# การใช้ประโยชน์จากเส้นใยบวบใช้สำหรับผลิตเป็นวัสดุตั้งต้นในการเตรียมคาร์บอนโมโนลิทที่มีรูพรุน

# USING LOOFAH (LUFFA CYLINDRICAL) FOR PREPARATION OF POROUS CARBON MONOLITH PRECURSORS

นายนริศ กิตติธนาภิวัฒน์ รหัส 50363624
นายเอกชัย เนตรแสงสี รหัส 50363952

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 10 ก.ค. 2554
เลขทะเบียน 1551823
เลขเรียกหนังสือ ว/ร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร 4251 ก 2553

1551823
ว/ร.
4251 ก
2553

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2553

# ใบรับรองปริญญานิพนธ์

| | | | |
|---|---|---|---|
| **ชื่อหัวข้อโครงงาน** | การใช้ประโยชน์จากเส้นใยบวบใช้สำหรับผลิตเป็นวัสดุตั้งต้นในการเตรียมคาร์บอนโมโนลิทที่มีรูพรุน | | |
| **ผู้ดำเนินโครงงาน** | นายนริศ | กิตติธนาภิวัฒน์ | รหัส 50363624 |
| | นายเอกชัย | เนตรแสงสี | รหัส 50363952 |
| **ที่ปรึกษาโครงงาน** | อาจารย์อดิศักดิ์ ไสยสุข | | |
| **สาขาวิชา** | วิศวกรรมอุตสาหการ | | |
| **ภาควิชา** | วิศวกรรมอุตสาหการ | | |
| **ปีการศึกษา** | 2553 | | |

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

.....ที่ปรึกษาโครงงาน
(อาจารย์อดิศักดิ์ ไสยสุข)

.....ประธานกรรมการ
(อาจารย์นพวรรณ โม้ทอง)

.....กรรมการ
(อาจารย์วัฒนชัย เยาวรัตน์)

.....กรรมการ
(อาจารย์อาภาภรณ์ จันทร์ปิรักษ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์อิศราวุธ ประเสริฐสังข์)

.....กรรมการ
(อาจารย์สุชาดา อยู่แก้ว)

| | | | |
|---|---|---|---|
| **ชื่อหัวข้อโครงงาน** | การใช้ประโยชน์จากเส้นใยบวบใช้สำหรับผลิตเป็นวัสดุตั้งต้นในการเตรียมคาร์บอนโมโนลิทที่มีรูพรุน | | |
| **ผู้ดำเนินโครงงาน** | นายนริศ | กิตติธนาภิวัฒน์ | รหัส 50363624 |
| | นายเอกชัย | เนตรแสงสี | รหัส 50363952 |
| **ที่ปรึกษาโครงงาน** | อาจารย์อดิศักดิ์ | ไสยสุข | |
| **สาขาวิชา** | วิศวกรรมอุตสาหการ | | |
| **ภาควิชา** | วิศวกรรมอุตสาหการ | | |
| **ปีการศึกษา** | 2553 | | |

.....


## บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ มีจุดประสงค์เพื่อทำการศึกษาถึงผลของ ความหนาแน่น อุณหภูมิ และระยะเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูปแท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบเพื่อใช้ประโยชน์เป็นวัสดุตั้งต้นในการเตรียมคาร์บอนโมโนลิทที่มีรูพรุน โดยทำการขึ้นรูปแท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบที่สภาวะต่างๆ กันดังนี้ คือที่ความหนาแน่น 0.177, 0.212, 0.248, 0.283, 0.318 และ0.354 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 150 180 และ200 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาต่างๆ กันดังนี้ ที่เวลา 180, 240, 300, 360, 420 และ480 นาที ตามลำดับ แล้วจึงนำผลที่ได้มาวิเคราะห์เปรียบเทียบกัน

ผลจากการศึกษาพบว่า ชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการทำการทดลองขึ้นรูปแท่งโมโนลิทที่สภาวะความหนาแน่น อุณหภูมิ และระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นทำให้ชิ้นงานยึดติดกันมากขึ้น โดยการทดลองของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปแท่งโมโนลิทที่ความหนาแน่น 0.318 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 480 นาที ให้ผลว่าสภาวะดังกล่าวอาจจะเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปแท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบและเป็นสภาวะที่ใช้สำหรับการศึกษาต่อไป

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ความหนาแน่น อุณหภูมิ และระยะเวลาที่เปลี่ยนไปมีผลต่อการขึ้นรูปของแท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบ

# กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือ คำแนะนำและคำปรึกษาอย่างดียิ่งจาก อาจารย์อดิศักดิ์ ไสยสุข ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ซึ่งได้ให้ความอนุเคราะห์และคำแนะนำ คำปรึกษา แนะนำวิธีการแก้ปัญหา รวมถึงข้อคิดเห็นต่างๆ ตลอดจนความดูแลเอาใจใส่อย่างดียิ่ง ติดตามการดำเนินงานมาโดยตลอดระยะเวลาการปฏิบัติงาน และขอขอบคุณคณะอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยนเรศวรทุกท่าน ที่ได้ให้วิชาความรู้ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

นอกจากนี้ยังต้องขอขอบคุณ ครูช่างประเทือง โมรารายครูช่างธวัชชัย ชุลบุตร และครูช่างรณกฤต แสงผ่อง ที่คอยเอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ในการทำโครงงาน อีกทั้งยังคอยให้คำแนะนำในการใช้อุปกรณ์เครื่องมือช่างอย่างถูกต้องอีกด้วย

ท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบพระคุณ บิดา มารดา ผู้ที่ให้กำเนิด ให้การดูแล อบรมสั่งสอนและให้กำลังใจด้วยดีเสมอมาตลอดการดำเนินโครงงานจนสำเร็จการศึกษา

ผู้ดำเนินโครงงาน
นริศ กิตติธนาภิวัฒน์
เอกชัย เนตรแสงสี

เมษายน 2554

# สารบัญ

หน้า

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

บทที่ 1 บทนำ ..... 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน ..... 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน ..... 2
1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output) ..... 2
1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome) ..... 2
1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงงาน ..... 2
1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน ..... 3
1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน ..... 3
1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน ..... 3

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น ..... 4
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ..... 4
2.1.1 ใยบวบ ..... 4
2.1.2 ลิกโนเซลลูโลส (Lignocelluloses) ..... 5
2.1.3 เซลลูโลส (Cellulose) ..... 5
2.1.4 เฮมิเซลลูโลส (Hemicelluloses) ..... 7
2.1.5 ลิกนิน (Lignin) ..... 8
2.1.6 ปริมาตรทรงกระบอก ..... 9
2.1.7 ความหนาแน่น (Density) ..... 10
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ..... 10
2.2.1 การผลิตแผ่นใยไม้อัดจากชานอ้อยโดยไม่ใช้กาวด้วยกรรมวิธีการอัดร้อน ..... 10
2.2.2 การศึกษาผลิตแผ่นชิ้นไม้อัดจากทะลายปาล์มน้ำมัน ..... 10

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2.3 การศึกษาและจัดสร้างกระถางจากเศษวัสดุทางการเกษตรจำนวน 5 ชนิด..... 10
2.2.4 การศึกษาผลิตถ่านอัดแท่งจากถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเหง้ามันสำปะหลัง.. 11
2.2.5 การศึกษาวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร 4 ชนิด ..... 11

บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงงาน..... 13
3.1 ศึกษาข้อมูลทางทฤษฎี..... 14
3.2 ศึกษาผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ..... 14
3.3 ขั้นตอนในการปฏิบัติงาน ..... 14
3.4 วัสดุและสารเคมี ..... 14
3.5 อุปกรณ์และเครื่องมือ ..... 14
3.6 ขั้นตอนการทดลอง..... 16
3.7 วิเคราะห์ผลการทดลองและสรุปผลวิจัย..... 19

บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์..... 21
4.1 หลักการและแนวคิดในการออกแบบเครื่องมือขึ้นรูปแท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบ ..... 21
4.2 ผลของความหนาแน่นในการขึ้นรูปแท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบ..... 24
4.3 ผลของช่วงอุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปแท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบ..... 27
4.4 ผลการทดลองหาช่วงเวลาในการอัดขึ้นรูปแท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบ ..... 30

บทที่ 5 บทสรุป ..... 33
5.1 สรุปผลการดำเนินโครงงาน..... 33
5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะในการดำเนินโครงงาน ..... 34

เอกสารอ้างอิง..... 35
ภาคผนวก ก ..... 36
ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน ..... 38

# สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 ขั้นตอนในการดำเนินโครงงาน....2

2.1 ปริมาณของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในวัสดุทางการเกษตร....7

3.1 การทดลองขึ้นรูปแท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบที่สภาวะความหนาแน่นแตกต่างกัน.... 20

3.2 การทดลองขึ้นรูปแท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบที่สภาวะอุณหภูมิแตกต่างกัน.... 20

3.3 การทดลองขึ้นรูปแท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบที่ระยะเวลาแตกต่างกัน.... 20

4.1 แสดงผลการทดลองการขึ้นรูปแท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบ
ที่สภาวะความหนาแน่นแตกต่างกัน.... 25

4.2 แสดงผลการทดลองการขึ้นรูปแท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบที่สภาวะอุณหภูมิแตกต่างกัน.... 28

4.3 แสดงผลการทดลองการขึ้นรูปแท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบที่ระยะเวลาแตกต่างกัน.... 30

ก.1 แสดงปริมาตรและความหนาแน่นที่ใช้ในการขึ้นรูปแท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบ.... 37

# สารบัญรูป

รูปที่ หน้า


2.1 การจัดเรียงกันของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในไม้ ..... 5
2.2 โครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลส ..... 6
2.3 รูปร่างโครงสร้างของเซลลูโลสที่พบในผนังเซลล์พืชโดยทั่วไป ..... 6
2.4 โครงสร้างโมเลกุลของเฮมิเซลลูโลส ..... 8
2.5 โครงสร้างโมเลกุลของลิกนิน ..... 9
3.1 แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน ..... 13
3.2 เครื่องมืออัดขึ้นรูปแท่งโมโนลิท ..... 15
3.3 เครื่องชั่งสารเคมี (Balance) ..... 15
3.4 เตาอบ (Oven) ..... 15
3.5 เส้นใยบวบที่คลี่เป็นแผ่น ..... 16
3.6 เส้นใยบวบที่ตัดแล้ว ..... 16
3.7 แสดงระยะต่างๆ ของเครื่องหมายที่ขีดไว้บนแท่งเกลียว ..... 17
3.8 แสดงระยะต่างๆ ของกระบอกอัดขึ้นรูปและความยาวของแท่งเหล็กที่ใช้เสริมระยะอัดขึ้นรูป ..... 18
4.1 กระบอกสำหรับขึ้นรูปแท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบ ..... 22
4.2 เกลียวสำหรับขึ้นรูปแท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบ ..... 22
4.3 แกนเหล็กสำหรับหมุนเกลียว ..... 23
4.4 ฝาเกลียวสำหรับปิดท้ายกระบอกขึ้นรูปแท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบ ..... 23
4.5 Assembly drawing ของเครื่องมือขึ้นรูปแท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบ ..... 24
4.6 ภาพถ่ายแท่งโมโนลิทที่ได้จากใยบวบหลังผ่านการขึ้นรูปที่ความหนาแน่น 0.177 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที ..... 25
4.7 ภาพถ่ายแท่งโมโนลิทที่ได้จากใยบวบหลังผ่านการขึ้นรูปที่ความหนาแน่น 0.212 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที ..... 25
4.8 ภาพถ่ายแท่งโมโนลิทที่ได้จากใยบวบหลังผ่านการขึ้นรูปที่ความหนาแน่น 0.248 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที ..... 26
4.9 ภาพถ่ายแท่งโมโนลิทที่ได้จากใยบวบหลังผ่านการขึ้นรูปที่ความหนาแน่น 0.283 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที ..... 26
4.10 ภาพถ่ายแท่งโมโนลิทที่ได้จากใยบวบหลังผ่านการขึ้นรูปที่ความหนาแน่น 0.318 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที ..... 26
4.11 ภาพถ่ายแท่งโมโนลิทที่ได้จากใยบวบหลังผ่านการขึ้นรูปที่ความหนาแน่น 0.354 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที ..... 27

# สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.12 ภาพถ่ายแท่งโมโนลิทที่ได้จากใยบวบหลังผ่านการขึ้นรูปที่ความหนาแน่น 0.318 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที..... 28
4.13 ภาพถ่ายแท่งโมโนลิทที่ได้จากใยบวบหลังผ่านการขึ้นรูปที่ความหนาแน่น 0.318 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที..... 28
4.14 ภาพถ่ายแท่งโมโนลิทที่ได้จากใยบวบหลังผ่านการขึ้นรูปที่ความหนาแน่น 0.318 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที..... 29
4.15 ภาพถ่ายแท่งโมโนลิทที่ได้จากใยบวบหลังผ่านการขึ้นรูปที่ความหนาแน่น 0.318 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที..... 30
4.16 ภาพถ่ายแท่งโมโนลิทที่ได้จากใยบวบหลังผ่านการขึ้นรูปที่ความหนาแน่น 0.318 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 240 นาที..... 31
4.17 ภาพถ่ายแท่งโมโนลิทที่ได้จากใยบวบหลังผ่านการขึ้นรูปที่ความหนาแน่น 0.318 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 300 นาที..... 31
4.18 ภาพถ่ายแท่งโมโนลิทที่ได้จากใยบวบหลังผ่านการขึ้นรูปที่ความหนาแน่น 0.318 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 360 นาที..... 31
4.19 ภาพถ่ายแท่งโมโนลิทที่ได้จากใยบวบหลังผ่านการขึ้นรูปที่ความหนาแน่น 0.318 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 420 นาที..... 32
4.20 ภาพถ่ายแท่งโมโนลิทที่ได้จากใยบวบหลังผ่านการขึ้นรูปที่ความหนาแน่น 0.318 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 480 นาที..... 32

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

คาร์บอนโมโนลิทที่มีโครงสร้างรูพรุนแบบลำดับชั้นสามารถใช้ประโยชน์ในการตรึงรูปตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น เอนไซม์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยวัสดุตั้งต้นที่ใช้ในการเตรียมผลิตคาร์บอนโมโนลิทเหล่านี้ส่วนใหญ่เป็นวัสดุโพลิเมอร์ซึ่งได้จากปฏิกิริยาโพลิเมอไรเซชันของสารตั้งต้นจากกระบวนการทางปิโตรเคมีซึ่งได้มาจากน้ำมันปิโตรเลียมและเป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่าเป็นทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดและเริ่มขาดแคลนในยุคปัจจุบัน ดังนั้นการใช้วัสดุตั้งต้นจากแหล่งที่ไม่ใช่ปิโตรเลียม เช่น วัสดุชีวมวลเป็นสารตั้งต้นน่าจะเป็นทางเลือกที่เหมาะสมในยุคปัจจุบัน

