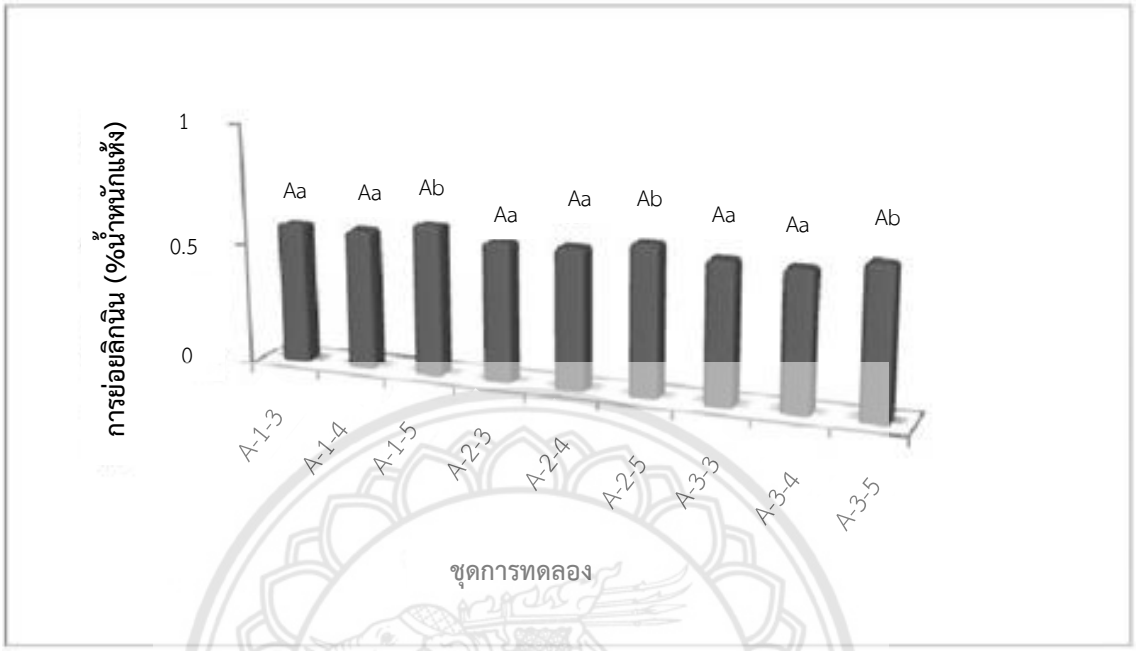
ลำต้นเทียมกล้วยมีน้ำหนักสดเฉลี่ย 13.12 กิโลกรัมต่อต้น เป็นกาบร้อยละ 75.99 และไส้กลางร้อยละ 24.01 ในส่วนของกาบจะมีน้ำร้อยละ 78.77 เมื่อแห้งจะเหลือน้ำหนักแห้งของกาบนอก กาบกลางและกาบในร้อยละ 30.74 43.02 และ 26.24 ตามลำดับ หลังต้มและฟอกขาวจะได้เยื่อร้อยละ 45.14 49.56 และ 53.09 ตามลำดับ กระดาษจากเยื่อผิวด้านในของกาบจะมีค่าดัชนีทนทานแรงดึงดีที่สุด กระดาษจากเยื่อผิวด้านนอกของกาบจะมีค่าดัชนีต้านทานแรงฉีกขาดที่ดีที่สุด ดังนั้นเยื่อจากผิวด้านในเหมาะในการใช้ทำกระดาษกล้วย และผสมในเยื่อสาเพื่อลดปริมาณการใช้เยื่อสาได้ดี เป็นการลดต้นทุน

ชยาภาส ทับทอง (2006) ได้ศึกษาการผลิตกระดาษทำมือจากต้นกล้วย ทำการทดลองโดยหาสภาวะที่เหมาะสมในการต้มเยื่อเพื่อให้ได้เส้นใยจากกล้วย ซึ่งต้มเยื่อโดยใช้สารโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ผลจากจากทดลองพบว่า กาบกล้วยสดไม่เหมาะที่จะใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตกระดาษทำมือเนื่องจากใช้ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในการต้มเยื่อสูงมากเพื่อให้เยื่อถูกตีด้วยเครื่องจนขาดได้และมีปัญหาในการจัดเก็บเพราะกาบกล้วยสดเกิดการเน่าเสียได้ง่าย และกาบกล้วยแห้งเหมาะที่จะใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตกระดาษทำมือ สภาวะที่เหมาะสมในการต้มเยื่อคือ ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เท่ากับ 22% แช่กาบกล้วยก่อนต้ม 17 ชั่วโมง ต้มเป็นเวลา 3 ชั่วโมง และตีเยื่อเป็นเวลา 5 นาที เยื่อที่ได้จะมีลักษณะเปื่อย สามารถตีเยื่อให้ขาดด้วยเครื่องตีเยื่อได้โดยไม่พันกับมอเตอร์ของเครื่อง และคุณสมบัติทางกายภาพที่ได้คือ มีน้ำหนักมาตรฐาน 51.08 g/m^2 และความหนา 0.164 mm ค่าดัชนีความต้านแรงดึง (Tensile Index) เท่ากับ 64.86 kN.m/kg ค่าดัชนีความต้านทานแรงดันทะลุ (Brust Index) เท่ากับ 2.76 kPa.m^2/g และค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีกขาด (Tear Index) เท่ากับ 15.22 mN.m^2/g

สุกาญจน์ รัตนเลิศนุสรณ์ ได้ทำการศึกษาเชื้อราปฏิปักษ์ จำนวน 3 ชนิด ได้แก่ *Trichoderma viride Trichoderma hazianum* และ *Trichoderma hamatum* บนฝักโกงกางใบเล็กและโสมขาว พบว่า เชื้อราปฏิปักษ์ *T. viride* สามารถสร้างเอนไซม์ Peroxidase Laccase และ Xylanase และสามารถย่อยสลาย lignocellulose ให้เป็นน้ำตาลมีค่าเท่ากับ 4.54 g/l รองลงมาได้แก่ *T. harzianum* และ *T. hamatum* ให้น้ำตาลมีค่าเท่ากับ 3.93 g/l และ 3.79 g/l ตามลำดับ เมื่อทดลองนำเชื้อราปฏิปักษ์ Trichoderma แต่ละชนิดผสมกับดินเลนสำหรับเพาะกล้าไม้โกงกางใบเล็ก (Rhizophora apiculata) แล้วนำกล้าไม้อายุ 6 เดือนไปปลูก บริเวณนากุ้งร้าง จังหวัดสมุทรสาคร พบว่ากล้าไม้โกงกางใบเล็กที่ใส่เชื้อราปฏิปักษ์ *T. viride* 2.4 x 107 cfu/gm มีการเจริญเติบโตดีที่สุด โดยมีขนาดลำต้นความสูงลำต้น และจำนวนใบดีกว่าชุดควบคุม 2 - 3 เท่า รองลงมา ได้แก่ *T. harzianum* และ *T. hamatum* ตามลำดับ

สุจยา ฤทธิศร และคณะ (2011) คิดค้นการผลิตกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าด้วยวิธีทางชีวภาพที่สามารถเก็บไว้ได้นานโดยกระดาษไม่เหลืองและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดย สุจยา ฤทธิ์ศร เปิดเผยว่าการผลิตกระดาษด้วยวิธีทางชีวภาพเป็นการใช้เชื้อจุลินทรีย์หมักกับวัตถุดิบ เพื่อย่อยสลายลิกนินในพืชแทนการใช้สารเคมีพวกโซเดียมไฮดรอกไซด์ ทำให้สามารถเพิ่มคุณภาพของกระดาษได้ดียิ่งขึ้น และช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากสารเคมี จากกระบวนการดังกล่าว นอกจากเชื้อรา *T.viride* จะย่อยสลายลิกนินไปเป็นจำนวนมากแล้ว ยังทำให้ในกระบวนการฟอกเยื่อกระดาษสามารถลดปริมาณการใช้สารไฮโดรเจนเปอร์-ออกไซด์ลงไปได้เป็นจำนวนมากกว่าการผลิตกระดาษแบบทั่วไป อีกทั้งการผลิตกระดาษด้วยวิธีทางชีวภาพกระดาษยังมีค่าความสว่างมากกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมการผลิตกระดาษและกระดาษยังมีความเหนียว นุ่ม สามารถเก็บไว้ได้นานกว่าการผลิตด้วยวิธีทางเคมี โดยกระดาษไม่กลับมาเป็นสีเหลืองอีกด้วย โดยค่าการย่อยลิกนินที่ได้จากการย่อยกาบกล้วยน้ำว้าด้วย *T. viride* และค่า

การย่อยเซลลูโลส ค่า Selection factor ที่ได้จากการย่อยกาบกล้วยน้ำว้าด้วย *T. viride* ดังแสดงในรูปที่ 2.12 และ 2.13 ตามลำดับ



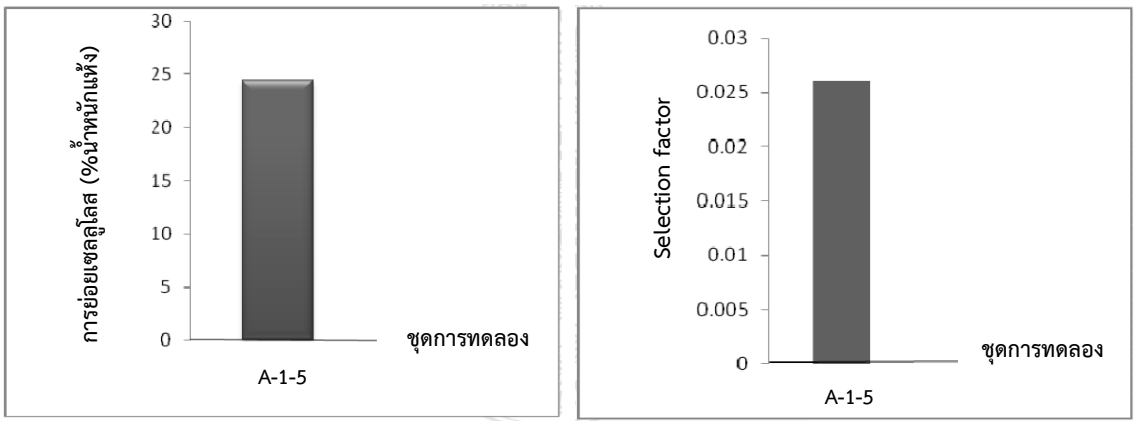
รูปที่ 2.12 การย่อยลิกนินที่ได้จากการย่อยกาบกล้วยน้ำว้าด้วย *T. viride*

ที่มา : สุจยา ฤทธิศร และคณะ, 2011

หมายเหตุ 1. ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ A B และ C หมายถึงปริมาณชิ้นวุ้นที่ใช้ คือ 1 2 และ 3 ชิ้น ตามลำดับ

2. ตัวอักษรพิมพ์เล็ก a b และ c หมายถึงเวลาที่ใช้ในการเพาะเลี้ยง คือ 3 4 และ 5 สัปดาห์ ตามลำดับ

3. สัญลักษณ์ A-x-y หมายถึง A แทน *T. viride*, x แทนจำนวนชิ้นวุ้น และ y แทนจำนวนสัปดาห์ที่ทำการทดลอง



ก) ข)

รูปที่ 2.13 การย่อยเซลลูโลสและค่า Selection factor ที่ได้จากการย่อยกาบกล้วยน้ำว้าด้วย *T. viride* (A-1-5) ก) การย่อยเซลลูโลส ข) ค่า Selection factor

ที่มา : สุจยา ฤทธิศร และคณะ, 2011

สุจยา ฤทธิศร และคณะ (2013) ได้วิจัยการผลิตกระดาษเชิงหัตถกรรมจากฟางข้าว ด้วยกรรมวิธีทางชีวภาพ โดย สุจยา ฤทธิศร มีความคิดนำฟางข้าวเหลือทิ้งจากภาคเกษตรกรรมมาเพิ่มมูลค่า โดยผลิตเป็นผลิตภัณฑ์กระดาษเชิงหัตกรรม ซึ่งนอกจากจะนำฟางข้าวมาใช้ให้เกิดประโยชน์แล้ว ยังช่วยลดปัญหาการตัดไม้เพื่อนำมาผลิตเยื่อกระดาษ และเป็นการทดแทนเยื่อไม้ป้อนอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษอีกทางหนึ่ง ด้วย สุจยา ฤทธิศร กล่าวว่า การวิจัยได้นำเชื้อราไตรโคเดอร์มา มาช่วยย่อยสลายฟางข้าว ซึ่งเป็นการลดการใช้สารเคมีที่ใช้ในการผลิตเยื่อกระดาษเช่นที่อุตสาหกรรมใช้กัน โดยขั้นตอนการทำคือนำฟางข้าวแช่น้ำ 1 คืนเพื่อให้อ่อนนุ่มขึ้น จากนั้นนำฟางข้าวมาตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ และนำมาใส่ถุงพลาสติกเหมือนการเพาะเห็ด แล้วนำไปนึ่งเพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ต่าง ๆที่อยู่ในฟางข้าวให้หมดไปประมาณ 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 100 องศา-เซลเซียส จากนั้นเตรียมเชื้อราไตรโคเดอร์มา โดยนำหัวเชื้อราผงมาเพาะเลี้ยงให้เจริญเติบโตโดยใช้ข้าวฟ่างเลี้ยงประมาณ 5 วัน จะได้หัวเชื้อรา จากนั้นนำหัวเชื้อราที่ได้ใส่ลงในฟางข้าวที่นึ่งฆ่าเชื้อแล้วหมักทิ้งไว้ในถุงพลาสติก 30 วัน จะทำให้ได้ค่าลิกนิน ที่น้อยลง เนื่องจากการผลิตกระดาษจะต้องกำจัดลิกนินออกให้เหลือน้อยที่สุด เพื่อจะได้เส้นใยเซลลูโลส สำหรับทำกระดาษ

ชาตรี หอมเขียว (2015) ได้วิจัยเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมการดูดซับน้ำของวัสดุเชิงประกอบพลาสติกและไม้ โดยวัสดุเชิงประกอบพลาสติกและไม้ คือวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากธรรมชาติของเส้นใยหรือผงไม้ที่ใช้มีองค์ประกอบหลักที่เป็นเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสซึ่งมีคุณสมบัติที่ชอบดูดซับน้ำโดยงานวิจัยนี้ได้ทำการการทดลองโดยการเพิ่มผงไม้เข้าไปในวัสดุเชิงประกอบพลาสติกและไม้มากขึ้นทำให้การดูดซับน้ำเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณของผงไม้

2.3 นิยามศัพท์เฉพาะ

เพื่อให้สามารถเข้าใจเนื้อหาของงานวิจัยจึงจำเป็นต้องนิยามคำศัพท์บางคำดังต่อไปนี้

2.3.1 สิ่งเพิ่มพูนสภาพแวดล้อมของสัตว์ทดลอง (Laboratory animals enrichment)

หมายถึง สิ่งของหรือวัสดุที่ช่วยส่งเสริมความเป็นอยู่ที่ดีของสัตว์ทดลองโดยกระตุ้นให้มีการรับรู้และการสั่งการจากโครงสร้างของสิ่งต่าง ๆซึ่งสนับสนุนการแสดงออกทางพฤติกรรมของสัตว์ ตัวอย่างสิ่งเพิ่มพูนสภาพแวดล้อมได้แก่ แท่งไม้สำหรับกัดเคี้ยวของสัตว์ฟันแทะ วัสดุรองนอนและวัสดุทำรัง เป็นต้น

2.3.2 สัตว์ทดลอง (Laboratory animals)

หมายถึง สัตว์ที่นำมาเลี้ยงเพื่อวัตถุประสงค์ในงานทางวิทยาศาสตร์ มีการสืบสายพันธุ์และเพาะขยายพันธุ์อย่างต่อเนื่อง มีพันธุกรรมคงที่ และมีสุขภาพดี ส่วนใหญ่เป็นสัตว์ฟันแทะขนาดเล็ก อย่างเช่น หนูไมซ์ หนูเม้าส์ หนูตะเภา หนูแฮมสเตอร์ และการต่าย ดังแสดงในรูปที่ 2.14

รูปที่ 2.14 หนูที่เลี้ยงเพื่อใช้ในงานทดลอง
ที่มา : http://www.larc.up.ac.th/#

2.3.3 อุปกรณ์ในการเลี้ยงหนูทดลอง (Rodent laboratory enrichment)

คือ อุปกรณ์และวัสดุที่ใช้สำหรับการเลี้ยงสัตว์ที่ผ่านการตรวจสอบว่าไม่มีสารปนเปื้อนที่นำมาสู่การติดเชื้อหรือการเกิดโรคแทรกซ้อนในสัตว์ทดลอง อุปกรณ์เหล่านี้เป็นสิ่งเพิ่มพูนสภาพแวดล้อมเพื่อส่งเสริมความเป็นอยู่ที่ดีของสัตว์ อุปกรณ์ในการเลี้ยงหนูทดลองที่ทำจากกระดาษมีดังนี้

2.3.3.1 วัสดุรองนอน (Crinkle nest) คือ วัสดุที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์ทดลองเพื่อให้สัตว์ได้พักผ่อนและนอนหลับอย่างเพียงพอ นอกจากนี้ยังดูดซับปัสสาวะที่สัตว์ขับถ่ายออกมาไม่ทำให้กรงอับชื้นเอื้อต่อการทำความสะอาด อีกทั้งยังช่วยดูดกลิ่นไม่พึงประสงค์ ดังแสดงในรูปที่ 2.15

รูปที่ 2.15 วัสดุรองนอนและวัสดุทำรังที่ใช้ในการเลี้ยงหนูทดลอง
ที่มา : ปัญญา ฉริยะพงศ์พันธุ์, 2013

2.3.3.2 **วัสดุกัดแทะ (Sticks)** คือ แท่งกระดาษหรือแท่งไม้สำหรับสัตว์ฟันแทะกัดเคี้ยว ปัจจุบันมีการนำพอลิเมอร์มาทำวัสดุกัดแทะนี้ด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.16

ก) ข)

รูปที่ 2.16 วัสดุกัดแทะสำหรับหนูทดลอง ก) วัสดุกัดแทะที่ทำจากกระดาษ
ข) วัสดุกัดแทะที่ทำจากพอลิเมอร์

ที่มา : http://www.bioserv.com/category/Rodent_Enrichment_Devices.html

2.3.3.3 วัสดุทำรัง (Huts or Retreats) คือ วัสดุสำหรับทำรังช่วยให้หลบหนีได้ถ้าถูกรบกวนและหลีกเลี่ยงความเครียดจากความหนาวเย็นขณะพักผ่อนและนอนหลับ (Janet C. Garbour. Et al, 2011) ดังแสดงในรูปที่ 2.17

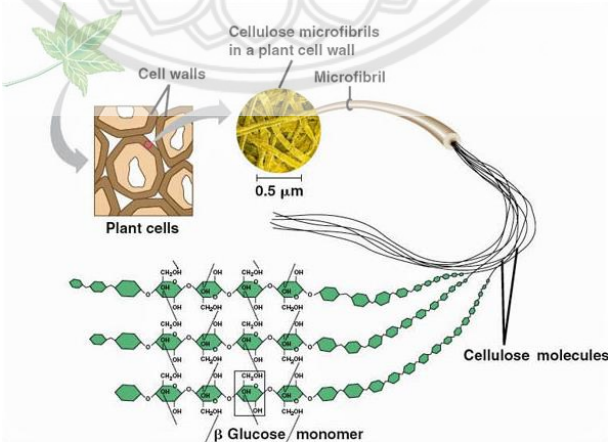
ก) ข)

รูปที่ 2.17 วัสดุทำรังของหนูทดลอง ก) วัสดุทำรังที่ขึ้นรูปจากกระดาษ ข) วัสดุทำรังที่ขึ้นรูปจากพอลิเมอร์

ที่มา : http://www.bioserv.com/category/Rodent_Enrichment_Devices.html

2.3.4 เส้นใยพืช (Plant fiber) (สุจยา ฤทธิศร, 2011)

คือ สิ่งที่มีลักษณะเป็นเส้นยาวเรียวได้จากเส้นใยธรรมชาติ จะมีส่วนประกอบทางเคมีส่วนใหญ่เป็นเซลลูโลส ซึ่งได้จากลำต้นของพืช ดังแสดงในรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 ลักษณะโครงสร้างทั่วไปของเส้นใยพืช

ที่มา : Erin Barley. Et al, 2011

2.3.5 เยื่อ (Pulp) (สุจยา ฤทธิศร, 2011)