สำหรับเส้นใยบวบเป็นวัสดุธรรมชาติที่เหลือทิ้งจากการเกษตรที่มีอยู่ค่อนข้างมากและมีลักษณะโครงสร้างของเส้นใยเป็นร่างแหและอยู่ในรูปสองมิติอยู่แล้ว ซึ่งถ้านำมาเรียงกันให้เป็นสามมิติจากการอัดแท่งและให้ความร้อนเพื่อให้ลิกนินที่อยู่ภายในเส้นใยละลายยึดติดกันเป็นแท่งโมโนลิทที่พร้อมใช้สำหรับเตรียมคาร์บอนโมโนลิท เพื่อใช้ประโยชน์ในการเป็นวัสดุสำหรับการตรึงรูปเอนไซม์และสำหรับใช้ในเทคโนโลยีด้านชีวภาพ โดยในการตรึงรูปเอนไซม์จะถูกขังหรือห่อหุ้มไว้ภายในช่องตาข่ายของแท่งโมโนลิทและเกาะตามรูพรุนของโครงสร้างภายในเส้นใยบวบ การเลือกใช้วัสดุตั้งต้นดังกล่าวนี้นับว่าเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและยังทดแทนสารตั้งต้นที่ได้จากปิโตรเลียมได้

ทางผู้จัดทำโครงงานจึงมีแนวคิดที่จะนำเส้นใยบวบมาใช้เป็นวัสดุตั้งต้นตัวใหม่ซึ่งจะช่วยทดแทนวัสดุสังเคราะห์ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อผลิตแท่งโมโนลิทที่เตรียมจากเส้นใยบวบที่พร้อมใช้สำหรับเตรียม คาร์บอนโมโนลิทที่มีรูพรุนแบบลำดับชั้น

1.2.2 เพื่อศึกษาถึงผลของ (ความหนาแน่น อุณหภูมิ และเวลา) ที่ส่งผลต่อการขึ้นรูปของแท่งโมโนลิท

## 1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

สามารถผลิตแท่งโมโนลิทที่เตรียมจากเส้นใยบวบสำหรับใช้ในการเตรียม คาร์บอนโมโนลิทที่มีรูพรุน

## 1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)

ผลของ (ความหนาแน่น อุณหภูมิ และเวลา) ในการอัดขึ้นรูปเส้นใยบวบให้เป็นแท่งโมโนลิท

## 1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงงาน

1.5.1 อุปกรณ์ช่วยอัดแท่งโมโนลิทสามารถผลิตได้ครั้งละ 1 แท่ง

1.5.2 แท่งโมโนลิทมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร

1.5.3 กำหนดช่วงสภาวะอุณหภูมิที่ต้องการศึกษาตั้งแต่ 50 - 200 องศาเซลเซียส

1.5.4 กำหนดช่วงเวลาให้ความร้อนที่ต้องการศึกษาตั้งแต่ 10 - 500 นาที

1.5.5 กำหนดช่วงความหนาแน่นที่ต้องการศึกษา

## 1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน

อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

## 1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน

เดือน กรกฎาคม 2553 ถึง เดือน เมษายน 2554

## 1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนในการดำเนินโครงงาน

| ขั้นตอนในการดำเนินโครงงาน | ก.ค. | ส.ค. | ก.ย. | ต.ค. | พ.ย. | ธ.ค. | ม.ค. | ก.พ. | มี.ค. | เม.ย. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.8.1 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุที่มีลิกโนเซลลูโลส การยึดติดของลิกนินและคุณสมบัติของเส้นใยบวบ | ← | → | | | | | | | | |
| 1.8.2 ศึกษาค้นคว้าข้อมูลของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | | ← | → | | | | | | | |
| 1.8.3 ศึกษาแนวคิดในการออกแบบเครื่องมือ | | ← | → | | | | | | | |
| 1.8.4 ออกแบบเครื่องมืออัดขึ้นรูปแท่งโมโนลิท | | | ← | → | | | | | | |

**ตารางที่ 1.1 (ต่อ)** ขั้นตอนในการดำเนินโครงงาน

| ขั้นตอนในการดำเนินโครงงาน | ก.ค. | ส.ค. | ก.ย. | ต.ค. | พ.ย. | ธ.ค. | ม.ค. | ก.พ. | มี.ค. | เม.ย. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.8.5 ทำการสร้างและประกอบเครื่องมืออัดขึ้นรูปแท่งโมโนลิท | | | | ↔ | | | | | | |
| 1.8.6 ทำการอัดขึ้นรูปแท่งโมโนลิท | | | | | ↔ | | ↔ | ↔ | | |
| 1.8.7 ตรวจสอบคุณลักษณะของแท่งโมโนลิก | | | | | | | | | ↔ | |
| 1.8.8 สรุปผลการดำเนินงานและจัดทำรูปเล่มรายงาน | | | | | | | | | | ↔ |

# บทที่ 2

# หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

## 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1.1 ใยบวบ

สิริกุล (2548) บวบเป็นพืชผักตระกูลแตง (Cucurbitaceae) ในอดีตคนไทยส่วนใหญ่นิยมปล่อยให้บวบเลื้อยตามรั้วหรือปล่อยให้เลื้อยพันไปตามต้นไม้ แล้วคอยเก็บผลอ่อนมารับประทานเป็นผัก ส่วนบวบที่ไม่ได้เก็บจะปล่อยจนแก่แห้งเหลือแต่เส้นใยที่เรียกว่า "รังบวบ" และถูกนำมาใช้ในการอาบน้ำ ขัดถูภาชนะโดยไม่ต้องไปหาซื้อฟองน้ำให้สิ้นเปลือง บวบที่สามารถปลูกได้ในประเทศไทยมีหลายชนิด ได้แก่ บวบเหลี่ยม บวบงู และบวบหอม

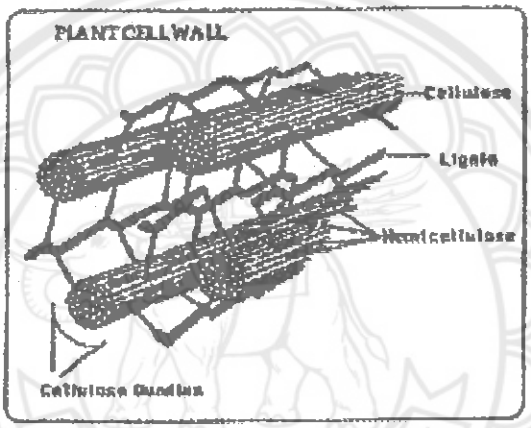
2.1.1.1 บวบเหลี่ยม (Luffa acutangular Roxb.) ชื่อสามัญ Angled gourd เป็นไม้เถาอายุปีเดียว เถามีความยาว 6 – 8 เมตร ผลของบวบขนาดแตกต่างกันตามชนิด รูปทรงกระบอกมีเหลี่ยมตามความยาวผล เมล็ดมีลักษณะเป็นวงรี สีดำ ผิวขรุขระ ไม่มีปีกที่เมล็ด เก็บเกี่ยวผลผลิตได้เร็ว นิยมปลูกโดยการหยอดเมล็ดในแปลงปลูก แปลงปลูกควรมีขนาดกว้างเพื่อให้เถาเลื้อยได้สะดวก ทำค้างเป็นรูปสามเหลี่ยมหรือสี่เหลี่ยม ผูกยึดให้แข็งแรง บวบเหลี่ยมเก็บเกี่ยวได้ที่อายุ 45 – 50 วันหลังหยอดเมล็ด และสามารถเก็บผลผลิตได้เป็นเดือน ถ้ามีการดูแลรักษาที่ดี