คือ สิ่งที่มีลักษณะเปื่อยยุ่ยซึ่งได้จากการนำกาบกล้วยหรือชานอ้อยมาปั่นละเอียดก่อนนำไปต้มจนกระทั่งได้เยื่อออกมา ดังแสดงในรูปที่ 2.19

รูปที่ 2.19 ตัวอย่างเยื่อที่ผ่านการปั่นและต้ม

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและปรับปรุงกระบวนการเตรียมเส้นใยพืชในการขึ้นรูปเป็นวัสดุที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์ทดลอง พืชที่นำมาศึกษาคือ กล้วย เนื่องจากกล้วย เป็นพืชที่หาง่ายในท้องถิ่น มีเส้นใยในปริมาณที่มากและมีราคาไม่สูง โดยใช้กาบกล้วยซึ่งเป็นส่วนที่ได้จากลำต้นและให้เส้นใยมากที่สุดของพืชชนิดนี้ จากการศึกษาเบื้องต้นในการต้มวัตถุดิบเพื่อแยกเส้นใยพืช พบว่าต้องใช้สารเคมี เวลา และอุณหภูมิที่เหมาะสมจึงจะได้เส้นใยที่เปื่อยยุ่ย เหนียว และมีคุณภาพเหมาะต่อการขึ้นรูป คณะผู้วิจัยจึงสนใจนำจุลินทรีย์ที่มีคุณสมบัติในการย่อยสลายลิกนินมาเป็นวัตถุดิบในการช่วยลดระยะเวลาในการเตรียมเส้นใยพืช เนื่องจากการใช้สารเคมีนั้นไม่เป็นผลดีเมื่อนำไปใช้งานกับสัตว์ทดลอง คณะผู้วิจัยจึงศึกษาเฉพาะกระบวนการเตรียมเส้นใยพืชและคุณสมบัติของเส้นใยพืชที่ได้จากการเตรียมโดยใช้จุลินทรีย์เท่านั้น โดยมีวิธีการดังนี้

3.1 วัตถุดิบและอุปกรณ์

3.1.1 วัตถุดิบ

1) กาบกล้วยพันธุ์มะลิอ่องจากกลุ่มวิสาหกิจชุมชนตะโม่สร้างสรรค์ อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก
2) จุลินทรีย์ไตรโคเดอร์มาฮาเซียนั่ม

3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1) เครื่องมือให้ความร้อน (Hot plate)
2) เทอร์โมมิเตอร์ 100 องศาเซลเซียส
3) เครื่องปั่น
4) เครื่องชั่งความละเอียด 4 ตำแหน่ง
5) กรอบไม้ช้อนเยื่อ ขนาด 20 × 20 เซนติเมตร
6) อ่างช้อนเยื่อ ขนาด 60 × 60 เซนติเมตร
7) ผ้าดิบ ขนาด 25 × 25 เซนติเมตร
8) เครื่องขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์แบบกดอัด
9) หม้อต้มแรงดันสแตนเลส ปริมาตร 6 ลิตร ยี่ห้อ Seagull
10) บีกเกอร์

11) กูช ครูซิเบิล (Gooch crucible)

12) เครื่องดูดสุญญากาศ (Vacuum pump)

3.1.3 สารเคมี

1) สารละลายการวิเคราะห์หาเยื่อใยที่ละลายในสารฟอกที่เป็นกลาง (Neutral Detergent Fiber solution, NDF)

- โซเดียม ลอริล ซัลเฟต ปริมาณ 30 กรัม
- ไดโซเดียม เอทิลีน ไดอามีน เตตระ อะซิติก (EDTA) ปริมาณ 18.61 กรัม
- โซเดียม บอเรต เดคะไฮเดรต หรือ บอแรกซ์ ปริมาณ 6.81 กรัม
- ไดโซเดียม ไฮโดรเจร ฟอสเฟต แอนไฮดรัส ปริมาณ 4.56 กรัม
- ไดเอทธอกซี เอทานอล ปริมาณ 10.75 มิลลิลิตร

2) สารละลายการวิเคราะห์หาเยื่อใยที่ละลายในสารฟอกที่เป็นกรด (Acid Detergent Fiber solution, ADF)

- 98 % กรดซัลฟิวริก ปริมาตร 27.5 มิลลิลิตร
- ซิติว ไตรเมทิล แอมโมเนียม โบรไมด์ (CTAB) ปริมาณ 20 กรัม
- อะซิโตน

3.1.4 เครื่องทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของชิ้นงาน

เครื่องทดสอบคุณสมบัติเชิงกล (Universal Testing Machine) รุ่น LR 10K Plus

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 ขั้นตอนการเตรียมเส้นใยกล้วยที่ใช้ในการหมักบ่ม

3.2.1.1 โดยเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ไตรโคเดอร์มา

1) นำกาบกล้วยแห้งปริมาณ 250 กรัม ไปแช่น้ำปริมาตร 5 ลิตร เป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้กาบกล้วยอ่อนตัว ชุ่มน้ำ และเพื่อชำละล้างสิ่งสกปรก เช่น ดิน หิน ฝุ่น หรือสิ่งแปลกปลอมอื่น ๆ

2) นำไปหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์ไตรโคเดอร์มา โดยนำกาบกล้วยปริมาณ 250 กรัม หมักบ่มด้วยน้ำปริมาตร 5 ลิตร และจุลินทรีย์ปริมาณ 20 กรัม 50 กรัม และ 100 กรัม ตามลำดับ โดยระยะเวลาที่ใช้ในการหมักบ่มคือ 3 วัน

3) นำกาบกล้วยที่ผ่านการหมักบ่ม 3 วัน ไปปั่นครั้งแรกด้วยเครื่องปั่นขนาด 30 ลิตร กำลังมอเตอร์ 3 แรงปั่น ทำการปั่นทั้งหมด 3 ครั้ง ครั้งละ 2 นาที จะได้เยื่อที่มีลักษณะของเส้นใยกล้วยหยาบ ๆ

4) นำเยื่อที่ได้จากการปั่นในครั้งแรกไปต้มด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อให้เยื่อที่ได้มีความเปื่อยยุ่ยมากขึ้น

5) นำกลับไปปั่นในครั้งที่ 2 ด้วยเครื่องปั่นขนาด 30 ลิตร กำลังมอเตอร์ 3 แรงปั่น ทำการปั่นทั้งหมด 3 ครั้ง ครั้งละ 2 นาที หลังจากกระบวนการปั่นครั้งนี้จะได้เยื่อที่มีลักษณะของเส้นใยกล้วยที่มีขนาดเล็ก เปื่อยยุ่ย และละเอียดมากขึ้น ซึ่งจะนำไปขึ้นรูปเป็นแผ่นชิ้นงานในกระบวนการถัดไป

3.2.2.1 โดยเปลี่ยนแปลงระยะเวลาที่ใช้ในการหมักบ่ม

1) นำกาบกล้วยแห้งปริมาณ 250 กรัม ไปแช่น้ำปริมาตร 5 ลิตร เป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้กาบกล้วยอ่อนตัว ชุ่มน้ำ และเพื่อชำละล้างสิ่งสกปรก เช่น ดิน หิน ฝุ่น หรือสิ่งแปลกปลอมอื่น ๆ

2) นำกาบกล้วยปริมาณ 250 กรัม หมักบ่มด้วยน้ำปริมาตร 5 ลิตร และจุลินทรีย์ปริมาณ 20 กรัม โดยระยะเวลาที่ใช้ในการหมักบ่มคือ 3 วัน 5 วัน และ 7 วัน

3) นำกาบกล้วยที่ผ่านการหมักบ่ม 3 วัน 5 วัน และ 7 วัน ขึ้นรูปเป็นแผ่นชิ้นงานโดยทำเช่นเดียวกันขั้นตอนที่ 3.2.2.1 ข้อที่ 3) – 5)

3.2.3 ขั้นตอนการขึ้นรูปเป็นแผ่นชิ้นงาน (กฤตลักษณ์ ช้างรบ และ จริยา ก่อน้อย, 2016)

1) นำเยื่อกล้วยที่ได้จากขั้นตอนที่ 3.2.2.1 และ 3.2.2.2 มาทำการกดไล่น้ำออกเพื่อให้เยื่อกล้วยหมาด และนำไปชั่งน้ำหนักให้ได้น้ำหนักประมาณ 150 กรัม ต่อ 1 ชิ้นงาน

2) นำเยื่อกล้วยที่ชั่งน้ำหนักแล้วเข้าสู่ขั้นตอนการขึ้นรูปเป็นแผ่นชิ้นงาน

3) นำแม่พิมพ์ชิ้นงานอันแรก (ที่มีตาข่าย) มารองเยื่อกล้วยเป็นชั้นแรก ใส่น้ำลงไปให้ท่วมตาข่ายขึ้นมาเล็กเพียงเล็กน้อยเพื่อให้ง่ายต่อการตีเยื่อกล้วยให้กระจายได้ทั่วทั้งแผ่นแม่พิมพ์ชิ้นงาน

4) นำเยื่อกล้วยที่เตรียมไว้ใส่ลงไปในแม่พิมพ์ชิ้นงานชั้นแรก ทำการตีเยื่อกล้วยให้กระจายเท่ากันทั่วทั้งแม่พิมพ์ชิ้นงาน

5) นำแม่พิมพ์ชิ้นงานอันที่สอง (ที่ไม่มีตาข่าย) มาวางซ้อนทับแม่พิมพ์ชิ้นงานชั้นแรก

6) นำผ้าขาวบางที่มีรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสมาวางซ้อนทับแม่พิมพ์ชิ้นงานชั้นที่สอง

7) นำแผ่นเหล็กรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสแผ่นแรกขนาด 20×20 เซนติเมตร วางซ้อนทับผ้าขาวบาง

8) พลิกด้านของแม่พิมพ์ชิ้นงานให้แม่พิมพ์ชิ้นงานอันแรก (ที่มีตาข่าย) ขึ้นมาอยู่ชั้นบนสุด และให้แผ่นเหล็กแผ่นแรกอยู่ชั้นล่างสุดเพื่อเป็นแผ่นรองเยื่อกล้วย

9) นำแม่พิมพ์ชิ้นงานอันแรกและอันที่สองออก จะได้เยื่อกล้วยที่มีลักษณะเป็นแผ่นชิ้นงานวางซ้อนทับอยู่บนแผ่นเหล็กแผ่นแรก

10) นำผ้าขาวบางแผ่นที่สองมาวางบนชิ้นงานอีกครั้ง

11) นำแผ่นเหล็กแผ่นที่สองมาวางซ้อนทับชั้นบนสุดเพื่อทำการกดไล่เอาน้ำที่อยู่ในชิ้นงานออก

12) นำแผ่นเหล็กและผ้าขาวบางที่อยู่ด้านบนสุดออก

13) นำชิ้นงานที่ได้ไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

14) เมื่อผ่านการอบแล้วจะได้ชิ้นงานที่แห้งและมีลักษณะเป็นแผ่น จากนั้นทำการชั่งน้ำหนักชิ้นงานทุกแผ่นและบันทึกผล

3.3 การศึกษาคุณสมบัติทางเคมี เชิงกายภาพ และเชิงกล

3.3.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบของเส้นใยกล้วย

ใช้วิธีการวิเคราะห์หาเยื่อใย (Detergent fiber method analysis) เพื่อหาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยกล้วยที่ได้จากการหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์ไตรโคเดอร์มาและน้ำ

3.3.1.1 การวิเคราะห์หาเยื่อใยที่ละลายในสารฟอกที่เป็นกลาง หรือ NDF (ที่มา : คู่มือการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ เรื่อง การใช้เครื่องมืออุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ และการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารสัตว์) เป็นการต้มตัวอย่างในสารฟอกที่เป็นกลาง ซึ่งส่วนประกอบภายในเซลล์ จะถูกละลายออกมาในสารละลาย ส่วนที่เป็นเยื่อใยจะไม่ถูกย่อย เรียกว่า NDF

วิธีการเตรียมสารละลาย NDF

1) เตรียมสาร ไดโซเดียม เอทิลีน ไดอามีน เตตระ อะซิติก ปริมาณ 18.61 กรัม
2) เตรียมสาร โซเดียม บอเรต เดคะไฮเดรต ปริมาณ 6.81 กรัม
3) เตรียมสาร โซเดียม ลอริล ซัลเฟต ปริมาณ 30 กรัม
4) เตรียมสาร ไดเอทธอกซี เอทานอล ปริมาณ 10 กรัม
5) เตรียมสาร ไดโซเดียม ไฮโดรเจร ฟอสเฟต แอนไฮดรัส ปริมาณ 4.56 กรัม
6) ผสมสารทุกอย่างเข้าด้วยกันแล้วเติมน้ำให้เต็มจนได้ปริมาตรเท่ากับ 1 ลิตร

ขั้นตอนการทดลอง

1) เตรียมชั่งตัวอย่างชิ้นงานประมาณ 1 กรัม ทำซ้ำทั้งหมดทั้งหมด 3 ตัวอย่าง
2) เติมสารละลาย NDF ปริมาตร 100 มิลลิลิตรในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร
3) ต้มสารละลายจนเดือดประมาณ 15 นาที นำตัวอย่างชิ้นงานใส่ลงไปแล้วลดความร้อนให้มีการเดือดเพียงเล็กน้อย
4) ต้มสารตัวอย่างต่อนาน 1 ชั่วโมง

5) นำสารตัวอย่างออกแล้วกรองด้วยผ้าขาวแบบละเอียดล้างด้วยน้ำเปล่าปริมาตร 2,500 มิลลิลิตรจนกระทั่งฟองหมด จากนั้นล้างต่อด้วยอะซิโตนปริมาตร 20 มิลลิลิตร และล้างต่อด้วยน้ำเปล่าปริมาตร 250 มิลลิลิตร

6) นำตัวอย่างที่ผ่านการกรองใส่กระดาษกรองและครูซิเบิล

7) อบตัวอย่างที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 12 ชั่วโมง

8) ชั่งน้ำหนักและบันทึกผล

การวิเคราะห์หาเยื่อใยที่ละลายในสารฟอกที่เป็นกลาง (Neutral-detergent fiber, NDF)

$$\%\ \mathrm{NDF} = \left(\frac{(W_{NDF} + W_C) - (W_C)}{W_S} \right) \times 100 \qquad \text{สมการที่ 3.1}$$

เมื่อ W_{NDF} คือ น้ำหนักของเยื่อ NDF

W_C คือ น้ำหนักของถ้วยครูซิเบิล

W_S คือ น้ำหนักของสารตัวอย่าง

3.3.1.2 การวิเคราะห์หาเยื่อใยที่ละลายในสารฟอกที่เป็นกรด หรือ ADF (ที่มา : คู่มือการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ เรื่อง การใช้เครื่องมืออุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ และการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารสัตว์) เป็นการย่อย NDF ออก โดยเฮมิเซลลูโลสจะละลายอยู่ในสารฟอกที่เป็นกรด จะเหลือ โปรตีน เซลลูโลส และลิกนิน

วิธีการเตรียม

1) ชั่ง ซิติว ไตรเมทิล แอมโมเนียม โบรไมด์ ปริมาณ 20 กรัม ในบีกเกอร์ แล้วเติมน้ำปริมาตร 0.5 ลิตร ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน

2) เติมน้ำกลั่นปริมาตร 200 มิลลิลิตร แล้วนำเข้าตู้ดูดควัน เติม 96% กรดซัลฟิวริก ปริมาตร 27.5 มิลลิลิตร

3) เติมสารในข้อที่ 1) และ 2) ลงในถังเก็บสาร แล้วจึงเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรรวม 1 ลิตร ตามลำดับ

ขั้นตอนการทดลอง

1) เติมสารละลาย ADF ปริมาตร 100 มิลลิลิตรในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร

2) ต้มสารละลายจนเดือดประมาณ 15 นาที นำตัวอย่าง NDF ใส่ลงไปแล้วลดความร้อนให้มีการเดือดเพียงเล็กน้อย

3) ต้มสารตัวอย่างต่อนาน 1 ชั่วโมง

4) นำสารตัวอย่างออกแล้วกรองด้วยผ้าขาวแบบละเอียดล้างด้วยน้ำเปล่าปริมาตร 2,500 มิลลิลิตรจนกระทั่งฟองหมด จากนั้นล้างต่อด้วยอะซิโตนปริมาตร 20 มิลลิลิตร และล้างต่อด้วยน้ำเปล่าปริมาตร 250 มิลลิลิตร

5) นำตัวอย่างที่ผ่านการกรองใส่กระดาษกรองและครูซิเบิล

6) อบตัวอย่างที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 12 ชั่วโมง

7) ชั่งน้ำหนักและบันทึกผล

การวิเคราะห์หาเยื่อใยที่ละลายในสารฟอกที่เป็นกรด (Acid-detergent fiber, ADF)

$$\%\ \mathrm{ADF} = \left(\frac{(W_{ADF} + W_C) - (W_C)}{W_S} \right) \times 100 \qquad \text{สมการที่ 3.2}$$

เมื่อ W_{ADF} คือ น้ำหนักของเยื่อ ADF

W_C คือ น้ำหนักของถ้วยครูซิเบิล

W_S คือ น้ำหนักของสารตัวอย่าง

3.3.1.3 **การวิเคราะห์หาลิกนิน (Acid Detergent Lignin, ADL)** (ที่มา : คู่มือการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ เรื่อง การใช้เครื่องมืออุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ และการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารสัตว์) เป็นการหาปริมาณลิกนินใน ADF โดยใช้กรดซัลฟิวริกละลายเซลลูโลสออกจากลิกนิน

วิธีการเตรียม

1) เตรียม 72% กรดซัลฟิวริก ปริมาตร 40 มิลลิลิตร

2) เตรียมอะซิโตนปริมาตร 20 มิลลิลิตร

ขั้นตอนการทดลอง

1) เติมซัลฟูริกความเข้มข้น 72 % ลงในครูซิเบิลตัวอย่าง ADF ปริมาตร 40 มิลลิลิตร

2) ใช้แท่งแก้วคนสารคน และตั้งทิ้งไว้ 3 – 4 ชั่วโมง

3) กรองเยื่อที่เหลือด้วยผ้าขาวล้างด้วยน้ำเปล่าปริมาตร 250 มิลลิลิตร

4) ล้างด้วยอะซิโตนปริมาตร 20 มิลลิลิตร

5) ล้างต่อด้วยน้ำเปล่าอีก 200 มิลลิลิตร

6) นำเยื่อที่กรองได้ใส่ครูซิเบิล แล้วนำเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 12 ชั่วโมง

7) นำตัวอย่างชั่งน้ำหนักทั้งครูซิเบิล

8) หลังจากได้ตัวอย่าง ADL ที่ผ่านการอบแล้ว ให้นำตัวอย่างเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง

9) นำตัวอย่าง ADL หลังการเผามาชั่งน้ำหนักทั้งครูซิเบิล

การวิเคราะห์หาลิกนิน (Acid-detergent Lignin, ADL)

$$\%\,\mathrm{ADL} = \left(\frac{(W_{ADL} + W_C) - (W_C)}{W_S} \right) \times 100 \qquad \text{สมการที่ 3.3}$$

เมื่อ W_{ADL} คือ น้ำหนักของเยื่อ ADL

W_C คือ น้ำหนักของถ้วยครูซิเบิล

W_S คือ น้ำหนักของสารตัวอย่าง

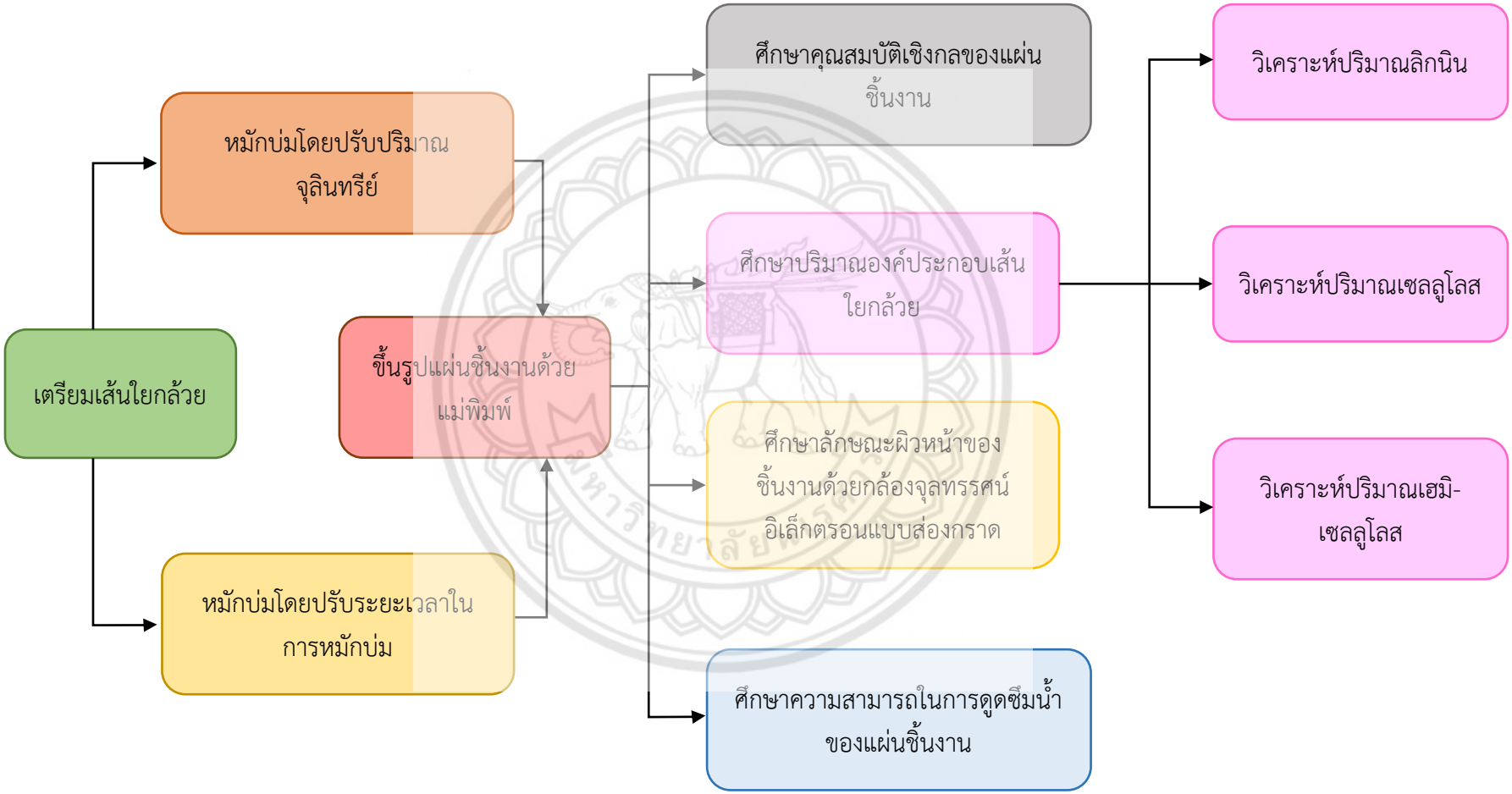
3.3.2 การศึกษาการดูดซึมน้ำ

หาได้จากการนำแผ่นทดสอบจำนวน 1 แผ่นหยดน้ำโดยเทียบจากการหยดด้วยหลอดหยดทางวิทยาศาสตร์ซึ่งหนึ่งหยดมีปริมาตร 0.05 ลูกบาศก์เซนติเมตร ทั้ง 9 จุดทั่วแผ่นชิ้นงาน พร้อมทั้งจับเวลาโดยบันทึกค่าที่ได้เมื่อน้ำซึมเข้าสู่ผิวของชิ้นงาน และทดสอบปริมาตรน้ำที่ชิ้นงานรับได้ทั้งหมดต่อพื้นที่ใช้งาน โดยการนำแผ่นชิ้นงานวางบนกระดาษ A4 จากนั้นหยดน้ำให้ทั่วแผ่น จนกระทั่งมีการซึมออกของน้ำบริเวณรอบแผ่นชิ้นงาน และบันทึกปริมาตรของน้ำทั้งหมดที่แผ่นชิ้นงานสามารถรับได้

3.3.3 การศึกษาความต้านทานแรงดึง

ใช้เครื่องทดสอบคุณสมบัติเชิงกลตามมาตรฐาน ASTM โดยงานวิจัยนี้ได้เตรียมแผ่นชิ้นงานทดสอบขนาด 17×1.5 เซนติเมตร ทำการทดสอบความต้านทานแรงดึง และระยะยืด โดยให้ระยะห่างระหว่างตัวหนีบ (Gauge range) ทั้งสองตัวเท่ากับ 10 เซนติเมตร และใช้โหลดเซลล์ (Load cell) ขนาด 5 กิโลนิวตัน ความเร็วที่ใช้ในการดึง 10 มิลลิเมตรต่อนาที โดยทำการทดสอบซ้ำแบบเดิม 3 ตัวอย่าง แล้วหาค่าเฉลี่ยเพื่อนำมาวิเคราะห์ผลการทดสอบ

3.4 แผนภาพการทดลอง

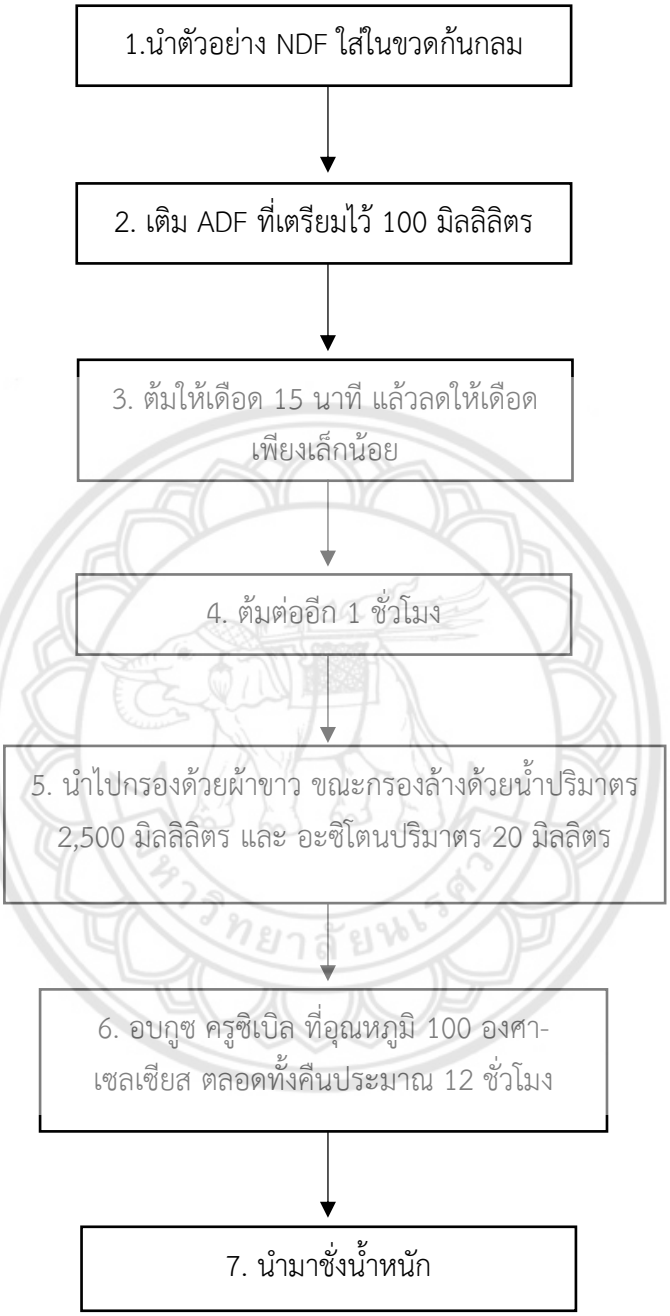


3.5 แผนภาพการศึกษาปริมาณจุลินทรีย์ไตรโคเดอร์มาที่ใช้ในการหมักบ่ม

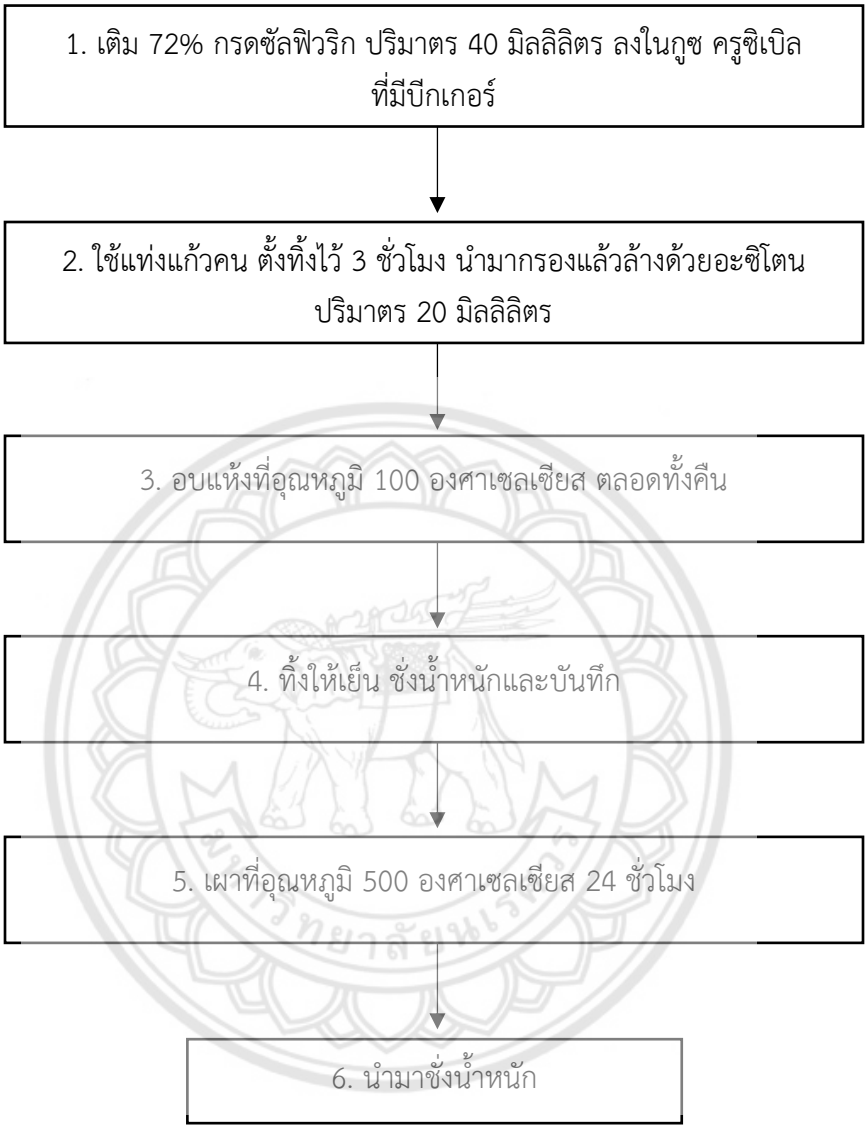
3.6 แผนภาพการศึกษาระยะเวลาในการหมักบ่ม

3.7 แผนภาพการหาการวิเคราะห์หาเยื่อใยที่ละลายในสารฟอกที่เป็นกลาง หรือ NDF

3.8 แผนภาพการหาการวิเคราะห์หาเยื่อใยที่ละลายในสารฟอกที่เป็นกรด หรือ ADF



3.9 แผนภาพการหาการวิเคราะห์หาลิกนิน หรือ ADL



บทที่ 4
ผลการทดลองและการวิเคราะห์

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษากระบวนการเตรียมเส้นใยกล้วยโดยใช้วิธีทางชีวภาพในการขึ้นรูปเป็นสิ่งเพิ่มพูนสภาพแวดล้อมสำหรับสัตว์ทดลองประเภทฟันแทะโดยใช้จุลินทรีย์ โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ขั้นตอนหลัก คือ การศึกษาองค์ประกอบภายในของเส้นใยกล้วย การศึกษาความสามารถในการดูดซึมน้ำ และการศึกคุณสมบัติเชิงกลของชิ้นงาน

4.1 ผลของจุลินทรีย์ต่อความสามารถในการย่อยลิกนินในเส้นใยกล้วย

ในตอนนี้นำเสนอผลการทดลองและการวิเคราะห์องค์ประกอบของเส้นใยกล้วยโดยวิธี Detergent method โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการลดลงของปริมาณลิกนิน ได้แก่ ผลของปริมาณจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมักบ่ม (กรัม) ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการหมักบ่ม (วัน) และผลของการนำเส้นใยที่ผ่านการเตรียมไปทดสอบสมบัติที่จำเป็นต่อการใช้งานการใช้งาน

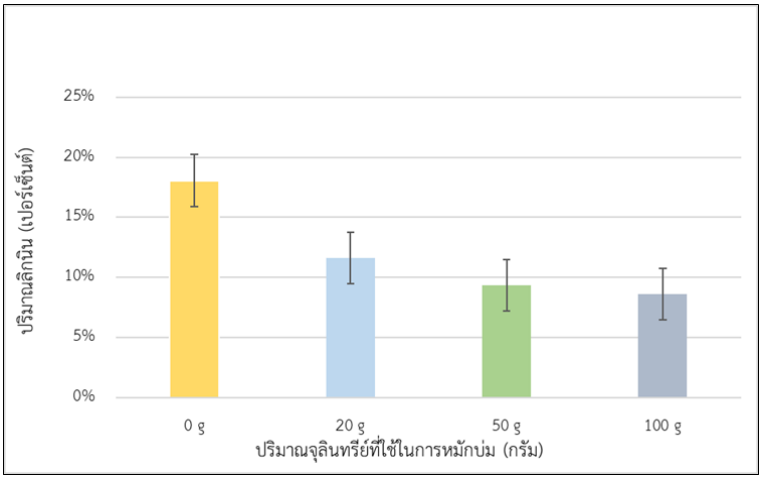
4.1.1 ผลของปริมาณจุลินทรีย์ต่อปริมาณลิกนินในเส้นใยกล้วยหลังการหมักบ่ม

ในหัวข้อนี้เป็นการศึกษาผลการทดลองของการเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมักบ่มจาก 20 กรัม เป็น 50 และ 100 กรัม โดยควบคุมระยะเวลาในการหมักบ่มด้วย 3 วัน โดยอัตราส่วนการทดลองเป็นปริมาณกาบกล้วยแห้ง 250 กรัม ต่อน้ำปริมาตร 5 ลิตร ซึ่งผลขององค์ประกอบของเส้นใยกล้วยแสดงดังตารางที่ 4.1 และปริมาณของลิกนินในเส้นใยกล้วยแสดงดังรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงองค์ประกอบของเส้นใยกล้วย (เปอร์เซ็นต์) ที่ได้จากการใช้ปริมาณจุลินทรีย์ในการหมักบ่มต่างกัน (กรัม) โดยมีระยะเวลาในการหมักบ่ม 3 วัน

องค์ประกอบของเส้นใยกล้วย	ปริมาณจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมักบ่ม (กรัม)			
	0	20	50	100
1. ปริมาณ lignin (เปอร์เซ็นต์)	18.06	11.60	9.36	8.61
2. ปริมาณ cellulose (เปอร์เซ็นต์)	62.55	79.56	81.41	81.91
3. อื่น ๆ (เปอร์เซ็นต์)	19.38	8.84	9.23	9.48

หมายเหตุ ที่ปริมาณจุลินทรีย์ 0 กรัม คือตัวอย่างชิ้นงานไม่ผ่านการหมักบ่ม



รูปที่ 4.1 แสดงผลของปริมาณจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมักบ่มต่างกันต่อปริมาณลิกนินของเส้นใยกล้วยที่ระยะเวลาในการหมักบ่ม 3 วัน

จากรูปที่ 4.1 แสดงปริมาณลิกนินของเส้นใยกล้วยที่ปริมาณจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมักบ่มต่างกัน พบว่าเส้นใยกล้วยที่ไม่ผ่านการหมักบ่ม มีปริมาณลิกนินสูงที่สุดเท่ากับ 18.06 เปอร์เซ็นต์ โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ วิทวัส จิรัฐพงศ์ และคณะ ได้ทำการศึกษาปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินจากของเหลือทิ้งจากพืชเพื่อใช้ในการผลิตแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพโดยใช้วิธี Detergent method ได้ปริมาณลิกนินของเส้นใยกล้วยประมาณ 17-18 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการมีปริมาณลิกนินสูงจะส่งผลให้ชิ้นงานมีความแข็ง และขึ้นรูปยาก แต่เมื่อเส้นใยผ่านการหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์ปริมาณ 20 50 และ 100 กรัม ปริมาณลิกนินเฉลี่ยที่ได้จะมีค่าลดลงเท่ากับ 11.60 9.36 และ 8.61 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยปริมาณของจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมักบ่มแตกต่างกันมีผลต่อการลดลงของลิกนินเพียงเล็กน้อยเนื่องมาจากกระบวนการย่อยนั้นต้องใช้เอนไซม์กลุ่มลิกนิโนไลติก (Ligninolytic enzyme) ซึ่งเอนไซม์ลิกนิโนไลติกเป็นเอนไซม์ที่สามารถย่อยลิกนินในเซลล์พืชได้ โดยลิกนินเป็นสารประกอบโพลีเมอร์อโรมาติก ถูกเชื่อมโยงด้วยเฮมิเซลลูโลสกับลิกนิน การย่อยสลายลิกนินของจุลินทรีย์สามารถอธิบายได้ถึงกระบวนการออกซิเดชั่น รีดักชั่น โดยเอนไซม์ lignin peroxidase, Manganese peroxidase และ Laccase เกิดขึ้นพร้อมกับการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของลิกนิน (สุจิยา ฤทธิศร ,2011) เมื่อลิกนินละลายออกได้มากขึ้นจะทำให้เส้นใยแยกออกจากกันได้มากขึ้นปริมาณของเซลลูโลสจึงเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากปริมาณลิกนินในเส้นใยกล้วยที่ผ่านการหมักบ่มโดยเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์นั้นมีค่าใกล้เคียงกันผู้วิจัยจึงทำการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับปริมาณลิกนินที่ลดลงนั้นต่างกันเพียงเล็กน้อยเกิดจากปริมาณของจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นไม่ส่งผลต่อการย่อยลิกนินหรือระยะเวลาในการผลิตเอนไซม์ของจุลินทรีย์ไม่มากพอ ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการหมักบ่มซึ่งจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

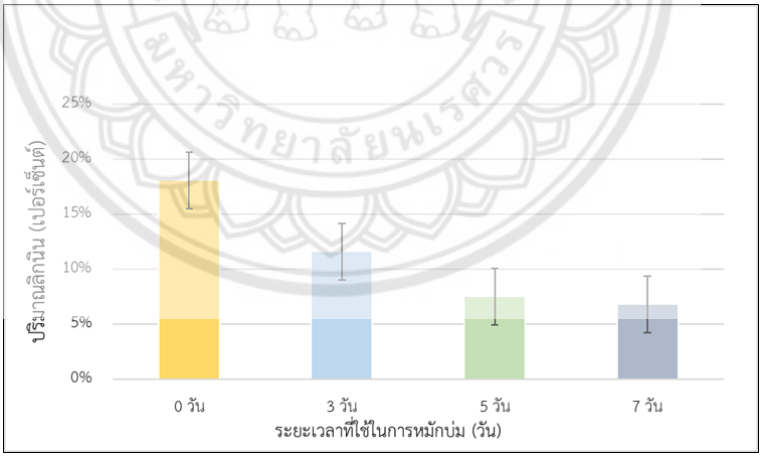
4.1.2 ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการหมักบ่มต่อปริมาณลิกนินเส้นใยกล้วย

ในหัวข้อนี้เป็นการศึกษาผลการทดลองของการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาที่ใช้ในการหมักบ่มจาก 3 วัน เป็น 5 วัน และ 7 วัน โดยควบคุมปริมาณจุลินทรีย์ที่ใช้คือ 20 กรัม โดยอัตราส่วนการทดลองเป็นปริมาณกาบกล้วยแห้ง 250 กรัม ต่อน้ำปริมาตร 5 ลิตร ซึ่งผลขององค์ประกอบเส้นใยกล้วยแสดงดังตารางที่ 4.2 และปริมาณของลิกนินในเส้นใยกล้วยแสดงดังรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงองค์ประกอบของเส้นใยกล้วย (เปอร์เซ็นต์) ที่ระยะเวลาในการหมักบ่มต่างกัน (วัน) โดยมีปริมาณจุลินทรีย์ 20 กรัม

องค์ประกอบของเส้นใยกล้วย	ระยะเวลาที่ใช้ในการหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์ (วัน)			
	0	3	5	7
1. ปริมาณ lignin (เปอร์เซ็นต์)	18.06	11.60	7.52	6.81
2. ปริมาณ cellulose (เปอร์เซ็นต์)	62.55	79.56	82.32	84.18
3. อื่น ๆ (เปอร์เซ็นต์)	19.38	8.84	10.16	9.01