2.1.1.2 บวบงู (Trichosanthes cucumerina Linn.) ชื่อสามัญ Snake gourd ผลบวบมีลักษณะกลมยาวปลายผลแหลม ผิวเรียบ มีแถบสีขาวสลับเขียวทั้งผล เมื่อสุกมีสีส้มแดง เมล็ดบวบงูมีขนาดใหญ่การปลูกจึงหยอดเมล็ดลงในแปลงปลูกโดยตรงหรือเพาะกล้าก็ได้ อายุกล้าประมาณ 15 – 20 วัน ขนาดแปลงปลูก 1.6 x 6 เมตร ระยะปลูก 80 x 50 เซนติเมตร บวบงูจะเลื้อยทอดยอดที่อายุ 30 วันหลังหยอดเมล็ด ทำค้างเป็นรูปสามเหลี่ยมหรือสี่เหลี่ยมก็ได้ ใช้ตาข่ายขึงเพื่อให้เถายึดเกาะ จะเริ่มออกดอกที่อายุ 45 – 50 วันหลังหยอดเมล็ดและเริ่มเก็บเกี่ยวผลอ่อนที่อายุ 50 – 60 วันหลังหยอดเมล็ด

2.1.1.3 บวบหอมหรือบวบกลม (Luffa cylindrica (L) M.Roem.) มีชื่อสามัญคือ Sponge gourd ผลอ่อนสีเขียวมีลายเขียวเข้ม ผลแก่สีเขียวออกเหลืองจนถึงสีน้ำตาล มีเส้นใยเหนียว ลักษณะเป็นร่างแห การปลูกบวบหอมสามารถหยอดเมล็ดลงในแปลงปลูกโดยตรง เมื่อต้นกล้ามีอายุประมาณ 10 – 14 วัน ถอนแยกให้เหลือต้นที่สมบูรณ์ ระยะปลูก 40 – 90 x 60 – 90 เซนติเมตร ใช้ปุ๋ยคอกที่ย่อยสลายแล้วใส่ก้นหลุมก่อนปลูก บวบหอมจะเลื้อยทอดยอดที่อายุ 15 – 20 วันหลังหยอดเมล็ด ทำค้างเป็นรูปสามเหลี่ยมหรือสี่เหลี่ยมก็ได้เพื่อให้เถายึดเกาะ บวบหอมออกดอกที่อายุ 42 – 70 วันหลังหยอดเมล็ดและเริ่มเก็บเกี่ยวผลอ่อนที่อายุ 63 – 91 วันหลังหยอดเมล็ด

### 2.1.2 ลิกโนเซลลูโลส (Lignocelluloses)

Howard และคณะ (2003) กล่าวว่า ลิกโนเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลักของผนังเซลล์พืช โดยส่วนใหญ่สารประกอบลิกโนเซลลูโลสได้มาจากการทำป่าไม้ วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร อุตสาหกรรมกระดาษ และอุตสาหกรรมเกษตร กระบวนการกำจัดลิกโนเซลลูโลสส่วนใหญ่ทำด้วยการเผาในที่โล่ง ซึ่งก่อให้เกิดมลภาวะเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม จากสาเหตุนี้ทำให้นักวิจัยสนใจที่จะนำลิกโนเซลลูโลสมาใช้ให้เกิดประโยชน์มากขึ้น เปลี่ยนให้เป็นสารที่มีมูลค่าสูงขึ้น เช่น แหล่งพลังงานเชื้อเพลิง เอทิลแอลกอฮอล์ และโดยเฉพาะการผลิตน้ำตาล เป็นต้น ลิกโนเซลลูโลสมีองค์ประกอบหลัก 3 ชนิด ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน

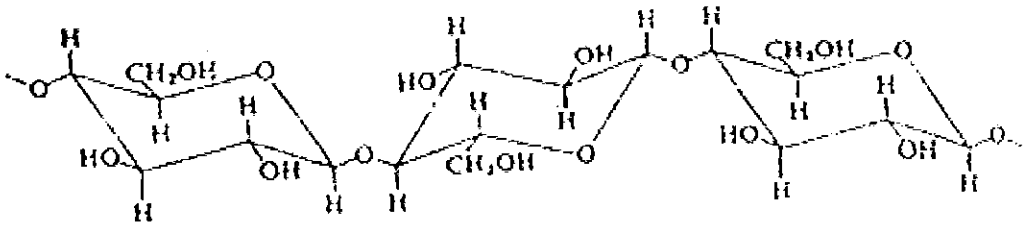



รูปที่ 2.1 การจัดเรียงกันของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในไม้
ที่มา : จุฑารัตน์ (2547)

### 2.1.3 เซลลูโลส (Cellulose)

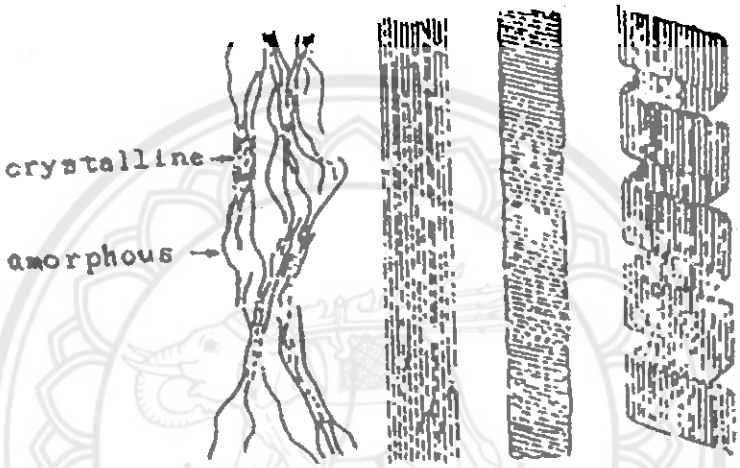
จุฑารัตน์ (2547) กล่าวว่า เซลลูโลสมีคาร์โบไฮเดรต เป็นองค์ประกอบหลักของผนังเซลล์พืชทุกชนิด โดยเซลลูโลสจะอยู่ในชั้นในสุดของผนังเซลล์พืช ซึ่งจัดเรียงตัวอยู่ในชั้นไมโครไฟบริล (Micro Fibril) ที่ห่อหุ้มด้วยร่างแห (Matrix) ของเฮมิเซลลูโลสและลิกนิน มีลักษณะแข็งหุ้มอยู่ชั้นนอกสุดของผนังเซลล์พืช ซึ่งทำหน้าที่ให้ความแข็งแรงกับเซลล์พืช