หมายเหตุ ที่ระยะเวลา 0 วัน คือตัวอย่างชิ้นงานที่ไม่ผ่านการหมักบ่ม



รูปที่ 4.2 แสดงผลของระยะเวลาที่ใช้ในการหมักบ่มต่างกันต่อปริมาณลิกนินของเส้นใยกล้วยที่ปริมาณจุลินทรีย์ 20 กรัม

จากผลการทดลองให้หัวข้อ 4.1.1 ผลของปริมาณจุลินทรีย์ต่อองค์ประกอบของเส้นใยกล้วยหลังการหมักบ่ม เพื่อดูผลของปริมาณจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมักบ่มจาก 20 กรัม เป็น 50 กรัม และ 100 กรัม พบว่าปริมาณของลิกนินที่ลดลงนั้นไม่ได้เพิ่มขึ้นตามปริมาณของจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นการทดลอง

นี้จึงเลือกใช้ปริมาณจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมักบ่มน้อยที่สุดคือ 20 กรัม โดยเปลี่ยนแปลงระยะเวลาที่ใช้ในการหมักบ่ม จากผลการทดลองจะเห็นว่า เมื่อเวลาในการหมักบ่มเพิ่มมากขึ้นจาก 3 วัน เป็น 5 วัน และ 7 วัน พบว่าปริมาณลิกนินมีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจนเท่ากับ 11.60 7.52 และ 6.81 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยการหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์ที่ระยะเวลา 3 วัน มีค่าการย่อยลิกนินต่ำสุดแต่ลักษณะของเส้นใยที่ได้มีลักษณะเปื่อยยุ่ยและง่ายต่อการขึ้นรูป ถึงแม้ว่าการเพิ่มระยะเวลาในการหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์เป็น 5 วัน และ 7 วัน จะส่งผลให้ปริมาณลิกนินลดลงมากกว่าที่ระยะเวลา 3 วัน แต่เมื่อพิจารณาถึงคุณสมบัติเชิงกลด้านความต้านทานแรงดึงของชิ้นงานพบว่าชิ้นงานที่ผ่านการหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์ที่ระยะเวลา 3 วัน มีค่าความต้านทานแรงดึงในช่วงที่เหมาะสมต่อการเตรียมเส้นใยเพื่อเป็นสิ่งเพิ่มพูนสภาพแวดล้อมสำหรับสัตว์ทดลองและเนื่องจากงานวิจัยนี้ต้องการลดระยะเวลาในการเตรียมเส้นใย ดังนั้นการเพิ่มระยะเวลาในการหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์เป็น 5 วัน และ 7 วัน แต่ปริมาณลิกนินมีค่าใกล้เคียงกันจึงเล็งเห็นว่าที่ระยะเวลาในการหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์ 5 วัน และ 7 วัน เป็นการใช้ระยะเวลาในการหมักบ่มที่นานเกินไป ดังนั้นกระบวนการหมักบ่มสามารถเลือกใช้ปริมาณจุลินทรีย์เท่ากับ 20 กรัม และระยะเวลาในการหมักบ่มเท่ากับ 3 วันได้ และจากผลการทดลองซึ่งพบว่าการย่อยลิกนินนั้นขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ใช้ในการหมักบ่มโดยปริมาณของลิกนินลดลง เนื่องมาจากระยะเวลาที่ใช้ในการหมักบ่มมากจะทำให้จุลินทรีย์ผลิตเอนไซม์ลิกนิโนไลติกเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลทำให้เกิดการย่อยลิกนินได้มากขึ้น จากการศึกษางานวิจัยของ สุจิยา ฤทธิศร และคณะ เรื่องการศึกษาการผลิตเยื่อกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าด้วยวิธีทางชีวภาพ พบว่าปริมาณจุลินทรีย์ที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อการย่อยลิกนินแต่จะขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการหมักบ่ม โดยเมื่อระยะเวลาในการหมักบ่มเพิ่มมากขึ้นการย่อยลิกนินจะเพิ่มมากขึ้น และสำหรับลักษณะของเส้นใยมีความแตกต่างกันโดยสามารถสังเกตุได้โดยลักษณะของเส้นใยที่ไม่ผ่านการหมักบ่ม เส้นใยกล้วยจะมีขนาดใหญ่และมีผิวสัมผัสค่อนข้างหยาบ และไม่เปื่อยยุ่ย เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยที่ผ่านการหมักบ่มจะพบว่าเส้นใยกล้วยมีลักษณะสั้น ละเอียด ผิวสัมผัสค่อนข้างนิ่มและเปื่อยยุ่ยมากกว่าเส้นใยที่ไม่ผ่านการหมักบ่ม ดังแสดงในรูปที่ 4.3 ดังนี้

ก) ข)

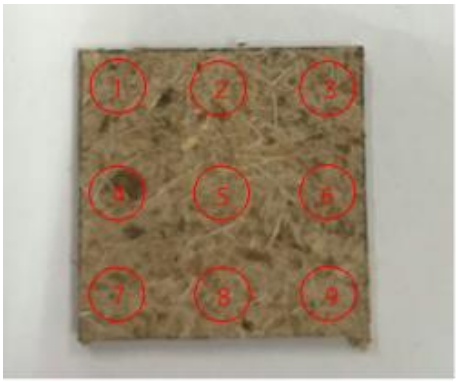
รูปที่ 4.3 ก) ลักษณะของเส้นใยกล้วยที่ไม่ผ่านการหมักบ่ม และ ข) ลักษณะของเส้นใยกล้วยที่ผ่านการหมักบ่ม

4.2 ผลของจุลินทรีย์ต่อความสามารถในการดูดซึมน้ำ

ในขั้นตอนนี้เป็นการนำเสนอผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลองของการดูดซึมน้ำของแผ่นชิ้นงาน เพื่อดูระยะเวลาในการดูดซึมน้ำ และปริมาณน้ำที่สามารถดูดซึมได้ต่อแผ่นชิ้นงานเพื่อดูว่าแผ่นชิ้นงานนั้นเหมาะสมและสามารถเป็นสิ่งเพิ่มพูนสำหรับสัตว์ทดลองประเภทฟันแทะได้

4.2.1 ผลของปริมาณจุลินทรีย์ในการหมักบ่มต่อการดูดซึมน้ำ

ในหัวข้อนี้จะเป็นการศึกษาระยะเวลาเฉลี่ยในการดูดซึมน้ำของแผ่นชิ้นงานที่ใช้ปริมาณจุลินทรีย์ในการหมักบ่มต่างกัน โดยการทดลองจะวัดจากการซึมน้ำบริเวณ 9 จุดของแผ่นชิ้นงาน แสดงดังรูปที่ 4.4 โดยจะจับเวลาในแต่ละจุดและนำมาหาค่าเฉลี่ย และบันทึกปริมาตรน้ำที่สามารถรองรับได้ของแผ่นชิ้นงาน โดยผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แสดงการหยดน้ำบริเวณ 9 จุดบนแผ่นชิ้นงาน

ตารางที่ 4.3 เวลาเฉลี่ยในการดูดซึมน้ำและปริมาตรน้ำที่ได้จากเส้นใยที่ผ่านการหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์ปริมาณ 20 กรัม 50 กรัม และ 100 กรัม โดยใช้ระยะเวลาในการหมักบ่ม 3 วัน

ปริมาณจุลินทรีย์ (กรัม)	เวลาเฉลี่ยในการดูดซึมน้ำ (วินาที)	การดูดซึมน้ำต่อพื้นที่การใช้งาน 17×17 เซนติเมตร (มิลลิลิตร)
20	2.42 ± 2.05	115
50	2.71 ± 0.44	145
100	1.69 ± 0.59	145
เฉลี่ย	2.21	135

จากผลการทดสอบดังตารางที่ 4.3 คุณสมบัติการดูดซึมน้ำของแผ่นชิ้นงานจากกาบกล้วยที่ผ่านการหมักบ่มโดยเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ในการหมักบ่มต่างกัน โดยวัดจากการซึมน้ำ 9 จุดบนแผ่นชิ้นงาน เมื่อพิจารณาชิ้นงานที่ผ่านการหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์ปริมาณ 20 50 100 กรัม โดยใช้ระยะเวลาในการหมักบ่ม 3 วัน พบว่ามีเวลาการดูดซึมน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 2.24 2.71 และ 1.69 วินาที ตามลำดับโดยแผ่นชิ้นงานทั้งหมดนั้นพบว่ามีอัตราการดูดซึมน้ำเฉลี่ยอยู่ภายในช่วง 5 วินาที ซึ่งเป็นช่วงที่อยู่ในมาตรฐานการซึมน้ำของวัสดุรองนอนสำหรับสัตว์ทดลองที่ต้องมีการซึมน้ำอย่างรวดเร็วเพื่อรองรับการขับถ่ายของสัตว์ และเพื่อป้องกันการเกิดการอับชื้นที่เป็นแหล่งสะสมของเชื้อโรคภายในกรงสัตว์เลี้ยง และจากการทดสอบความสามารถในการดูดซึมน้ำพบว่า ชิ้นงานที่เปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมักบ่มสามารถรองรับปริมาณน้ำได้เฉลี่ยเท่ากับ 135 มิลลิลิตรต่อชิ้นงาน 1 แผ่นเนื่องจากองค์ประกอบหลักของแผ่นชิ้นงานมีปริมาณเซลลูโลสสูง โดยเซลลูโลสมีคุณสมบัติเฉพาะคือชอบน้ำ (Hydrophilic) ซึ่งกลุ่มนี้จะมีหมู่ฟังก์ชัน ที่สามารถสร้างพันธะกับไฮโดรเจนกับน้ำได้ดี และยังมีคุณสมบัติการพองตัวทำให้ง่ายต่อการตีเยื่อและยังช่วยให้เส้นใยกล้วยมีคุณสมบัติยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นอีกด้วย ดังนั้นการมีปริมาณเซลลูโลสมากจึงทำให้สามารถดูดซับความชื้นได้ง่าย (พินิจกานต์ อารีวงศ์ และคณะ,2012) ซึ่งมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ ชาตรี หอมเขียว เรื่องปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมการดูดซับน้ำของวัสดุเชิงประกอบพลาสติกและไม้ โดยงานวิจัยสรุปว่าการเติมผงไม้ที่เป็นส่วนผสมในวัสดุเชิงประกอบมากขึ้นจะส่งผลให้วัสดุเชิงประกอบพลาสติกและไม้มีการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นตามปริมาณการเติมผงไม้เนื่องจากโครงสร้างและองค์ประกอบของผงไม้จะมีเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสสูง จึงทำให้สามารถดูดซึมน้ำได้ดียิ่งขึ้น จากการทดสอบนั้นสามารถบอกได้ว่าแผ่นชิ้นงานที่ผ่านการหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์ไตรโคเดอร์มา

สามารถรองรับปริมาณการขับถ่ายของสัตว์ทดลองได้เมื่อเปรียบเทียบจากปริมาณการความต้องการน้ำของสัตว์ทดลอง

4.2.2 ผลของระยะเวลาในการหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์ต่อการดูดซึมน้ำ

ในหัวข้อนี้จะเป็นการศึกษาระยะเวลาเฉลี่ยในการดูดซึมน้ำของแผ่นชิ้นงานที่ใช้ระยะเวลาในการหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์ต่างกัน โดยการทดลองจะวัดจากการซึมน้ำบริเวณ 9 จุดของแผ่นชิ้นงาน โดยจะจับเวลาในแต่ละจุด และบันทึกปริมาตรน้ำที่สามารถรองรับได้ของแผ่นชิ้นงาน โดยผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 เวลาเฉลี่ยในการดูดซึมน้ำและปริมาตรน้ำที่ได้จากเส้นใยกล้วยที่ผ่านการหมักบ่มระยะเวลา 3 วัน 5 วัน และ 7 วัน โดยใช้ปริมาณจุลินทรีย์ในการหมักบ่ม 20 กรัม

ระยะเวลาในการหมักบ่ม (วัน)	เวลาเฉลี่ยในการดูดซึมน้ำ (วินาที)	การดูดซึมน้ำต่อพื้นที่การใช้งาน 17×17 เซนติเมตร (มิลลิลิตร)
3	3.96 ± 3.73	122
5	1.10 ± 0.56	153
7	1.10 ± 0.71	144
เฉลี่ย	2.05	140

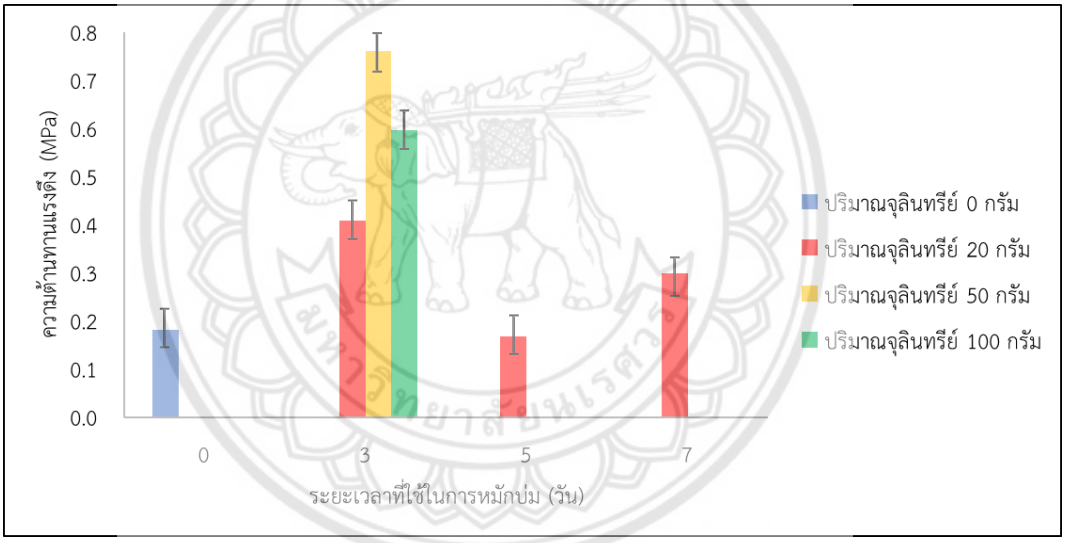
จากผลการทดสอบดังตาราง 4.4 เมื่อพิจารณาชิ้นงานที่ผ่านการหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์ปริมาณ 20 กรัม โดยเปลี่ยนระยะเวลาที่ใช้ในการหมักบ่มเป็น 3 5 และ 7 วัน พบว่ามีเวลาการดูดซึมน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 3.96 1.10 และ 1.10 วินาที ตามลำดับ เมื่อพิจารณาเวลาในการดูดซึมน้ำของชิ้นงานที่หมักบ่มด้วยจุลินทรีย์ที่ระยะเวลา 3 วัน มีค่าการดูดซึมน้ำบางจุดที่ไม่ผ่านมาตรฐานโดยพบว่ามีเพียง 3 จุด จาก 18 จุดที่มีค่าระยะเวลาการดูดซึมน้ำมากกว่า 5 วินาที จึงถือว่าสามารถใช้เส้นใยที่เตรียมโดยใช้ระยะเวลาในการหมักบ่มที่ 3 วันได้ อย่างไรก็ตามเนื่องจากชิ้นงานที่มีระยะเวลาหมักบ่ม 3 วัน นั้นมีกระบวนการเตรียมเส้นใยเดียวกันกับชิ้นงานในหัวข้อที่ 4.2.1 เรื่องการศึกษาผลของปริมาณจุลินทรีย์ในการหมักบ่มต่อการดูดซึมน้ำดังนั้นระยะเวลาในการหมักบ่มอาจไม่ใช่ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อคุณสมบัติการดูดซึมน้ำแต่เนื่องจากแผ่นชิ้นงานที่นำมาทดสอบในหัวข้อนี้มีลักษณะของเส้นใยบางจุดที่มีขนาดใหญ่จึงทำให้ระยะเวลาในการดูดซึมน้ำมากกว่า 5 วินาที แต่เมื่อพิจารณาระยะเวลาเฉลี่ยในการดูดซึมน้ำนั้นพบว่าระยะเวลาเฉลี่ยใน

การดูดซึมน้ำของแผ่นชิ้นงานที่ผ่านการหมักบ่มที่ระยะเวลา 3 วัน สามารถการนำมาใช้ในกระบวรการเตรียมเส้นใยเพื่อเป็นสิ่งเพิ่มพูนสภาพแวดล้อมสำหรับสัตว์ทดลองได้ แต่หากต้องการพิจารณาการดูดซึมน้ำเป็นปัจจัยหลัก ควรจะเลือกใช้เส้นใยที่ได้จากกระบวนการเตรียมเส้นใยที่ระยะเวลาในการหมักบ่ม 5 วัน เนื่องจากค่าการดูดซึมน้ำของแผ่นชิ้นงานนั้นผ่านมาตรฐานทุกจุด สำหรับชิ้นงานที่เปลี่ยนแปลงระยะเวลาในการหมักบ่มสามารถรองรับปริมาณน้ำได้เฉลี่ยเท่ากับ 140 มิลลิตรต่อชิ้นงาน 1 แผ่น จากผลการทดสอบการซึมน้ำของวัสดุพบว่าชิ้นทดสอบที่มีการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาในการหมักบ่มมีค่าการดูดซึมน้ำค่อนข้างสูงเนื่องจากองค์ประกอบหลักของแผ่นชิ้นงานมีปริมาณเซลลูโลสสูงจึงทำให้สามารถรองรับปริมาตรน้ำได้มากเช่นเดียวกับที่กล่าวไปในหัวข้อที่ 4.2.1 ผลของการดูดซึมน้ำของชิ้นงานที่ใช้ปริมาณจุลินทรีย์ในการหมักบ่มต่างกัน

4.3 ผลของการใช้จุลินทรีย์ที่มีต่อคุณสมบัติเชิงกล

4.3.1 การทดสอบแรงดึง (Tensile test)

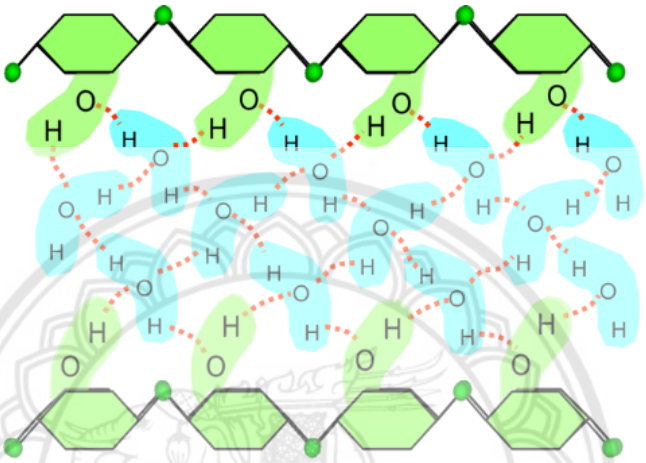
เป็นการทดสอบพื้นฐานที่สุดอย่างหนึ่งที่ใช้ทดสอบสมบัติของแผ่นชิ้นงาน โดยการทดสอบแรงดึงใช้ในการตรวจจับพฤติกรรมเชิงกลของวัสดุภายใต้แรงดึงหรือการยืดในแนวแกน ข้อมูลและการคำนวณในการทดสอบแรงดึงได้จากการทดสอบชิ้นงานด้วยเครื่องวัดค่ามาตรฐานคุณสมบัติเชิงกล (Universal Testing Machine) จากการศึกษางานวิจัยเรื่องการพัฒนาแม่พิมพ์และชิ้นงานต้นแบบสิ่งเพิ่มพูนสภาพแวดล้อมสำหรับสัตว์ทดลองประเภทฟันแทะด้วยเส้นใยธรรมชาติ นั้นพบว่าผิ้นงานที่เตรียมจากเส้นใยกล้วยควรมีค่าความต้านทานแรงดึงในช่วง 0.2 - 0.6 MPa (เตชิษฐ์ นาคประสงค์ และคณะ,2018) โดยค่าความต้านทานแรงดึงของแผ่นชิ้นงาน ซึ่งผลทดสอบแรงดึงประกอบไปด้วย ค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) และค่าระยะยืด ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ



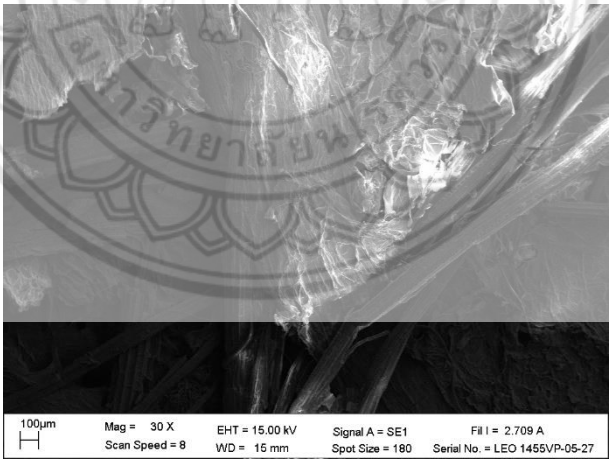
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงดึง ปริมาณจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมักบ่มและระยะเวลาที่ใช้ในการหมักบ่ม

จากรูปที่ 4.5 แสดงผลการทดสอบการต้านแรงดึง พิจารณาค่าความต้านทานแรงดึงของชิ้นงานที่ไม่ผ่านการหมักบ่มมีค่าความต้านทานแรงดึงต่ำสุด เมื่อพิจารณาองค์ประกอบภายในของชิ้นงานพบว่า ชิ้นงานที่ไม่ผ่านการหมักบ่มมีปริมาณลิกนินสูงสุดเท่ากับ 18.06 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานอื่น ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.1 เนื่องจากพันธะของเส้นใยที่เกิดขึ้นจะเกิดในส่วนของเซลลูโลสเป็นส่วนใหญ่ ในกรณีที่มีปริมาณลิกนินมากจะส่งผลให้ลิกนินไปขัดขวางไม่ให้โมเลกุลของเซลลูโลสมีพันธะต่อกัน การจับตัวกันของเส้นใยจึงเป็นไปได้ยาก และเนื่องจากชิ้นงานที่ไม่ผ่านการหมักบ่มมีปริมาณองค์ประกอบของสารแทรกสูงสุดเท่ากับ 19.38 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานอื่น ๆ โดยชิ้นงานที่

ผ่านกระบวนการอัดขึ้นรูปด้วยความร้อนจะทำให้น้ำที่แทรกตัวอยู่ในหมู่ฟังก์ชันระเหยออก สารแทรกที่อยู่ภายในเส้นใยพืชจะเป็นตัวขัดขวางไม่ให้หมู่ฟังก์ชันของเซลลูโลสยึดเกาะกันได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.6 ซึ่งจะส่งผลให้ความสามารถในการยึดเกาะกันของเส้นใยต่ำ และจากผลการตรวจสอบลักษณะผิวหน้าของชิ้นงานด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดดังแสดงในรูปที่ 4.7 พบว่าชิ้นงานที่ไม่ผ่านการหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์มีลักษณะของพื้นผิวไม่ติดกัน ซึ่งก่อให้เกิดการแตกหักของชิ้นงานได้ง่ายขึ้นเมื่อมีแรงมากระทำ ส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึงของเส้นใยที่ไม่ผ่านการหมักบ่มมีค่าต่ำ



รูปที่ 4.6 การแทรกตัวของน้ำที่จับกับหมู่ OH ของเซลลูโลสในเส้นใยพืช (Erin Barly et al., 2011)



รูปที่ 4.7 ภาพผิวหน้าของชิ้นงานที่ไม่ผ่านการหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์

จากรูปที่ 4.5 แสดงผลการทดสอบการต้านแรงดึง เมื่อพิจารณาชิ้นงานที่ผ่านการหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์ปริมาณ 20 กรัม 50 กรัม และ 100 กรัม โดยระยะเวลาที่ใช้ในการหมักบ่มคือ 3 วัน มีค่าความต้านทานแรงดึงของชิ้นงาน เท่ากับ 0.4091 0.7605 0.5957 MPa ตามลำดับ จะเห็นว่าค่าความต้านทานแรงดึงมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้น เมื่อพิจารณาองค์ประกอบภายในเส้นใยกล้วยและค่าการดูดซึมน้ำของแผ่นชิ้นงานพบว่าแผ่นชิ้นงานที่ใช้ปริมาณจุลินทรีย์ 50 และ 100 กรัม มีค่าใกล้เคียงกันดังนั้นค่าความต้านทานแรงดึงจึงมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากองค์ประกอบของเส้นใยกล้วยของชิ้นงานที่ใช้ปริมาณจุลินทรีย์ 50 กรัม มีค่าปริมาณของสารแทรกน้อยกว่าชิ้นงานที่ใช้จุลินทรีย์ 100 กรัม เพียงเล็กน้อยจึงยังไม่สามารถสรุปได้ว่าค่าความต้านทานแรงดึงของชิ้นงานที่หมักบ่มด้วยจุลินทรีย์ 50 กรัมที่มากกว่าชิ้นงานที่หมักบ่มด้วยจุลินทรีย์ 100 กรัม นั้นเกิดขึ้นจากองค์ประกอบภายในเส้นใยกล้วยดังนั้นผู้วิจัยจึงได้พิจารณาถึงปัจจัยอื่นที่มีผลต่อคุณสมบัติเชิงกล คือการจัดเรียงตัวของเส้นใยบนแผ่นชิ้นงาน พบว่าชิ้นงานที่ใช้ปริมาณจุลินทรีย์ 50 กรัม มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงกว่าชิ้นงานที่ใช้ปริมาณจุลินทรีย์ 100 กรัม จากรูปที่ 4.8 แสดงถึงลักษณะการเรียงตัวของเส้นใยเมื่อเปรียบเทียบการจัดเรียงตัวเส้นใยกล้วย ณ จุดขาดของชิ้นงานที่ใช้ปริมาณจุลินทรีย์ในการหมักบ่ม 50 กรัม และ 100 กรัม การจัดเรียงตัวของเส้นใยกล้วยหลังจากที่ผ่านการขึ้นรูปและผ่านการกดอัดของแผ่นชิ้นงานที่ใช้ปริมาณจุลินทรีย์ 50 กรัม พบว่ามีลักษณะการเรียงตัวของเส้นใยในทิศทางเดียวกับทิศทางของแรงดึงจึงทำให้มีค่าความต้านทานแรงดึงมากกว่าชิ้นงานที่ใช้ปริมาณจุลินทรีย์ 100 กรัม และเมื่อพิจารณาการจัดเรียงตัวของเส้นใยกล้วยหลังจากที่ผ่านการขึ้นรูปและผ่านการกดอัดของแผ่นชิ้นงานที่ใช้ปริมาณจุลินทรีย์ 100 กรัม มีลักษณะการจัดเรียงตัวของเส้นใยในแนวตามขวางของทิศทางแรงดึง จึงทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงของชิ้นงานที่ใช้ปริมาณจุลินทรีย์ 100 กรัมมีค่าน้อยกว่าชิ้นงานที่ใช้ปริมาณจุลินทรีย์ 50 กรัม นั้นเอง

ก) ข)

ค)

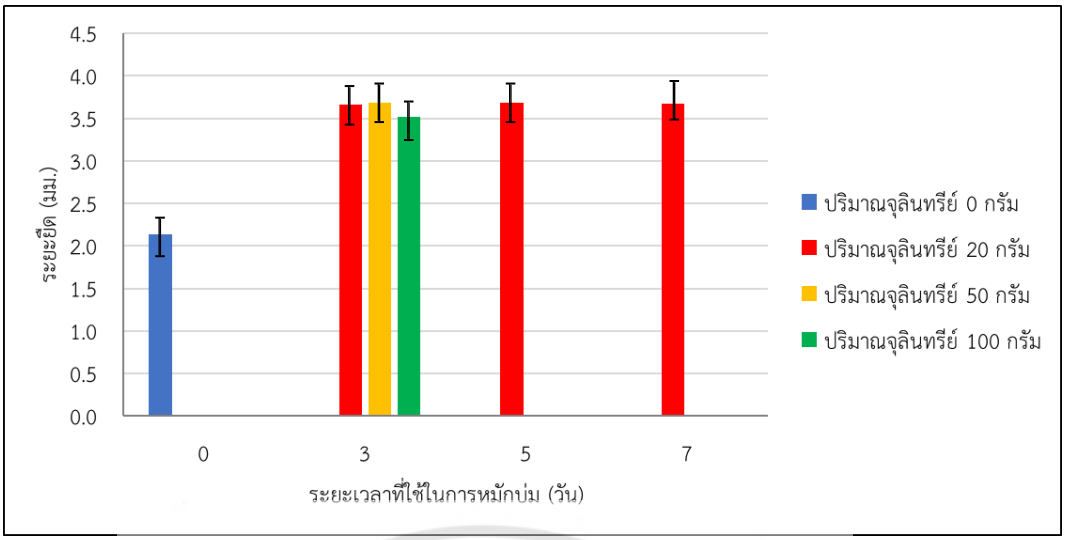
รูปที่ 4.8 ลักษณะของเส้นใย ณ จุดที่ขาดออกจากกันจากการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงของ ก) ชิ้นงานที่ใช้ปริมาณจุลินทรีย์ 20 กรัม ข) ชิ้นงานที่ใช้ปริมาณจุลินทรีย์ 50 กรัม และ ค) ชิ้นงานที่ใช้ปริมาณจุลินทรีย์ 100 กรัม

จากรูปที่ 4.5 แสดงผลการทดสอบการต้านแรงดึง เมื่อพิจารณาชิ้นงานที่ผ่านการหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์ปริมาณ 20 กรัม โดยใช้ระยะเวลาในการหมักบ่มคือ 3 วัน 5 วัน และ 7 วัน มีค่าความต้านทานแรงดึงเท่ากับ 0.4091 0.1679 และ 0.2985 MPa ตามลำดับ จะเห็นว่าค่าความต้านทานแรงดึงมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากชิ้นงานที่ผ่านการหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์ 5 วัน มีปริมาณองค์ประกอบของสารแทรกสูงสุด โดยชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการอัดขึ้นรูปด้วยความร้อนจะทำให้น้ำที่แทรกตัวอยู่ในหมู่ฟังก์ชันระเหยออก สารแทรกที่อยู่ภายในเส้นใยพืชจะเป็นตัวขัดขวางไม่ให้หมู่ฟังก์ชันของเซลลูโลสยึดเกาะกันได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.6 ซึ่งจะส่งผลให้ความสามารถในการยึดเกาะกันของเส้นใยต่ำ ค่าความต้านทานแรงดึงของเส้นใยที่ผ่านการหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์ 5 วัน จึงมีค่าต่ำสุด เมื่อพิจารณาค่าความต้านทานแรงดึงของชิ้นงานที่ผ่านการหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์ 5 วัน และ 7 วัน พบว่าที่ระยะเวลาหมักบ่ม 7 วัน ให้ค่าความต้านทานแรงดึง

มากกว่า 5 วัน เนื่องมาจากชิ้นงานที่ผ่านการหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์นาน 7 วัน มีปริมาณเซลลูโลสเพิ่มมากขึ้นเส้นใยกล้วยที่ได้มีลักษณะพื้นผิวสัมผัสของเส้นใยกล้วยที่เปื่อยยุ่ยมาก ความสามารถในการเกาะกันจึงเพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Venkatachalam N. และคณะ (2016) ที่อธิบายเกี่ยวกับการปรับปรุงการประสานพันธะของเส้นใยที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการผลิตกระดาษเกี่ยวข้องกับการปั่นเส้นใยซึ่งทำให้เส้นใยเกิดการพองของเส้นใย โดยกล่าวว่ากระบวนการปั่นมีผลกระทบต่อเส้นใยเกี่ยวกับการทำให้เส้นใยสั้นลง ทำให้บางส่วนหรือบางครั้งการเอาผนังของเส้นใยออกจะทำให้เส้นใยมีลักษณะที่เล็กและเป็นฝอยเกิดขึ้น ซึ่งจะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวของเส้นใยและทำให้เซลลูโลสที่อยู่ภายในเส้นใยมีการเกี่ยวพันกันมากขึ้น ดังนั้นจึงเชื่อว่าเส้นใยที่ผ่านการปั่นจะเกิดลักษณะของการเปื่อยยุ่ย ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการเพิ่มการยึดเกาะกันของเส้นใยเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ผิว ค่าความต้านทานแรงดึงของชิ้นงานที่ผ่านการหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์ 7 วัน จึงมีค่ามากกว่าชิ้นงานที่ผ่านการหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์ 5 วัน ดังที่กล่าวไว้ โดยลักษณะของเส้นใยกล้วยที่ผ่านการหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์ปริมาณ 20 กรัมเป็นระยะเวลา 5 วัน และ 7 วัน แสดงดังรูปที่ 4.9 ก) และ ข)

ก) ข)

รูปที่ 4.9 ลักษณะของเส้นใยกล้วยที่ผ่านการหมักบ่มด้วยปริมาณจุลินทรีย์ 20 กรัม โดยใช้ ก) ระยะเวลาในการหมักบ่ม 5 วัน และ ข) ระยะเวลาในการหมักบ่ม 7 วัน



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะยืด ปริมาณจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมักบ่ม และระยะเวลาที่ใช้ในการหมักบ่ม

เมื่อพิจารณาจากองค์ประกอบของเส้นใยกล้วยของชิ้นงานที่ผ่านการหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์ 20 50 และ 100 กรัม โดยใช้ระยะเวลาในการหมักบ่ม 3 วัน รวมถึงชิ้นงานที่ผ่านการหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์ 20 กรัม โดยใช้ระยะเวลาในการหมักบ่ม 3 5 และ 7 วัน พบว่ามีปริมาณของเซลลูโลสใกล้เคียงกัน ประมาณ 79.56 – 84.18 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์ที่มีสารประกอบโพลิแซคคาไรด์เชิงเส้นตรง โครงสร้างของเซลลูโลสมีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบทำให้มีความเป็นผลึกสูง และยังพบว่ามีค่าความยืดหยุ่นสูง ดังนั้นค่าระยะยืดที่ได้ของชิ้นงานที่ผ่านการหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์ที่ปริมาณต่างกันและใช้ระยะเวลาในการหมักบ่มต่างกันจึงมีค่าใกล้เคียงกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.10 ยกเว้นชิ้นงานที่ไม่ผ่านการหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์ จะเห็นว่ามีค่าระยะยืดต่ำสุด เนื่องจากการศึกษาองค์ประกอบของเส้นใยกล้วยพบว่ามีปริมาณเซลลูโลสต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานอื่น ๆ

เนื่องจากจุลินทรีย์ที่ใช้หมักบ่มมีคุณสมบัติในการย่อยสลายลิกนินซึ่งเป็นโครงสร้างหลักของเส้นใยพืชดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลเพื่อทำการยืนยันว่าชิ้นงานที่ผ่านการหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์จะไม่ส่งผลต่อความสามารถในการรับแรงของชิ้นงานและจากการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของชิ้นงานที่ผ่านการหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์พบว่า การใช้ปริมาณจุลินทรีย์ 20 กรัมและระยะเวลาที่ใช้ในการหมักบ่ม 3 วัน คือวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการลดระยะเวลาในกระบวนการเตรียมเส้นใยกล้วยเนื่องจากพิจารณาจากค่าความต้านทานแรงดึงมีค่าเท่ากับ 0.4091 MPa ซึ่งมีค่าไม่ต่ำกว่าค่าความต้านทานแรงดึงของสิ่งเพิ่มพูนสภาพแวดล้อมที่ถูกนำมาใช้งาน ดังนั้นกระบวนการเตรียมเส้นใยโดยใช้จุลินทรีย์ไตรโครเดอร์มาจึงสามารถนำมาใช้สำหรับการเตรียมเส้นใยเพื่อสิ่งเพิ่มพูนสภาพแวดล้อมสำหรับสัตว์ทดลองได้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาพบว่ากระบวนการเตรียมเส้นใยกล้วยแบบเดิมดังในงานวิจัยการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการเตรียมเส้นใยธรรมชาติ เพื่อสิ่งเพิ่มพูนสภาพแวดล้อมของสัตว์ทดลอง มีกระบวนการและขั้นตอนการเตรียมเส้นใยกล้วยที่ซับซ้อนและใช้ระยะเวลาในการหมักบ่มด้วยน้ำนานถึง 7 วัน ส่งผลให้กระบวนการเตรียมเส้นใยกล้วยเป็นไปด้วยความล่าช้า ซึ่งโครงงานนี้ได้นำความรู้จากการศึกษาแบบเดิมมาปรับปรุงและพัฒนาถึงกระบวนการเตรียมเส้นใยกล้วยที่รวดเร็วมากกว่าเดิม โดยการนำจุลินทรีย์ไตรโคเดอร์มาหมักบ่ม จากการศึกษาองค์ประกอบของเส้นใยกล้วย พบว่าชิ้นงานที่ผ่านการหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์ปริมาณ 20 กรัม ระยะเวลาในการหมักบ่ม 3 วัน มีปริมาณลิกนินในเส้นใยกล้วยเท่ากับ 11.60 เปอร์เซ็น ค่าความต้านทานแรงดึงเท่ากับ 0.4091 MPa และมีค่าระยะเวลาเฉลี่ยในการดูดซึมน้ำอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่สามารถยอมรับได้ เมื่อพิจารณาผลการทดสอบทั้งหมดจึงสามารถเลือกใช้วิธีการเตรียมเส้นใยกล้วยด้วยการหมักบ่มที่ระยะเวลา 3 วัน ในการเตรียมเส้นใยได้ เนื่องจากสามารถทำให้ปริมาณลิกนินซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักที่ทำให้เส้นใยมีคุณสมบัติแข็งลดลง ส่งผลให้สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้ง่ายกว่าการขึ้นรูปชิ้นงานที่ไม่ผ่านการหมักบ่ม

จากการศึกษาการดูดซึมน้ำของแผ่นชิ้นงาน พบว่าชิ้นงานที่ผ่านการหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์ไตรโคเดอร์มามีความสามารถในการดูดซึมน้ำได้มากขึ้น โดยระยะเวลาในการดูดซึมน้ำเฉลี่ยภายใน 5 วินาที ซึ่งเป็นช่วงที่อยู่ในมาตรฐานการซึมน้ำสำหรับวัสดุรองนอนของสัตว์ทดลอง และป้องกันการอับชื้นซึ่งเป็นแหล่งสะสมของเชื้อโรคในกรงสัตว์

จากการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของชิ้นงาน พบว่าชิ้นงานที่ผ่านการหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์ไตรโคเดอร์มา สามารถทำขึ้นรูปเป็นแผ่นชิ้นงานได้ง่าย และมีค่าความต้านทานแรงดึงมากกว่าชิ้นงานที่ไม่ผ่านการหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์ เนื่องจากมีการยึดเกาะกันของเส้นใยกล้วยที่ดี

จากกระบวนการศึกษาตามวัตถุประสงค์ที่กล่าวมา สามารถสรุปได้ว่ากระบวนการนำจุลินทรีย์ไตรโคเดอร์มาเข้ามาใช้ในการหมักบ่ม จึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่ใช้สำหรับลดระยะเวลาในกระบวนการเตรียมเส้นใยกล้วย เพื่อสิ่งเพิ่มพูนสภาพแวดล้อมของสัตว์ทดลอง

5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาวิธีการลดระยะเวลาในการเตรียมเส้นใยกล้วย เพื่อการขึ้นรูปในการใช้เป็นสิ่งเพิ่มพูนสภาพแวดล้อมสำหรับสัตว์ทดลอง จึงมีข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษางานด้านอื่น ๆต่อไป คือ

1) ควรมีการศึกษาวิธีสารจากธรรมชาติที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสัตว์ทดลอง ซึ่งสามารถขึ้นรูปโดยไม่ต้องใช้ระยะเวลาในการหมักบ่มถึง 3 วัน

2) ควรพัฒนาการนำวัสดุหรือเส้นใยธรรมชาติชนิดอื่น ๆ มาใช้สำหรับขึ้นรูปชิ้นงาน

3) ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเรื่องการจัดเรียงตัวของเส้นใยกล้วยที่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติเชิงกล

4) ควรมีการทดสอบการหักพับและแรงกดที่ชิ้นงานสามารถทนได้ เพื่อพัฒนาให้แผ่นชิ้นงานมีความสามารถใช้งานในด้านอื่น ๆได้

เอกสารอ้างอิง

กฤตลักษณ์ ช้างรบ และคณะ (2016). การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการเตรียมเส้นใยธรรมชาติเพื่อสิ่งเพิ่มพูนสภาพแวดล้อมของสัตว์ทดลอง. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร.

Janet C. Garbour. Et al. (2011). Giude for the care and use of laboratory animals. (8th ed). National research council of the national academies. (pp. 51-53).

ประดน จาติกวนิช. (2007). สารพัดอุปกรณ์เพาะเลี้ยงสัตว์ทดลอง.คณะกรรมการเพื่อการพัฒนางานเลี้ยงและใช้สัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์.

รัทนา ทาปา. (2011). สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน ฯ. (เล่มที่ 17 หน้า 205 - 206). กรุงเทพมหานคร: บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน).

เบญจมาศ ศิลาย้อย. (2002). กล้วย. พิมพ์ครั้งที่ 3. (หน้า 357). ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร.

สำนักความหลากหลายทางชีวภาพ สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2012). กล้วยน้ำว้าพันธุ์มะลิอ่อง. กรุงเทพมหานคร.

Hearle J.W.S., Peter R.H. Fibre structure. London: the Textile Institute Butter-worths; 1963.

สุกรี มะดากะกุน. (2016). ต้นกล้วยทำได้มากกว่ากระทง. วารสารเทคโนโลยีชาวบ้าน (ฉบับที่ 625). บริษัท มติชน จำกัด(มหาชน).

จุฑาลักษณ์ ศรีบัว และคณะ. (2014). สารสนเทศภูมิปัญญาท้องถิ่นล้านนา. โคมไฟ 700 ปี. ศูนย์วิสาหกิจกลุ่มจักสานบ้านม่วงคำ จังหวัดเชียงใหม่.

Kirk, T.K. and Farrell, R.L. (1987). Enzymatic “combustion”: the microbial degradation of lignin. Ann. Rev. Microbiol. อ้างอิงใน สุจยา ฤทธิศร และคณะ. (2011). การผลิตเยื่อกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าด้วยวิธีทางชีวภาพโดยใช้ Trichoderma viride. (หน้า 8 - 9). คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

Amin et al. AMB Express. (2017). Pretreatment methods of lignocellulosic biomass for anaerobic digestion. Beijing University of Chemical Technology and National Key Research and Development Program of China.

Namrata Chhabra. (2012). Dietary fiber and total fiber. Biochemistry for midics.

สุจยา ฤทธิศร. (2011). การผลิตเยื่อกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าด้วยวิธีทางชีวภาพ. (หน้า 11 - 13). คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

วิขัณฑ์ อรรณพานุรักษ์. (2002). การตรวจสอบและควบคุมคุณภาพเยื่อและกระดาษสา. เอกสารประกอบการอบบรมเชิงปฏิบัติการ เรื่อง งานวิจัยและพัฒนาเกี่ยวกับการผลิตเยื่อและกระดาษจากปอสา. (หน้า 127 - 130). สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตจตุจักร. กรุงเทพมหานคร.

รัชพล พะวงศ์รัตน์. (2015). กระบวนการปรับสภาพเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตเอทานอลจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภทลิกโนเซลลูโลส. คณะศิลปะศาสตร์และวิทยาศาสาตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.

สาธิต เหล่าวัฒนพงษ์ และคณะ. การศึกษาวิเคราะห์เส้นใยจากพืชตระกูลกล้วยทางภาคเหนือ เพื่อใช้ประโยชน์ในการสร้างผลิตภัณฑ์. คณะศิลปะประยุกต์และการออกแบบ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

วิทวัส จิรัฐพงศ์ และคณะ. (2011). การศึกษาปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินจากของเหลือทิ้งจากพืชเพื่อใช้ในการผลิตแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพ. สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

M. Sfiligoj Smole. Et al. (2013). Plant Fibers for Textile and Technical applications. Advances in Agrophysical Research.

พินิจกานต์ อารีวงศ์ และคณะ. (2012). การผลิตเยื่อกระดาษจากฟางข้าวด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับกรรมวิธีโซดา. สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มาหวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

ปัญญา ฉริยะพงศ์พันธุ์. (2013). การเลี้ยงและการดูและสัตว์ทดลองในงานวิทยาศาสตร์ทดลอง. ศูนย์ทดลองแห่งชาติ มหาวิทยาลัยมหิดล.

ชัยพร สามพุ่งพวง และคณะ. (2003). การศึกษาคุณสมบัติของกระดาษจากเยื่อกล้วยน้ำว้าพันธุ์มะลิอ่องเพื่องานหัตถกรรม. (หน้า 79 – 84). เอกสารการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 41. กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพมหานคร.

ชยาภาส ทับทอง. (2006). กระดาษทำมือจากต้นกล้วย. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ วิทยาเขตองครักษ์.

สุกาญจน์ รัตนเลิศนุสรณ์. การใช้เชื้อราปฏิปักษ์เพื่อปรับปรุงคุณภาพกล้าไม้. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

สุจยา ฤทธิศร และคณะ. (2011). การผลิตเผื่อกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าด้วยวิธีทางชีวภาพโดยใช้ *Trichoderma viride*. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

Erin Barley. Et al. (2011). The structure and function of large biological molecules. (9th ed). Lecture presentations for CAMPBELL BIOLOGY.

ชาตรี หอมเขียว. (2015). ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมการดูดซับน้ำของวัสดุเชิงประกอบพลาสติกและไม้. วารสารวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม.

คู่มือการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ เรื่อง การใช้เครื่องมืออุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ และการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารสัตว์. สาขาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี.

เตชิษฐ์ นาคประสงค์ และคณะ (2017) เรื่อง การพัฒนาแม่พิมพ์และชิ้นงานต้นแบบสิ่งเพิ่มพูนสภาพแวดล้อม สำหรับสัตว์ทดลองประเภทฟันแทะด้วยเส้นใยธรรมชาติ. สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร. พิษณุโลก.

สุจยา ฤทธิศร และคณะ. (2013). การผลิตกระดาษเชิงหัตถกรรมจากฟางข้าว ด้วยกรรมวิธีทางชีวภาพ. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: https://www.rmutt.ac.th/content/27908. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

สุนทร ตรีนันทวัน. (2010). การควบคมการเจริญของจุลินทรีย์. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.scimath.org/article-biology/item/499-microorganism.

Venkatachalam N. Et al. (2016) Effect of Pretreatment Methods on Properties of Natural Fiber Composition: A Review

เตชิษฐ์ นาคประสงค์ และคณะ. (2018). การพัฒนาแม่พิมพ์และชิ้นงานต้นแบบสิ่งเพิ่มพูนสภาพแวดล้อมสำหรับสัตว์ทดลองประเภทฟันแทะด้วยเส้นใยธรรมชาติ

ภาคผนวก ก

กระบวนการทดลอง

1. การศึกษากระบวนการขึ้นรูปแผ่นชิ้นงานจากกาบกล้วย

1.1 ขั้นตอนการเตรียมกาบกล้วย

การเตรียมตัวอย่าง : เลือกตัดต้นกล้วยที่ผ่านการเก็บเกี่ยวแล้ว จากนั้นลอกต้นกล้วยให้เป็นกาบ เพื่อมานำตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆให้มีขนาด 2-4 เซนติเมตร นำกาบกล้วยไปอบให้แห้งในตู้อบ ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน กาบกล้วยที่แห้งหลังจากผ่านการอบแล้ว จะถูกนำมาเตรียมเพื่อทำการทดลอง โดยใช้อัตราส่วนในการทดลองคือ ปริมาณกาบกล้วยแห้ง 250 กรัม ต่อน้ำปริมาตร 5 ลิตร

รูป ก. 1 การเลือกตัดต้นกล้วยที่ผ่านการเก็บเกี่ยวแล้ว

รูป ก. 2 ทำการกาบกล้วยให้มีขนาด 2-4 เซนติเมตร

รูป ก. 3 นำกาบกล้วยที่ตัดแล้วไปอบให้แห้งในตู้อบ ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน

รูป ก. 4 เตรียมกาบกล้วยที่แห้งแล้วปริมาณ 250 กรัม ไปทำการทดลอง

1.2 ขั้นตอนการทดลอง

1.2.1 กระบวนการเตรียมเส้นใยก่อนการขึ้นรูปเป็นแผ่นชิ้นงาน

การทดลองที่ 1 : นำกาบกล้วยแห้งปริมาณ 250 กรัม ไปแช่น้ำปริมาตร 5 ลิตร เป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้กาบกล้วยอ่อนตัว ชุ่มน้ำ และเพื่อชำละล้างสิ่งสกปรก เช่น ดิน หิน ฝุ่น หรือสิ่งแปลกปลอมอื่น ๆ จากนั้นจึงเริ่มกระบวนการหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์ไตรโคเดอร์มา โดยนำกาบกล้วยที่เตรียมไว้หมักบ่มและจุลินทรีย์ปริมาณ 20 กรัม 50 กรัม และ 100 กรัม ตามลำดับ โดยระยะเวลาที่ใช้ในการหมักบ่มคือ 3 วัน เมื่อผ่านการหมักบ่มกาบกล้วยด้วยจุลินทรีย์จนครบระยะเวลา 3 วัน จากนั้นจะนำกาบกล้วยที่ได้เข้าสู่กระบวนการขึ้นรูปเป็นแผ่นชิ้นงาน โดยเริ่มจากการนำกาบกล้วยไปปั่นในครั้งแรกด้วยเครื่องปั่นขนาดใหญ่ ทำการปั่นทั้งหมด 3 ครั้ง ครั้งละ 2 นาที จะได้เยื่อที่มีลักษณะของเส้นใยกล้วยหยาบ ๆ จากนั้นนำเยื่อที่ได้จากการปั่นในครั้งแรกไปต้มด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อให้เยื่อที่ได้มีความเปื่อยยุ่ยมากขึ้น และนำกลับไปปั่นในครั้งที่ 2 ด้วยเครื่องปั่นขนาดใหญ่ ทำการปั่นทั้งหมด 3 ครั้ง ครั้งละ 2 นาที หลังจากกระบวนการปั่นครั้งนี้จะได้เยื่อที่มีลักษณะของเส้นใยที่ขนาดเล็กเปื่อยยุ่ย และละเอียดมากขึ้น ซึ่งจะนำไปขึ้นรูปเป็นแผ่นชิ้นงานในกระบวนการถัดไป

รูป ก. 5 จุลินทรีย์ไตรโคเดอร์มาปริมาณ 20 50 และ 100 กรัม สำหรับการหมักบ่มกาบกล้วยแห้ง

รูป ก. 6 กระบวนการหมักบ่มกาบกล้วยด้วยจุลินทรีย์ปริมาณ 20 50 และ 100 กรัม ระยะเวลา 3 วัน

รูป ก. 7 การนำกาบกล้วยไปปั่นในครั้งแรกด้วยเครื่องปั่นขนาด 30 ลิตร กำลังมอเตอร์ 3 แรงปั่น ทำการปั่นทั้งหมด 3 ครั้ง ครั้งละ 2 นาที

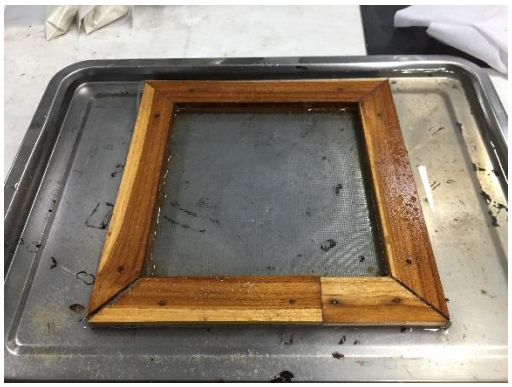
รูป ก. 8 นำเยื่อที่ได้จากการปั่นในครั้งแรกไปต้มด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

รูป ก. 9 นำกลับไปปั่นในครั้งที่สองด้วยเครื่องปั่นขนาด 30 ลิตร กำลังมอเตอร์ 3 แรงปั่น ทำการปั่นทั้งหมด 3 ครั้ง ครั้งละ 2 นาที เยื่อที่ได้จะมีลักษณะของเส้นใยที่ขนาดเล็ก เปื่อยยุ่ย และละเอียดมากขึ้น

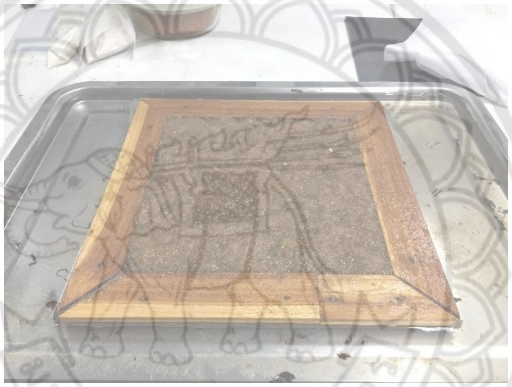
การทดลองที่ 2 : นำกาบกล้วยแห้งปริมาณ 250 กรัม ไปแช่น้ำปริมาตร 5 ลิตร เป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้กาบกล้วยอ่อนตัว ชุ่มน้ำ และเพื่อชำละล้างสิ่งสกปรก เช่น ดิน หิน ฝุ่น หรือสิ่งแปลกปลอมอื่น ๆ จากนั้นจึงเริ่มกระบวนการหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์ไตรโคเดอร์มา โดยนำกาบกล้วยที่เตรียมไว้หมักบ่มด้วยจุลินทรีย์ปริมาณ 20 กรัม โดยระยะเวลาที่ใช้ในการหมักบ่มคือ 3 วัน 5 วัน และ 7 วัน วัน เมื่อผ่านการหมักบ่มกาบกล้วยด้วยจุลินทรีย์จนครบระยะเวลา 3 วัน โดยกระบวนการเตรียมเส้นใยก่อนการขึ้นรูปเป็นแผ่นชิ้นงานทำเช่นเดียวกันกับการทดลองที่ 1

1.2.2 กระบวนการขึ้นรูปเป็นแผ่นชิ้นงานด้วยแม่พิมพ์สามมิติ

นำเยื่อกล้วยที่ได้จากกระบวนการที่ 1.2.1 มาทำการรีดน้ำออกเพื่อให้เยื่อกล้วยมีลักษณะที่หมาด และชั่งน้ำหนักเยื่อกล้วยที่หมาดให้ได้น้ำหนักประมาณ 150 กรัม ต่อ 1 ชิ้นงาน จากนั้นนำเยื่อกล้วยที่ชั่งน้ำหนักแล้วเข้าสู่กระบวนการขึ้นรูปเป็นแผ่นชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 10 – รูปที่ 22 ดังนี้



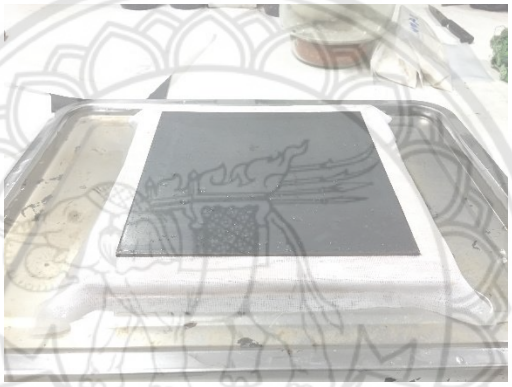
รูป ก. 10 นำแม่พิมพ์ชิ้นงานอันแรก (ที่มีตาข่าย) มารองเยื่อกล้วยเป็นชั้นแรก ใส่น้ำลงไปให้ท่วมตาข่ายขึ้นมาเล็กเพียงเล็กน้อยเพื่อให้ง่ายต่อการตีเยื่อกล้วยให้กระจายได้ทั่วทั้งแผ่นแม่พิมพ์ชิ้นงาน



รูป ก. 11 นำเยื่อกล้วยที่เตรียมไว้ใส่ลงไปในแม่พิมพ์ชิ้นงานชั้นแรก ทำการตีเยื่อกล้วยให้กระจายเท่ากันทั่วทั้งแม่พิมพ์ชิ้นงาน

รูป ก. 12 นำแม่พิมพ์ชิ้นงานอันที่สอง (ที่ไม่มีตาข่าย) มาวางซ้อนทับแม่พิมพ์ชิ้นงานชั้นแรก

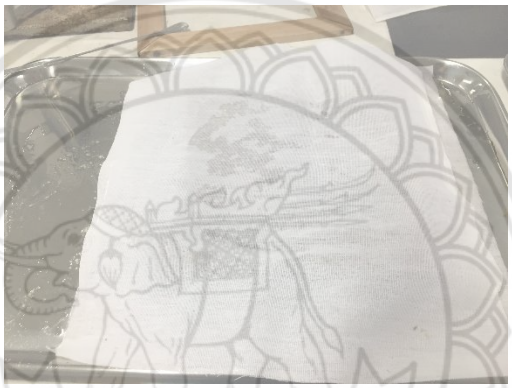
รูป ก. 13 นำผ้าขาวบางที่มีรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสมาวางซ้อนทับแม่พิมพ์ชิ้นงานชั้นที่สอง



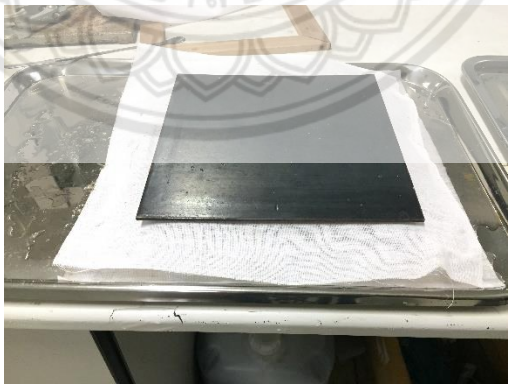
รูป ก. 14 นำแผ่นเหล็กแผ่นแรกรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 20×20 เซนติเมตร วางซ้อนทับผ้าขาวบาง

รูป ก. 15 ทำการพลิกด้านของแม่พิมพ์ชิ้นงานให้แม่พิมพ์ชิ้นงานอันแรก (ที่มีตาข่าย) ขึ้นมาอยู่ชั้นบนสุด และให้แผ่นเหล็กแผ่นแรกอยู่ชั้นล่างสุดเพื่อเป็นแผ่นรองเยื่อกล้วย

รูป ก. 16 นำแม่พิมพ์ชิ้นงานอันแรกและอันที่สองออก จะได้เยื่อกล้วยที่มีลักษณะเป็นแผ่นชิ้นงานวางซ้อนทับอยู่บนแผ่นเหล็กแผ่นแรก

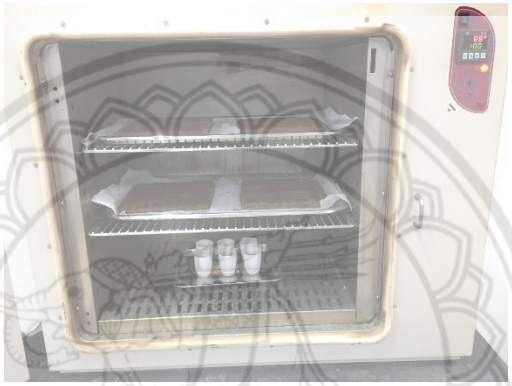


รูป ก. 17 นำผ้าขาวบางแผ่นที่สองมาวางบนชิ้นงานอีกครั้งเพื่อเป็นการรอง**ไม่ให้แผ่นเหล็กแผ่นที่**สองติดกับชิ้นงาน

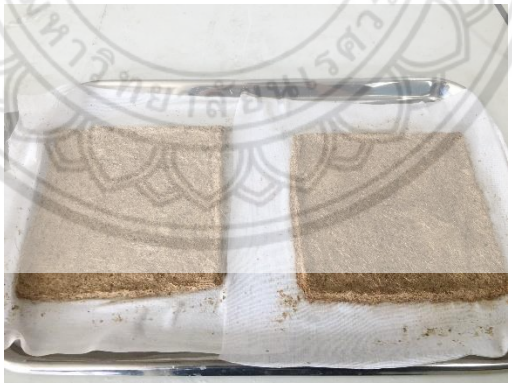


รูป ก. 18 นำแผ่นเหล็กแผ่นที่สองมาวางซ้อนทับอีกครั้งเพื่อทำการกดรีดเอาน้ำที่อยู่ในชิ้นงานออกให้ได้มากที่สุด

รูป ก. 19 เมื่อกดรีดเอาน้ำออกแล้ว จากนั้นนำแผ่นเหล็กและผ้าขาวบางที่อยู่ด้านบนสุดออก



รูป ก. 20 นำชิ้นงานที่ได้ไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง



รูป ก. 21 เมื่อผ่านการอบแล้วจะได้ชิ้นงานที่แห้งและมีลักษณะเป็นแผ่น จากนั้นทำการชั่งน้ำหนักชิ้นงานทุกแผ่นและบันทึกผล