โครงสร้างของเซลลูโลสจะประกอบไปด้วยจำนวนโมเลกุลของกลูโคส (D-glucose) ตั้งแต่ 15 - 40,000 หน่วย ต่อกันเป็นเส้นตรง (Linear homopolymer) ด้วยพันธะเบต้า-ไกลโคซิดิก ที่คาร์บอนอะตอมตำแหน่งที่ 1 และ4 มีสูตรโมเลกุลเป็น $(C_6H_{10}O_5)_n$ มีชื่อทางเคมีว่า $\beta$-1, 4-glucan มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ระหว่าง 300,000 - 500,000 ดอลตัน



**รูปที่ 2.2** โครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลส

ที่มา : John (1992)




**รูปที่ 2.3** รูปร่างโครงสร้างของเซลลูโลสที่พบในผนังเซลล์พืชโดยทั่วไป

ก) Fringe micelle ประกอบด้วยส่วนที่เป็นผลึก (crystalline) และส่วนที่เป็นอสัณฐาน (amorphous)

ข) โครงสร้างของเซลลูโลสที่ม้วนหรือพับไปตามแกนของเส้นใยเซลลูโลส

ค) โครงสร้างที่มีลักษณะเป็นแบบริบบิ้นและม้วนเป็นเกลียว

ที่มา : Norkrans (1967)

โครงสร้างที่แตกต่างกัน 3 แบบ และมีช่องว่างระหว่างโมเลกุลโดยตลอดนี้จึงทำให้เซลลูโลสที่เกิดขึ้นในธรรมชาติไม่อยู่ในรูปบริสุทธิ์ ส่วนมากมักจะจับกับแป้ง เพกติน ลิกนิน และเฮมิเซลลูโลส นอกจากนี้ยังมีพวกพอลิแซคคาร์ไรด์ที่ไม่ใช่เซลลูโลส โปรตีน และแร่ธาตุอื่นๆ บางชนิดในปริมาณน้อย

เซลลูโลสเป็นพอลิแซคคาไลด์หรือน้ำตาลหลายชั้น ซึ่งเป็นเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ไม่ทำปฏิกิริยากับสารอื่น ไม่ละลายในด่าง และเป็นตัวทำละลายเป็นส่วนใหญ่ เซลลูโลสไม่สามารถละลายน้ำได้ แต่สามารถดูดซับน้ำไว้ที่บริเวณผิวจึงเกิดการพองตัว เนื่องจากเส้นใยเซลลูโลสจับตัวหนาทึบเป็นเส้นหยาบ มีทั้งโมเลกุลที่เรียงตัวไปในทิศทางเดียวกันและสวนทางกัน ทำให้เส้นใยแข็งแรงไม่เปราะง่าย แต่มีบางส่วนที่โมเลกุลเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบจับกันไม่แน่น ซึ่งส่วนนี้เองที่สามารถดูดซับน้ำได้จึงเกิดการพองตัว

**ตารางที่ 2.1** ปริมาณของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ในวัสดุทางการเกษตร

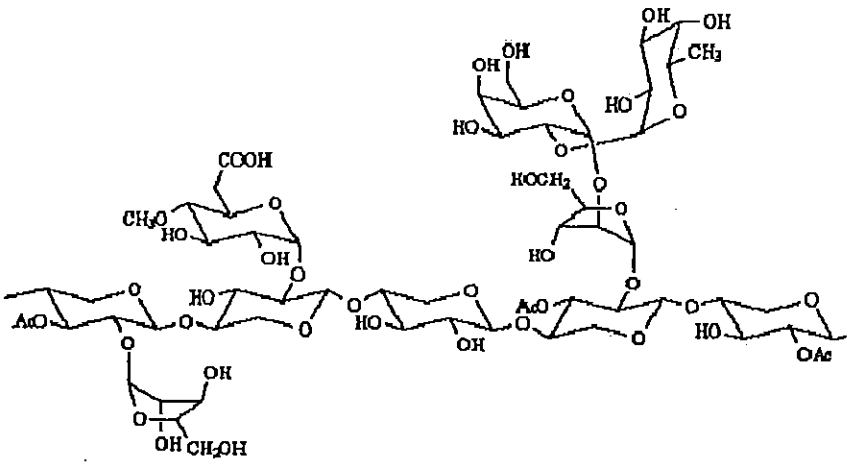
| ชนิดของวัสดุเศษเหลือ | ส่วนประกอบทางเคมี (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) | | |
|---|---|---|---|
| | เซลลูโลส | เฮมิเซลลูโลส | ลิกนิน |
| เศษไม้เหลือทิ้ง | 45 46 | 10 - 25 | 18 - 30 |
| ฟางข้าว | 32.1 | 24.0 | 12.5 |
| ฟางข้าวสาลี | 30.5 | 28.4 | 18.0 |
| ชานอ้อย | 33.4 | 30.0 | 18.9 |
| ซังข้าวโพด | 45.0 | 35.0 | 15.0 |
| ต้นมันสำประหลัง | 32.2 | 13.85 | 26.96 |

ที่มา : อนุกูล และคณะ (2551)

### 2.1.4 เฮมิเซลลูโลส (Hemicelluloses)

อนุกูล และคณะ (2551) กล่าวว่า เฮมิเซลลูโลสเป็นโพลีแซคคาร์ไรด์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ มีน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบหลักคือ D-xylose, D-mannose, D-galactose และL-arabinose ดังนั้นการแบ่งเฮมิเซลลูโลสจึงแบ่งตามชนิดของน้ำตาลเช่น Xylan, Mannan, Glucan, Arabinan เป็นต้น โดยส่วนใหญ่สายตรงของเฮมิเซลลูโลส จะเป็นไซโลสที่มีการเชื่อมต่อกันที่พันธะ $\beta$-1, 4 ส่วนกิ่งก้านสาขาจะเป็นหน่วยของ อะราบิโนส แมนโนส กลูโคส กรดกลูคูโรนิค และน้ำตาลเพนโตสอื่นๆ ซึ่งเชื่อมต่อกันที่พันธะ $\beta$-1, 4 ยกเว้นกาแลคโตสเท่านั้นที่มีลักษณะเฉพาะเชื่อมต่อกันที่พันธะตำแหน่ง $\beta$-1, 3

ข้อแตกต่างระหว่างเฮมิเซลลูโลสกับเซลลูโลสคือ เฮมิเซลลูโลสสามารถถูกย่อยด้วยสารละลายกรดเจือจาง อีกทั้งสามารถละลายได้ดีในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 17.5 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้สายโพลลิเมอร์ของเฮมิเซลลูโลส มีลักษณะเป็นกิ่งก้านสาขามากกว่า และมีความยาวของสายโซ่สั้นกว่า โดยมีความยาวประมาณ 40 หน่วยกลูโคส



รูปที่ 2.4 โครงสร้างโมเลกุลของเฮมิเซลลูโลส

ที่มา : อนุกูล และคณะ (2551)

2.1.5 ลิกนิน (Lignin)

Sing และคณะ (1995) กล่าวว่า ลิกนินเป็นองค์ประกอบลักษณะการเชื่อมระหว่างผนังเซลล์ของเนื้อเยื่อไม้ยืนต้น ซึ่งไม่ได้มีการจำกัดความไว้ชัดเจน แต่เป็นการรวบรวมคุณสมบัติทางเคมีที่คล้ายกัน แต่มีความแตกต่างกันมากของน้ำหนักโมเลกุล ซึ่งน้ำหนักโมเลกุลของลิกนิน อาจจะมีอยู่ในช่วง 100,000 ดอลตันหรือมากกว่านั้น ส่วนสำคัญของการสังเคราะห์แสงในพืชถูกนำมาแปลงสภาพด้วยคาร์บอนไดออกไซด์แก่ลิกนิน การสังเคราะห์ที่เหมือนกันของคาร์บอนไดออกไซด์โดยพืชนำไปสู่การสร้างคาร์โบไฮเดรต ซึ่งคาร์โบไฮเดรตถูกเผาผลาญโดยกรด Shikimic และได้เปลี่ยนเป็นกรดอะมิโน ฟีนิลโพรเพน ซึ่งกรดอะมิโนเป็นสารตั้งต้นสำหรับการสังเคราะห์โปรตีนพืช Flavonoids และลิกนิน