1.2.3 กระบวนการอัดแผ่นชิ้นงาน

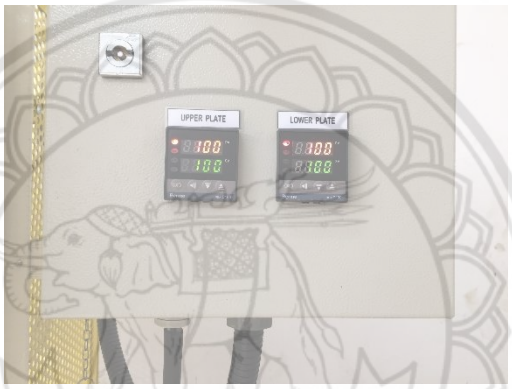
นำแผ่นชิ้นงานที่ได้หลังจากผ่านการอบด้วยตู้อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส มาทำการกดอัดแผ่นชิ้นงานด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก โดยทำการกดอัดแผ่นชิ้นงานที่แรงดัน 1,500 psi อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการกดอัด 8 นาที ดังแสดงในรูปที่ 22 - รูปที่ 32 ดังนี้

รูป ก. 22 นำแผ่นเหล็กแผ่นแรกมาวางเพื่อรองชิ้นงานที่จะนำมากดอัด

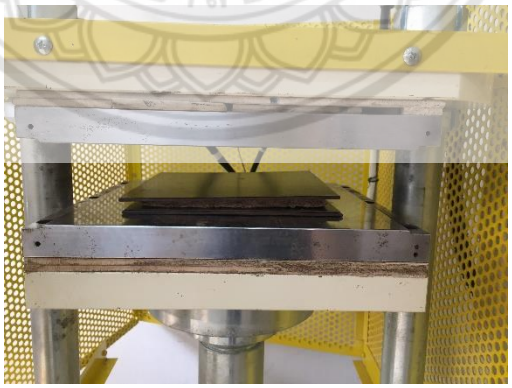
รูป ก. 23 วางแผ่นเหล็กที่ใช้สำหรับกำหนดขนาดและความหนาของแผ่นชิ้นงานให้มีขนาด 17×17 เซนติเมตร ความหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร

รูป ก. 24 นำแผ่นชิ้นงานที่เตรียมไว้วางทับลงบนแผ่นเหล็ก

รูป ก. 25 นำแผ่นเหล็กแผ่นที่สองวางทับลงบนแผ่นชิ้นงานเพื่อไม่ให้ชิ้นงานสัมผัสกับเครื่องกดอัดไฮดรอลิกโดยตรง



รูป ก. 26 ตู้ควบคุมการปรับตั้งอุณหภูมิในการกดอัดของเครื่องกดอัดไฮดรอลิก โดยปรับอุณหภูมิที่ใช้สำหรับการกดอัดที่ 100 องศาเซลเซียส



รูป ก. 27 นำแผ่นเหล็กและชิ้นงานที่เตรียมไว้เข้าไปวาง ณ ตำแหน่งตรงกลางของเครื่องกดอัดไฮดรอลิก

รูป ก. 28 ทำการกดอัดแผ่นชิ้นงาน

รูป ก. 29 กดอัดแผ่นชิ้นงานด้วยแรงดันในการกดอัด 1,500 psi จากนั้นทำการจับเวลาให้ครบ 8 นาที

รูป ก. 30 เมื่อครบ 8 นาที ให้นำแผ่นเหล็กและชิ้นงานออกมาจากเครื่องกดอัดไฮดรอลิก

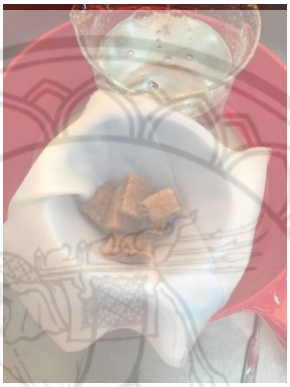
รูป ก. 31 นำชิ้นงานที่ได้ไปชั่งน้ำหนัก บันทึกผล และทำการตัดขอบส่วนเกินออก

2. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยกล้วย

รูป ก. 32 ชั่งน้ำหนักตัวอย่างชิ้นงานประมาณ 1 กรัม

รูป ก. 33 นำ NDF ที่เตรียมไว้ 100 มิลลิลิตร ต้มให้เดือดประมาณ 15 นาที แล้วลดให้เดือดเพียงเล็กน้อย

รูป ก. 34 นำตัวอย่างที่เตรียมไว้ใส่ลงใน สารละลาย NDF ที่เตรียมไว้ ต้มทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง

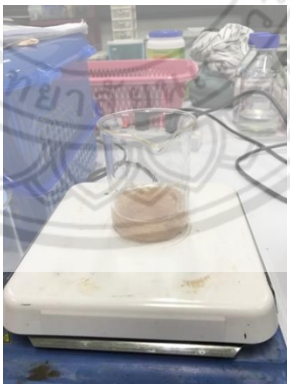


รูป ก. 35 นำไปกรองด้วยผ้ากรองแล้วล้างด้วยน้ำเปล่าปริมาตร 2,500 มิลลิตร จนกระทั่งหมดฟอง และล้างด้วยอะซิโตนปริมาตร 20 มิลลิลิตร แล้วล้างต่อด้วยน้ำสะอาด 250 มิลลิลิตร

รูป ก. 36 นำตัวอย่างที่ผ่านการกรอง ใส่ครูซิเบิลแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 12 ชั่วโมง

รูป ก. 37 น้ำมาชั่งน้ำหนักแล้วจดบันทึก น้ำหนักที่ได้จะเป็นน้ำหนักของ NDF

รูป ก. 38 นำ ADF ที่เตรียมไว้ 100 มิลลิลิตร ต้มให้เดือดประมาณ 15 นาที แล้วล**ดให้เดือดเพียงเล็กน้อย**



รูป ก. 39 นำตัวอย่างหลังผ่านการทำ NDF มาต้มต่อโดยใช้ระยะเวลา 1 ชั่วโมง

รูป ก. 40 นำไปกรองด้วยผ้ากรองแล้วล้างด้วยน้ำเปล่าปริมาตร 2,500 มิลลิตร จนกระทั่งหมดฟอง และล้างด้วยอะซิโตนปริมาตร 20 มิลลิลิตร หลังจากนั้นล้างต่อด้วยน้ำสะอาด 250 มิลลิลิตร

รูป ก. 41 หลังจากนั้นนำตัวอย่างใส่กูซ ครูซิเบิล แล้วเข้าอบ 12 ชั่วโมง

รูป ก. 42 น้ำมาชั่งน้ำหนักแล้วจดบันทึก น้ำหนักที่ได้จะเป็นน้ำหนักของ ADF

รูป ก. 43 นำตัวอย่างที่ผ่านการทำ ADF มาใส่ กูซ ครูซิเบิล แล้วเติม 72% กรดซัลฟิวริก ปริมาตร 40 มิลลิลิตร ลงในกูซ ครูซิเบิล แล้วใช้แท่งแก้วคน ตั้งทิ้งไว้ 3 ชั่วโมง นำมากรองแล้วล้างด้วยอะซิ-โตนปริมาตร 20 มิลลิลิตร แล้วล้างต่อด้วยน้เปล่า ปริมาตร 200 มิลลิลิตร

รูป ก. 44 นำมากรองแล้วล้างด้วยอะซิโตนปริมาตร 20 มิลลิลิตร แล้วล้างต่อด้วยน้ำเปล่าปริมาตร 200 มิลลิลิตร

รูป ก. 45 นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 12 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นนำมาชั่งน้ำหนัก และจดบันทึกจะได้เป็นน้ำหนัก ADL ก่อนเผา

รูป ก. 46 นำตัวอย่างที่ผ่านการอบ เข้าเตาเผา และเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสโดยใช้เวลา 24 ชั่วโมงแล้ว

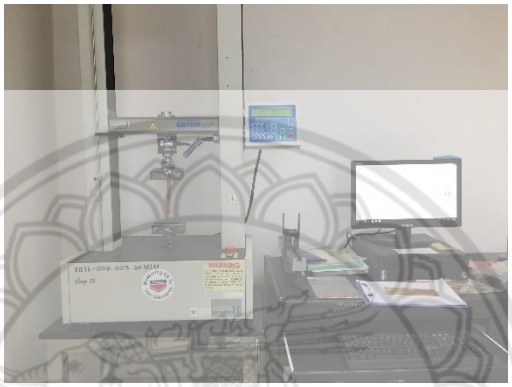
รูป ก. 47 นำตัวอย่างที่ผ่านการเผา มาชั่งน้ำหนักแล้วบันทึกผล

3. การทดสอบความสามารถในการดูดซึมน้ำ

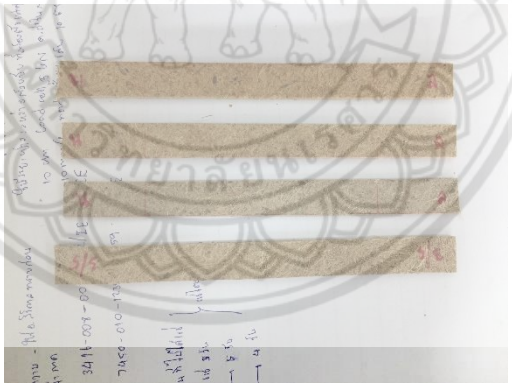
เตรียมแผ่นชิ้นงาน 1 แผ่น หยดน้ำปริมาตร 0.05 มิลลิลิตร บริเวณ 9 จุดทั่วแผ่นชิ้นงาน แล้วจับเวลาโดยจับเวลา ณ แต่ละจุดเมื่อน้ำหยดลงแล้วซึมผ่านลงไป หลังจากครบ 9 จุด แล้ว ให้หยดน้ำให้ทั่วแผ่นชิ้นงานจนกระทั่งน้ำซึมออกจากแผ่นชิ้นงาน ทำการวัดปริมาตรน้ำที่หยดทั้งหมดและบันทึกผล

4. การศึกษาการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของชิ้นงาน

ใช้เครื่องทดสอบคุณสมบัติเชิงกลทำการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงและระยะยืด โดยการตัดแผ่นชิ้นงานเพื่อนำไปทดสอบให้มีขนาดขนาด 17×1.5 เซนติเมตร มาวัดความต้านทานแรงดึง โดยให้ระยะห่างระหว่างตัวหนีบ (Gauge range) ทั้งสองตัวเท่ากับ 10 เซนติเมตร และใช้โหลดเซลล์ (Load cell) ขนาด 5 กิโลนิวตัน ความเร็วที่ใช้ในการดึง 10 มิลลิเมตรต่อนาที โดยทำการทดสอบซ้ำแบบเดิม 3 ตัวอย่าง แล้วหาค่าเฉลี่ยเพื่อนำมาวิเคราะห์ผลการทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 33 - รูปที่ 36 ดังนี้

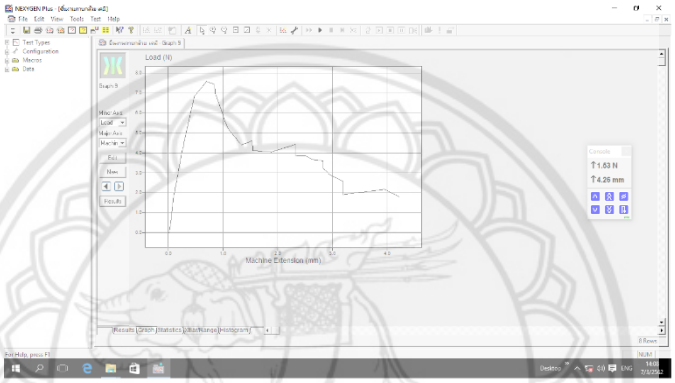


รูป ก. 48 เครื่องวัดค่ามาตรฐานคุณสมบัติเชิงกล (Universal Testing Machine)



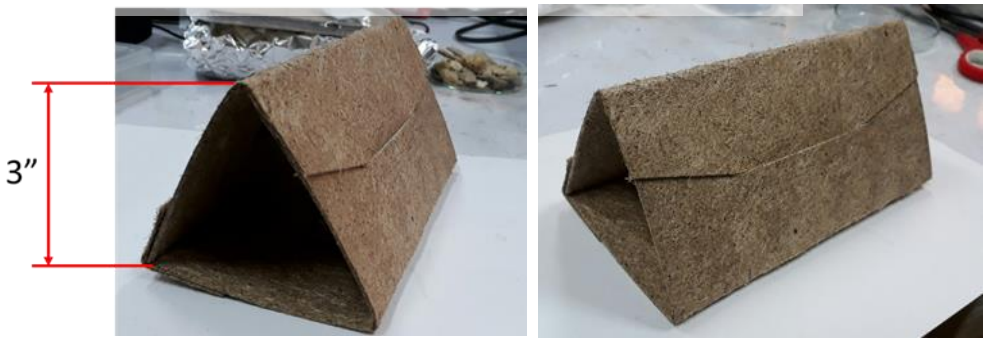
รูป ก. 49 ตัดแผ่นชิ้นงานให้มีขนาด 17×1.5 เซนติเมตร เพื่อนำไปทดสอบความต้านทานแรงดึง

รูป ก. 50 นำแผ่นชิ้นงานเข้าเครื่องทดสอบความต้านทานแรงดึง



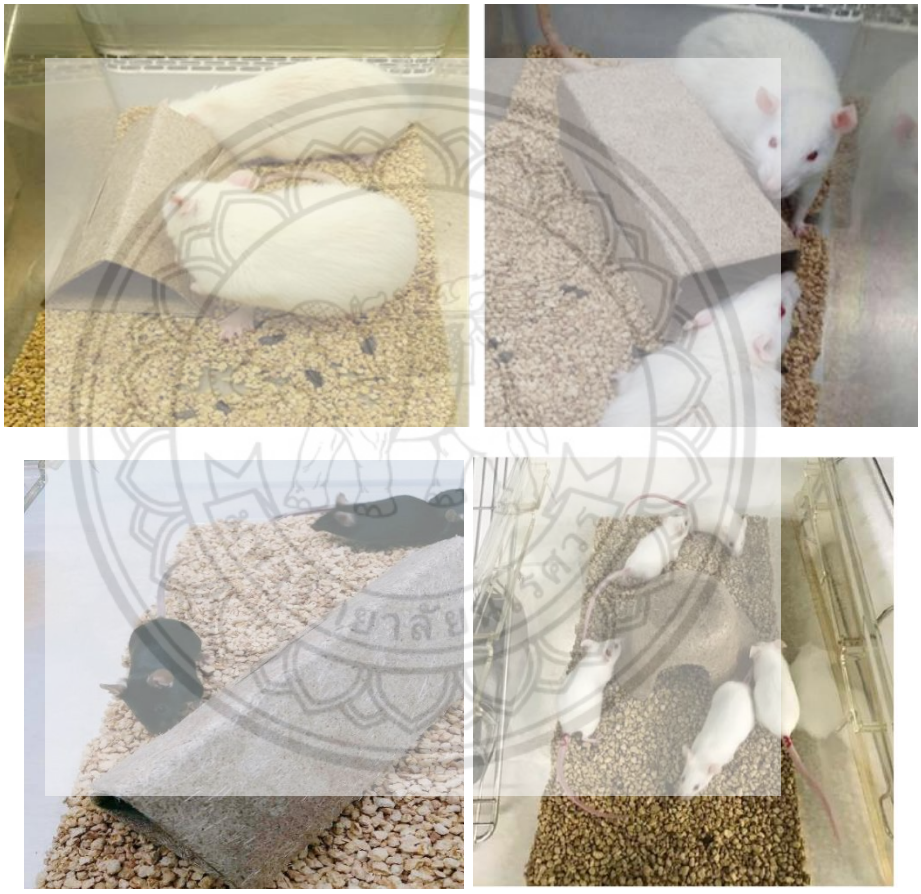
รูป ก. 51 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงที่ได้จะแสดงขึ้นบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ ทำการบันทึกผล

5. การนำชิ้นงานไปใช้กับสัตว์ทดลองประเภทฟันแทะ



รูป ก. 52 รูปทรงชิ้นงานที่ได้จากกาบกล้วย

รูป ก. 53 รูปทรงชิ้นงานที่ได้จากกาบกล้วยจากการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ 3 มิติ



รูป ก. 54 การนำชิ้นงานไปใช้กับหนูเมาส์และหนูแรทที่สถานเลี้ยงสัตว์ทดลอง มหาวิทยาลัยนเรศวร

ภาคผนวก ข

องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยกล้วย

ตาราง ข. 1 แสดงองค์ประกอบของเส้นใยกล้วย (เปอร์เซ็นต์) ที่ได้จากกาบกล้วยดิบอบแห้ง

องค์ประกอบของเส้นใยกล้วย	ตัวอย่างชิ้นงาน						
	1	2	3	4	5	6	เฉลี่ย
1. ปริมาณ lignin	16.24%	19.54%	17.48%	9.82%	29.82%	6.04%	16.49%
2. ปริมาณ cellulose	63.20%	49.36%	56.53%	65.76%	46.19%	65.57%	57.77%
3. อื่นๆ	20.55%	31.10%	26.00%	24.42%	23.99%	28.39%	25.74%

ตาราง ข. 2 แสดงองค์ประกอบของเส้นใยกล้วย (เปอร์เซ็นต์) ที่ได้จากกล้วยดิบผ่านการปั่นและอบแห้ง

องค์ประกอบของเส้นใยกล้วย	ตัวอย่างชิ้นงาน						
	1	2	3	4	5	6	เฉลี่ย
1. ปริมาณ lignin	10.03%	23.25%	14.75%	16.44%	9.04%	12.05%	14.26%
2. ปริมาณ cellulose	69.76%	47.57%	51.46%	59.06%	67.36%	69.59%	60.80%
3. อื่นๆ	20.21%	29.18%	33.80%	24.50%	23.59%	18.36%	24.94%

ตาราง ข. 3 แสดงองค์ประกอบของเส้นใยกล้วย (เปอร์เซ็นต์) ที่ได้จากชิ้นงานที่ผ่านการหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์ปริมาณ 20 กรัม ระยะเวลาในการหมักบ่ม 3 วัน

องค์ประกอบของเส้นใยกล้วย	ตัวอย่างชิ้นงาน					
	1	2	3	4	5	เฉลี่ย
1. ปริมาณ lignin	11.84%	11.31%	10.68%	10.34%	13.84%	11.60%
2. ปริมาณ cellulose	75.51%	77.06%	81.93%	83.81%	79.47%	79.56%
3. อื่นๆ	12.64%	11.63%	7.40%	5.85%	6.69%	8.84%

ตาราง ข. 4 แสดงองค์ประกอบของเส้นใยกล้วย (เปอร์เซ็นต์) ที่ได้จากชิ้นงานที่ผ่านการหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์ปริมาณ 20 กรัม ระยะเวลาในการหมักบ่ม 5 วัน

องค์ประกอบของเส้นใยกล้วย	ตัวอย่างชิ้นงาน			
	1	2	3	เฉลี่ย
1. ปริมาณ lignin	6.37%	6.25%	9.94%	7.52%
2. ปริมาณ cellulose	84.00%	83.40%	79.57%	82.32%
3. อื่นๆ	9.63%	10.35%	10.49%	10.16%

ตาราง ข. 5 แสดงองค์ประกอบของเส้นใยกล้วย (เปอร์เซ็นต์) ที่ได้จากชิ้นงานที่ผ่านการหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์ปริมาณ 20 กรัม ระยะเวลาในการหมักบ่ม 7 วัน

องค์ประกอบของเส้นใยกล้วย	ตัวอย่างชิ้นงาน			
	1	2	3	เฉลี่ย
1. ปริมาณ lignin	6.49%	6.97%	6.97%	6.81%
2. ปริมาณ cellulose	84.74%	84.44%	83.36%	84.18%
3. อื่นๆ	8.77%	8.59%	9.67%	9.01%

ตาราง ข. 6 แสดงองค์ประกอบของเส้นใยกล้วย (เปอร์เซ็นต์) ที่ได้จากชิ้นงานที่ผ่านการหมักบ่ม ด้วยจุลินทรีย์ปริมาณ 50 กรัม ระยะเวลาในการหมักบ่ม 3 วัน

องค์ประกอบของเส้นใยกล้วย	ตัวอย่างชิ้นงาน			
	1	2	3	เฉลี่ย
1. ปริมาณ lignin	9.92%	9.05%	9.11%	9.36%
2. ปริมาณ cellulose	81.42%	81.05%	81.74%	81.41%
3. อื่นๆ	8.65%	9.90%	9.15%	9.23%

ตาราง ข. 7 แสดงองค์ประกอบของเส้นใยกล้วย (เปอร์เซ็นต์) ที่ได้จากชิ้นงานที่ผ่านการหมักบ่ม ด้วยจุลินทรีย์ปริมาณ 100 กรัม ระยะเวลาในการหมักบ่ม 3 วัน

องค์ประกอบของเส้นใยกล้วย	ตัวอย่างชิ้นงาน			
	1	2	3	เฉลี่ย
1. ปริมาณ lignin	8.79%	7.26%	9.78%	8.61%
2. ปริมาณ cellulose	80.70%	83.49%	81.54%	81.91%
3. อื่นๆ	10.51%	9.25%	8.68%	9.48%

ตาราง ข. 8 แสดงองค์ประกอบของเส้นใยกล้วย (เปอร์เซ็นต์) ที่ได้จากชิ้นงานที่ผ่านการหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์ปริมาณ 70 กรัม ระยะเวลาในการหมักบ่ม 3 วัน

องค์ประกอบของเส้นใยกล้วย	ตัวอย่างชิ้นงาน			
	1	2	3	เฉลี่ย
1. ปริมาณ lignin	12.85%	21.62%	12.27%	15.58%
2. ปริมาณ cellulose	73.55%	65.06%	74.37%	70.99%
3. อื่นๆ	13.60%	13.32%	13.36%	13.43%

ตาราง ข. 9 แสดงองค์ประกอบของเส้นใยกล้วย (เปอร์เซ็นต์) ที่ได้จากชิ้นงานที่ผ่านการหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์ปริมาณ 70 กรัม ระยะเวลาในการหมักบ่ม 5 วัน

องค์ประกอบของเส้นใยกล้วย	ตัวอย่างชิ้นงาน			
	1	2	3	เฉลี่ย
1. ปริมาณ lignin	13.21%	13.00%	12.78%	13.00%
2. ปริมาณ cellulose	76.67%	77.91%	77.93%	77.50%
3. อื่นๆ	10.12%	9.09%	9.30%	9.50%

ตาราง ข. 10 แสดงองค์ประกอบของเส้นใยกล้วย (เปอร์เซ็นต์) ที่ได้จากชิ้นงานที่ผ่านการหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์ปริมาณ 70 กรัม ระยะเวลาในการหมักบ่ม 7 วัน

องค์ประกอบของเส้นใยกล้วย	ตัวอย่างชิ้นงาน			
	1	2	3	เฉลี่ย
1. ปริมาณ lignin	9.99%	11.52%	13.22%	11.58%
2. ปริมาณ cellulose	78.92%	74.90%	70.53%	74.78%
3. อื่นๆ	11.09%	13.58%	16.25%	13.64%

ตาราง ข. 11 แสดงองค์ประกอบของเส้นใยกล้วย (เปอร์เซ็นต์) ที่ได้จากชิ้นงานที่ผ่านการแช่น้ำ 7 วัน

องค์ประกอบของเส้นใยกล้วย	ตัวอย่างชิ้นงาน			
	1	2	3	เฉลี่ย
1. ปริมาณ lignin	11.59%	10.50%	11.66%	11.25%
2. ปริมาณ cellulose	82.16%	85.59%	76.60%	81.45%
3. อื่นๆ	6.25%	3.91%	11.74%	7.30%

ตาราง ข. 12 แสดงองค์ประกอบของเส้นใยกล้วย (เปอร์เซ็นต์) ที่ได้จากชิ้นงานที่ไม่ผ่านการหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์

องค์ประกอบของเส้นใยกล้วย	ตัวอย่างชิ้นงาน			
	1	2	3	เฉลี่ย
1.ปริมาณ lignin	26.06%	16.54%	11.59%	18.06%
2.ปริมาณ cellulose	54.48%	63.13%	70.06%	62.55%
3. อื่นๆ	19.46%	20.33%	18.35%	19.38%

ภาคผนวก ค

การดูดซึมมน้ำของแผ่นชิ้นงาน

ตาราง ค. 1 ตารางแสดงผลของระยะเวลาในการดูดซึมน้ำของแผ่นชิ้นงานที่เปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ที่ใช้ระยะเวลาในการหมักบ่ม ที่ระยะเวลา 3 วัน

ปริมาณจุลินทรีย์ (กรัม)	เวลาการดูดซึมน้ำในแต่ละจุด (วินาที)									ค่าเฉลี่ย
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
20 กรัม	2.47	2.93	4.47	1.53	2.56	1.72	0.62	4.07	1.4	2.42
50 กรัม	3.15	3.15	2.5	3	2.21	2.06	3	2.68	2.6	2.71
100 กรัม	1.9	1.91	1.56	1.56	1.09	1.35	1.94	2.28	1.65	1.69

ตาราง ค. 2 ตารางแสดงผลของระยะเวลาในการดูดซึมน้ำของแผ่นชิ้นงานที่เปลี่ยนแปลงระยะเวลาที่ใช้ในการหมักบ่ม ที่ปริมาณจุลินทรีย์ 20 กรัม

ระยะเวลาในการหมักบ่ม (วัน)	เวลาการดูดซึมน้ำในแต่ละจุด (วินาที)									ค่าเฉลี่ย
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
3 วัน	5.37	3.75	7.69	2.1	2.5	5.5	2.37	2.93	3.44	3.96
5 วัน	0.72	1	1.66	1.72	0.66	0.91	1.09	0.87	1.28	1.10
7 วัน	0.7	1	0.78	0.88	1.1	1.25	1.81	1.75	0.66	1.10

ตาราง ค. 3 ตารางแสดงผลของระยะเวลาในการดูดซึมน้ำของแผ่นชิ้นงานที่ไม่ผ่านการหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์ และชิ้นงานที่หมักบ่มด้วยน้ำ 7 วัน

ตัวอย่าง	เวลาการดูดซึมน้ำในแต่ละจุด (วินาที)									ค่าเฉลี่ย
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
ไม่ผ่านการหมักบ่ม	2.78	1.06	2.72	0.9	0.6	0.8	1.06	0.75	1.35	1.34
หมักบ่มด้วยน้ำ 7 วัน	1.91	1.44	1.53	1.72	187	1.47	1.75	2	1.88	1.73

ตาราง ค. 4 แสดงปริมาตรการดูดซึมน้ำต่อพื้นที่ใช้งานของแผ่นชิ้นงานที่เปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมักบ่ม ที่ระยะเวลา 3 วัน

ตัวอย่างที่เปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ (กรัม)	เวลาในการดูดซึมน้ำ (วินาที)	การดูดซึมน้ำต่อพื้นที่การใช้งาน 17×17 เซนติเมตร (มิลลิลิตร)
20 กรัม	2.24	115
50 กรัม	2.71	145
100 กรัม	1.69	145
เฉลี่ย	2.21	135

ตาราง ค.5 แสดงปริมาตรการดูดซึมน้ำต่อพื้นที่ใช้งานของแผ่นชิ้นงานที่เปลี่ยนแปลงระยะเวลาที่ใช้ในการหมักบ่ม ที่ปริมาณจุลินทรีย์ 20 กรัม

ตัวอย่างที่เปลี่ยนแปลง ระยะเวลาในการหมักบ่ม (วัน)	เวลาในการดูดซึมน้ำ (วินาที)	การดูดซึมน้ำต่อพื้นที่การใช้งาน 17×17 เซนติเมตร (มิลลิลิตร)
3 วัน	3.96	122
5 วัน	1.10	153
7 วัน	1.10	144
เฉลี่ย	2.05	140

ตาราง ค.6 ปริมาตรการดูดซึมน้ำต่อพื้นที่ใช้งานของชิ้นงานจากกาบกล้วยที่ไม่ผ่านการหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์กับตัวอย่างที่ผ่านการหมักบ่มด้วยน้ำ 7 วัน

ตัวอย่างที่เปลี่ยนแปลง ระยะเวลาในการหมักบ่ม (วัน)	การดูดซึมน้ำต่อพื้นที่การใช้งาน 17×17 เซนติเมตร (มิลลิลิตร)
ไม่ผ่านการหมักบ่ม	85
หมักบ่มด้วยน้ำ 7 วัน	85
เฉลี่ย	85

ภาคผนวก ง

การทดสอบความต้านทานแรงดึง

ตาราง ง. 1 การศึกษาคุณสมบัติแรงดึงของชิ้นงานที่ไม่ผ่านการหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์

ชิ้นที่	Maximum load (N)	น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)
1	3.9637	1.6316
2	7.5925	1.6039
3	7.6419	1.6075
เฉลี่ย	6.3994	1.6143

ตาราง ง. 2 การศึกษาคุณสมบัติแรงดึงของชิ้นงานที่ผ่านการหมักบ่มด้วยน้ำเพียงอย่างเดียวเป็นเวลา 7 วัน

ชิ้นที่	Maximum load	น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)
1	13.5730	1.6627
2	17.9210	1.9732
3	11.0760	1.7088
เฉลี่ย	14.1900	1.7816

ตาราง ง. 3 การศึกษาคุณสมบัติแรงดึงของชิ้นงานที่ผ่านการหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์ปริมาณ 70 กรัม โดยใช้ระยะเวลาในการหมักบ่ม 3 วัน

ชิ้นที่	Maximum load (N)	น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)
1	31.0750	1.8286
2	29.0300	1.9525
3	33.3860	1.7333
เฉลี่ย	31.1637	1.8381

ตาราง ง. 4 การศึกษาคุณสมบัติแรงดึงของชิ้นงานที่ผ่านการหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์ปริมาณ 70 กรัม โดยใช้ระยะเวลาในการหมักบ่ม 5 วัน

ชิ้นที่	Maximum load (N)	น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)
1	11.2770	1.7334
2	17.3990	1.8540
3	12.9070	1.7069
เฉลี่ย	13.8610	1.7648

ตาราง ง. 5 การศึกษาคุณสมบัติแรงดึงของชิ้นงานที่ผ่านการหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์ปริมาณ 70 กรัม โดยใช้ระยะเวลาในการหมักบ่ม 7 วัน

ชิ้นที่	Maximum load (N)	น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)
1	13.1030	1.6009
2	10.6460	2.1057
3	14.9850	1.6813
เฉลี่ย	12.9113	1.7959

ตาราง ง. 6 การศึกษาคุณสมบัติแรงดึงของชิ้นงานที่ผ่านการหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์ปริมาณ 20 กรัม โดยใช้ระยะเวลาในการหมักบ่ม 3 วัน

ชิ้นที่	Maximum load	น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)
1	17.1140	1.9990
2	11.7600	2.1862
3	14.1020	1.8558
4	15.5180	2.0459
5	13.3790	1.7836
เฉลี่ย	14.3746	1.9741

ตาราง ง. 7 การศึกษาคุณสมบัติแรงดึงของชิ้นงานที่ผ่านการหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์ปริมาณ 50 กรัม โดยใช้ระยะเวลาในการหมักบ่ม 3 วัน

ชิ้นที่	Maximum load	น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)
1	4.0712	1.6399
2	6.3509	1.6973
3	7.7657	1.8190
เฉลี่ย	6.0626	1.7187

ตาราง ง. 8 การศึกษาคุณสมบัติแรงดึงของชิ้นงานที่ผ่านการหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์ปริมาณ 100 กรัม โดยใช้ระยะเวลาในการหมักบ่ม 3 วัน

ชิ้นที่	Maximum load	น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)
1	13.5680	1.8060
2	5.4397	1.4578
3	8.6269	1.7435
เฉลี่ย	9.2115	1.6691

ตาราง ง. 9 การศึกษาคุณสมบัติแรงดึงของชิ้นงานที่ผ่านการหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์ปริมาณ 20 กรัม โดยใช้ระยะเวลาในการหมักบ่ม 5 วัน

ชิ้นงาน	Maximum load	น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)
1	37.1150	1.8308
2	13.5400	1.8639
3	32.8050	1.6437
เฉลี่ย	27.8200	1.7795

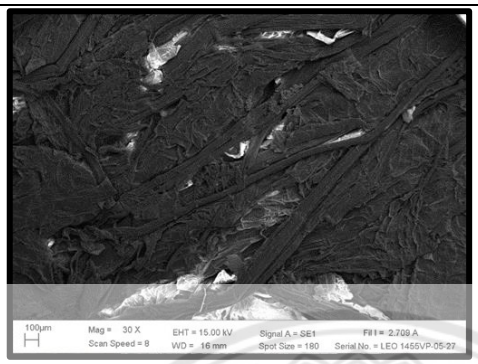
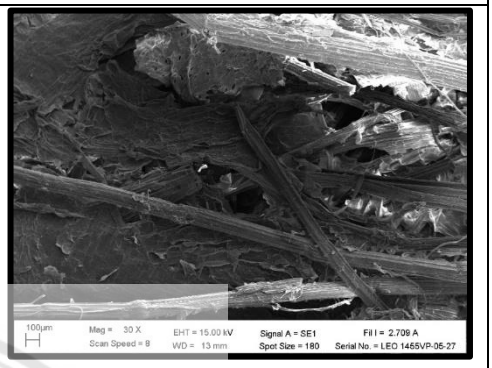
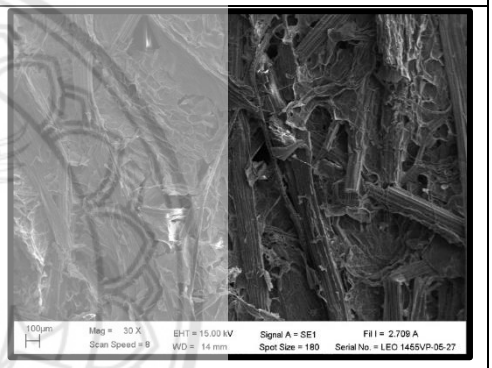
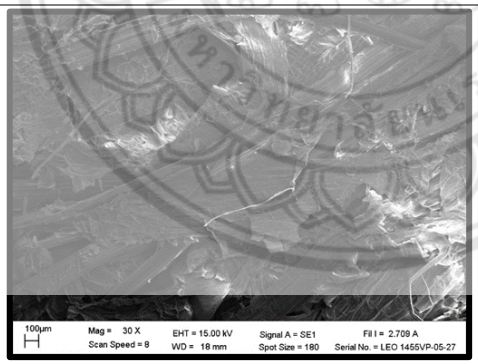
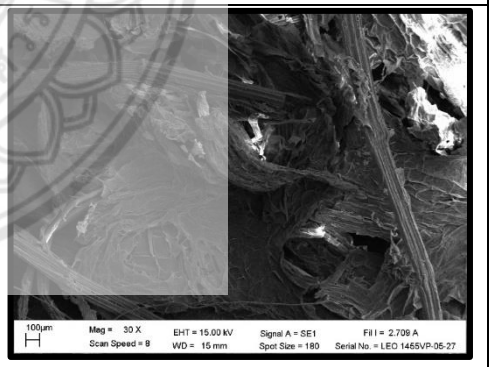
ตาราง ง. 10 การศึกษาคุณสมบัติแรงดึงของชิ้นงานที่ผ่านการหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์ปริมาณ 20 กรัม โดยใช้ระยะเวลาในการหมักบ่ม 7 วัน

ชิ้นงาน	Maximum load	น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)
1	21.7780	2.0000
2	27.1630	2.2855
3	18.4110	2.2348
เฉลี่ย	22.4507	2.1734

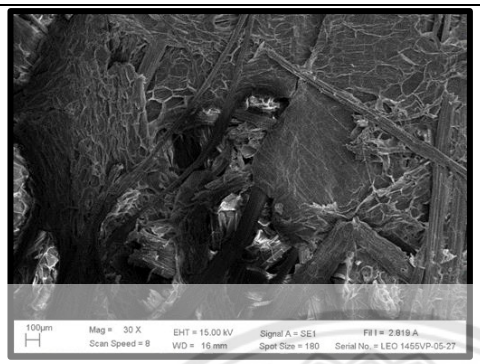
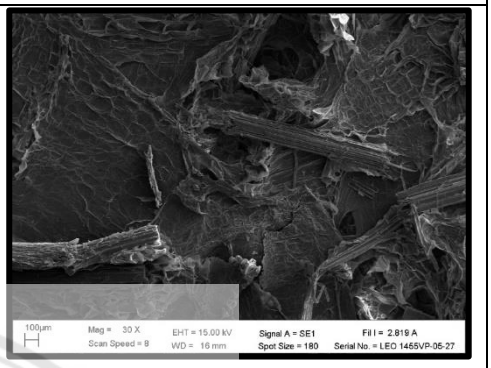
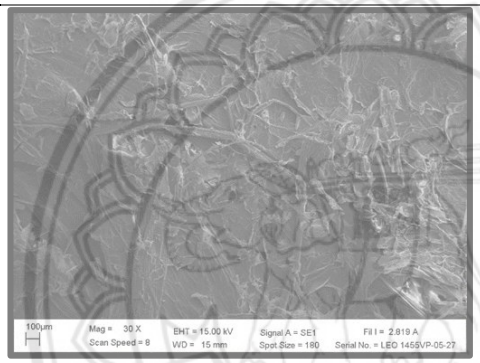
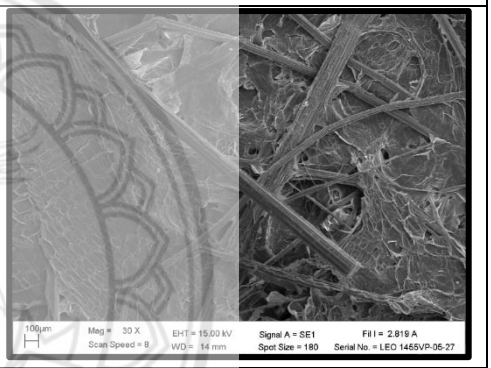
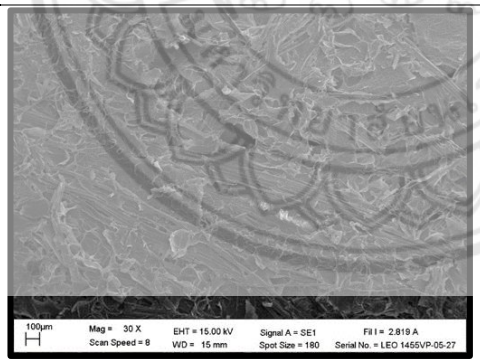
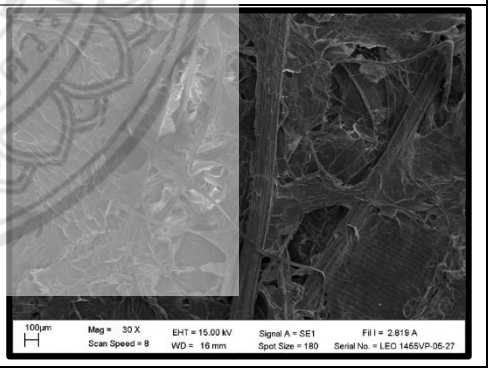
ภาคผนวก จ

การทดสอบลักษณะพื้นผิวของชิ้นงานด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด

ตาราง จ. 1 ลักษณะชิ้นงานกล้วยที่เปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมักบ่ม ที่ระยะเวลา 3 วัน โดยผ่านและไม่ผ่านการกดอัด กำลังขยาย 30 เท่า

ตัวอย่าง	ลักษณะเส้นใยที่ผ่านการกดอัด	ลักษณะเส้นใยที่ไม่ผ่านการกดอัด
ปริมาณจุลินทรีย์ 20 กรัม		
ปริมาณจุลินทรีย์ 50 กรัม		
ปริมาณจุลินทรีย์ 100 กรัม		

ตาราง จ. 2 ลักษณะชิ้นงานกล้วยที่เปลี่ยนแปลงระยะเวลาที่ใช้ในการหมักบ่ม ปริมาณจุลินทรีย์ไม่เปลี่ยนแปลง โดยผ่านและไม่ผ่านการกดอัด ที่กำลังขยาย 30 เท่า

ตัวอย่าง	ลักษณะเส้นใยที่ผ่านการกดอัด	ลักษณะเส้นใยที่ไม่ผ่านการกดอัด
ชิ้นงานที่ ระยะเวลา 3 วัน		
ชิ้นงานที่ ระยะเวลา 5 วัน		
ชิ้นงานที่ ระยะเวลา 7 วัน		

ตาราง จ. 3 ลักษณะชิ้นงานกล้วยที่ไม่ผ่านการหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์ โดยผ่านและไม่ผ่านการกดอัด ที่กำลังขยาย 30 เท่า

ตัวอย่าง	ลักษณะเส้นใยที่ผ่านการกดอัด	ลักษณะเส้นใยที่ไม่ผ่านการกดอัด
ไม่ผ่านการหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์