ลิกนินมีความเข้มข้นมากที่สุดใน และระหว่างผนังของพืชชั้นสูง ซึ่งแสดงตัวเลขของบทบาทในช่วงอายุของพืช

ก. เป็นตัวแทนถาวรในการผนึกเซลล์และเสริมสร้างองค์ประกอบโครงสร้างของไม้

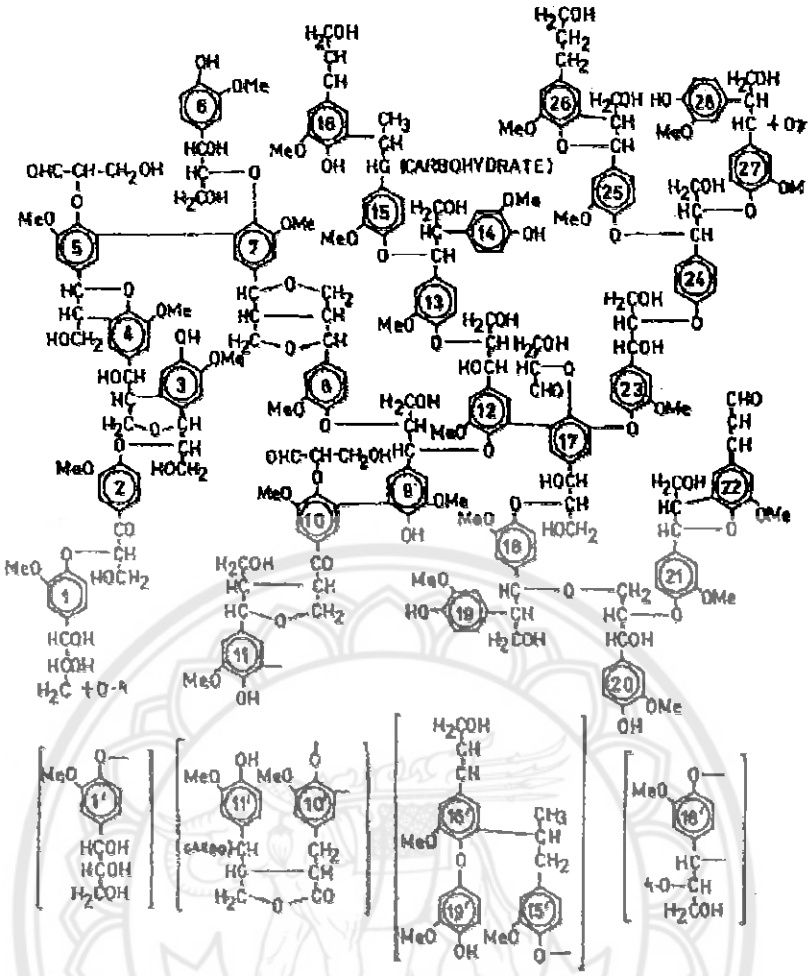
ข. ระบบจัดเก็บพลังงาน

ค. ป้องกันการย่อยสลายของเอนไซม์ส่วนประกอบอื่นของพืช

ง. ทำให้แสง UV มีเสถียรภาพและยับยั้งกระบวนการ Oxidation

จ. เป็นตัวแทนการทดสอบน้ำ

ลิกนินไม่ใช่พอลิแซคคาไลด์ ซึ่งไม่ละลายในน้ำ มีอยู่ผนังเซลล์ของพืชไม้ยืนต้นที่มีลำต้นค่อนข้างแข็งและแก่ การแยกลิกนินที่บริสุทธิ์ออกมานั้นทำได้ยาก ด้วยเหตุนี้โครงสร้างของลิกนินจึงมีความซับซ้อน แต่ก็พอจะทราบได้ว่าเป็นพอลิเมอร์อนุพันธ์ของฟีนิลโพรเพน



รูปที่ 2.5 โครงสร้างโมเลกุลของลิกนิน

ที่มา : Sing และคณะ (1995)

**2.1.6** ปริมาตรทรงกระบอก

ปริมาตรทรงกระบอกใดๆ คือผลคูณของพื้นที่ฐาน และระดับความสูง

$$\text{ปริมาตร} = \text{พื้นที่ฐาน} \times \text{สูง} \qquad (2.1)$$

ดังนั้นกำหนดให้ V คือปริมาตรทรงกระบอกวงกลม มีรัศมีฐาน r และระดับความสูง h จะได้

$$V = \pi r^2 h \qquad (2.2)$$

ปริมาตรมีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร ($m^3$) ลูกบาศก์เดซิเมตร ($dm^3$) หรือลูกบาศก์เซนติเมตร ($cm^3$)

2.1.7 ความหนาแน่น (Density)

ความหนาแน่นของสารต่างๆ มีนิยามดังนี้

$$\text{ความหนาแน่น} = \frac{\text{มวลของสาร}}{\text{ปริมาตรของสาร}} \qquad (2.3)$$

ถ้ากำหนดให้ $\rho$ คือความหนาแน่นของสารที่มีมวลเท่ากับ m และมีปริมาตรของสารเท่ากับ V จะได้

$$\rho = \frac{m}{V} \qquad (2.4)$$

ในระบบ SI ความหนาแน่นมีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ($kg/m^3$) และบางครั้งจะใช้กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ($g/cm^3$)

## 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 วิวัฒน์ และนิคม (2547) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบกรรมวิธีการผลิตแผ่นใยไม้อัดจากชานอ้อยโดยไม่ใช้กาวด้วยกรรมวิธีการอัดร้อน กับวิธีการระเบิดเยื่อด้วยไอน้ำ (Steam explosion) ตามความผันแปรของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติทางฟิสิกส์และทางกลของแผ่นใยไม้อัด โดยเยื่อที่ผ่านการเตรียมด้วย Defibrator ที่ความดัน 5 bar เป็นเวลา 10 นาที และบด 2 ครั้งได้นำมาศึกษาวิธีการอัดร้อน 3 วิธี ตามการผันแปรของอุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 180, 200 และ220 องศาเซลเซียส พบว่าการอัดร้อนที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส และใช้วิธีการอัดร้อน โดยที่ให้แรงอัดคงที่ 3.5 $N/mm^2$ เป็นเวลา 4.5 นาที ลดแรงอัดลง 0 $N/mm^2$ เป็นเวลา 1 นาที และยังคงใช้แรงอัดคงที่ 3.5 $N/mm^2$ เป็นเวลา 4.5 นาที ให้ค่าคุณสมบัติทางฟิสิกส์และทางกลของแผ่นใยไม้อัดดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการระเบิดเยื่อด้วยไอน้ำ พบว่า ค่า MOE ไม่มีความแตกต่างกัน

2.2.2 ทัศนีย์ (2549) ได้ทำการศึกษาผลิตแผ่นชิ้นไม้อัดจากทะลายปาล์มน้ำมัน โดยวิธีการ นำทะลายปาล์มน้ำมันที่นำผลปาล์มออกแล้ว มาย่อยด้วยเครื่องย่อยพืชสด ทำการย่อยจนให้ได้ขนาดประมาณ 1 - 2 เซนติเมตร นำมาแช่ด้วยสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หลังจากนั้นทำให้แห้งเพื่อเตรียมขึ้นรูป จากนั้นนำเส้นใยจากทะลายปาล์มน้ำมันมาผสมด้วยสารยึดติดเมทิลีนไดฟีนิลไดไอโซไซยาเนส (Methylene Diphenyl Diisocyanate: MDI) แล้วนำเส้นใยทะลายปาล์มที่ได้มาใส่บล็อกสี่เหลี่ยมเพื่อขึ้นรูปแผ่นเรียบ โดยกดด้วยมือก่อน จากนั้นนำเข้าเครื่องอัดไฮดรอลิกโดยการอัดที่อุณหภูมิประมาณ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 นาที ใช้แรงอัด 25 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

แล้วนำออกจากบล็อก ตั้งทิ้งไว้เพื่อให้แผ่นไม้อัดคงสภาพ ประมาณ 3 – 4 วัน จึงนำมาใช้งานโดยตัดขอบและตกแต่งผิวใช้วัสดุขัดและเคลือบผิวเหมือนไม้ทั่วไป

2.2.3 พงศธร และคณะ (2552) ได้ทำการศึกษาและจัดสร้างกระถางจากเศษวัสดุทางการเกษตรจำนวน 5 ชนิดด้วยกัน ได้แก่ กระถางที่ทำจากแกลบ กระถางที่ทำจากขี้เถ้าแกลบ และกระถางที่ทำจาก ขุยมะพร้าว กระถางที่ทำจากเศษใบไม้และวัชพืช ต่างๆ ผลจากการศึกษาพบว่ากระถางที่ทำจากขุยมะพร้าวมีความแข็งแรงและทนทานที่สุด วิธีการผลิตกระถางจากขุยมะพร้าวประกอบด้วยส่วนผสมดังนี้ขุยมะพร้าว 100 กรัม, ใยมะพร้าว 150 กรัม และกาวแป้งเปียก 50 กรัม ผสมคลุกเคล้าให้เข้ากัน จากนั้นนำไปอัดด้วยเครื่องอัดไฮโดรลิก ด้วยแรงอัดที่ 10 ตัน ซึ่งจากแรงอัดดังกล่าวจะทำให้กระถางที่ได้ออกมามีรูปทรงและลักษณะตามที่ต้องการ และเมื่อนำไปตากแดดจะไม่เกิดรอยร้าวรวมทั้งไม่แตกที่ปากขอบกระถางด้วย ทั้งนี้ ส่วนผสมดังกล่าวจะผลิตกระถางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 6 นิ้วได้จำนวน 1 กระถาง และหลังจากนำกระถางที่ได้ไปตากทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที เมื่อกระถางแห้งดีแล้วก็สามารถนำไปใช้งานได้ทันที

2.2.4 รุ่งโรจน์ (2553) ได้ทำการศึกษาผลิตถ่านอัดแท่งจากถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเหง้ามันสำปะหลัง โดยการนำวัสดุทั้ง 2 ชนิดดังกล่าวมาผสมกัน 5 อัตราส่วน ลักษณะถ่านอัดแท่งเป็นรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร มีครีบโดยรอบจานวน 5 ครีบ และมีรูกลวงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร ความยาว 10 เซนติเมตร แรงอัด 33 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมีปริมาณความชื้นไม่เกินร้อยละ 8 ของน้ำหนัก ทำการทดสอบโดยการเผาไหม้เพื่อวัดผลในห้องปฏิบัติการทดสอบเพื่อส่งให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินความเหมาะสมของสมรรถนะทางความร้อนและมลภาวะ ผลทางด้านสมรรถนะทางความร้อน สรุปได้ว่า ถ่านอัดแท่งที่มีส่วนผสมระหว่างถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเหง้ามันสาปะหลังในอัตราส่วน 9 : 1 เป็นอัตราส่วนที่ให้ค่าความร้อนสูงสุดเท่ากับ 6,580.10 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม และอัตราส่วน 1 : 9 เป็นอัตราส่วนที่ให้ค่าความร้อนต่ำสุดเท่ากับ 4,514.13 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม ผลการทดสอบมลภาวะจากการเผาไหม้ถ่านอัดแท่ง พบว่าก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ มีปริมาณเท่ากับ 195 ppm ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ เท่ากับ 26 ppm คาร์บอนไดออกไซด์ 9.11 ppm และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ มีปริมาณมากกว่า 4,000 ppm มีการเปลี่ยนแปลงโดยมีค่าลดลง สัมพันธ์กับปริมาณคงเหลือของวัสดุหลังการเผาไหม้ ซึ่งในด้านสมรรถนะเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน

2.2.5 กิตติศักดิ์ (2550) ได้ทำการศึกษาวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร 4 ชนิด คือ เส้นใยจากชานอ้อย เส้นใยจากกะลาปาล์ม เส้นใยจากเปลือกข้าวโพดและเส้นใยจากซังข้าวโพดที่ใช้ในการผลิตแผ่นฉนวนความร้อนพร้อมกับศึกษาสมบัติเชิงกายภาพ สมบัติเชิงกล และสมบัติเชิงความร้อน สามารถให้ผลสรุปของงานวิจัยดังนี้

ก. ผลการทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ พบว่าที่ปริมาณสารยึดติดสูงขึ้นปริมาณความชื้นการดูดซึมน้ำ และการพองตัวเมื่อแช่น้ำ ที่ 2 และ24 ชั่วโมง จะลดลง แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของสารยึดติดที่ใช้ ด้วย ปริมาณสารยึดติดที่ 12 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักแห้ง จะมีสมบัติดีกว่าที่ปริมาณสารยึดติดที่ 9 เปอร์เซ็นต์ แต่มีความแตกต่างกันไม่มาก

ข. ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล พบว่าที่ปริมาณสารยึดติดสูงขึ้น ความต้านทานมอดูลัสแตกร้าวและมอดูลัสยืดหยุ่น ความแข็งแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าหรือแรงยึดเหนี่ยวภายในสูงขึ้น ที่ปริมาณสารยึดติดที่ 12 เปอร์เซ็นต์ โดยส่วนของน้ำหนักแห้งจะมีสมบัติเชิงกลดีกว่าที่ปริมาณของสารยึดติดที่ 9 เปอร์เซ็นต์ แต่มีความแตกต่างกันไม่มาก

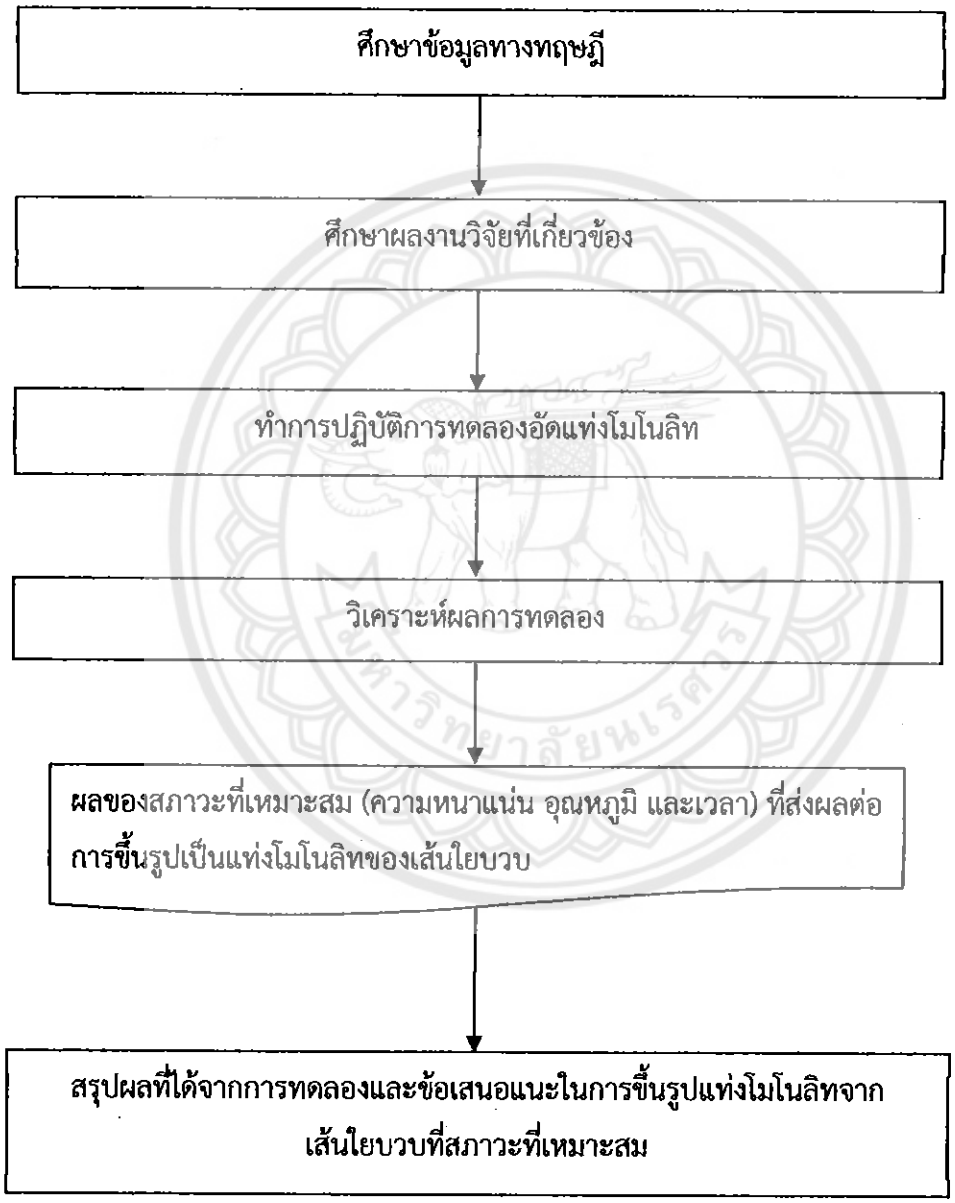
ค. ผลการทดสอบสมบัติเชิงความร้อน พบว่าที่ปริมาณสารยึดติดของแผ่นที่ต่ำจะมีสมบัติในการนำความร้อนที่ต่ำ ที่ปริมาณสารยึดติดของแผ่นสูงขึ้นมีแนวโน้มค่าการนำความร้อนสูงตามไปด้วย ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การเชื่อมโยงของสายโซ่โมเลกุลของแผ่นที่มากมีผลต่อค่าการนำความร้อนและปริมาณสารยึดติดที่ใช้ด้วย พบว่าแผ่นที่ปริมาณสารยึดติดที่ 9 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของเส้นใยแห้งจะให้ค่าการนำความร้อนต่ำ และมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อปริมาณสารยึดติดเพิ่มขึ้นที่ 12 เปอร์เซ็นต์จากการทดลองในการวิจัยนี้ แต่ในทางกลับกัน ทำให้สมบัติเชิงกายภาพ เชิงกล กลับลดลงที่ปริมาณสารยึดติดที่ต่ำ

ง. จากงานวิจัยนี้จึงสรุปได้ว่า จากการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรหลายๆ ชนิดมาผสมตามอัตราส่วนต่างๆ ได้ และสามารถผลิตแผ่นฉนวนความร้อนที่ใช้ภายในอาคาร เพื่อเปรียบเทียบสมบัติเชิงกายภาพ สมบัติเชิงกล และสมบัติเชิงความร้อน

# บทที่ 3

# วิธีการดำเนินโครงงาน

ในการดำเนินโครงงาน ผู้จัดทำโครงงานได้กำหนดขั้นตอนและระเบียบวิธีวิจัยที่ใช้ในการทำโครงงาน ดังแผนผังที่แสดงในรูปที่ 3.1




**รูปที่ 3.1** แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน

หมายเหตุ: กระบวนการหลัก ผลลัพธ์

## 3.1 ศึกษาข้อมูลทางทฤษฎี

3.1.1 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุที่มีลิกโนเซลลูโลสเป็นส่วนประกอบ

3.1.2 ศึกษาคุณสมบัติและโครงสร้างของเส้นใยบวบ

3.1.3 ศึกษาการยึดติดกันของเซลลูโลสและลิกนินในเส้นใยบวบ

3.1.4 ศึกษาข้อมูลและแนวคิดในการออกแบบเครื่องมือที่ใช้ผลิตแท่งโมโนลิท

## 3.2 ศึกษาผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.2.1 งานวิจัยที่ทำการศึกษาผลิตไม้อัดจากชานอ้อยโดยไม่ใช้กาวด้วยกรรมวิธีการอัดด้วยความร้อน

3.2.2 งานวิจัยที่ทำการศึกษาการผลิตแผ่นชิ้นไม้อัดจากทลายปาล์มโดยการผสมสารยึดติด MDI อัดด้วยไฮโดรลิกความร้อน

3.2.3 งานวิจัยที่ทำการศึกษาการสร้างกระถางจากเศษวัสดุทางการเกษตรโดยอัดด้วยไฮโดรลิก

3.2.4 งานวิจัยที่ทำการศึกษาการผลิตถ่านอัดแท่งจากถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเหง้ามันสำปะหลัง

## 3.3 ขั้นตอนในการปฏิบัติงาน

3.3.1 ออกแบบเครื่องมือที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปแท่งโมโนลิท

3.3.2 ทำการสร้างและประกอบเครื่องมือที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปแท่งโมโนลิท

## 3.4 วัสดุและสารเคมี

เส้นใยบวบ

## 3.5 อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.5.1 เครื่องมืออัดขึ้นรูปแท่งโมโนลิท

3.5.2 เครื่องชั่งสารเคมี (Balance)

3.5.3 กระดาษชั่งสาร (Weighing Papers)

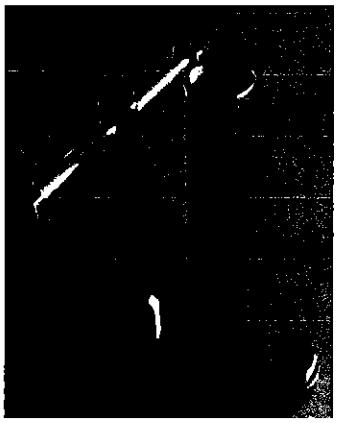
3.5.4 เตาอบ (Oven)

3.5.5 ถุงมือกันความร้อน

3.5.6 ไม้บรรทัด

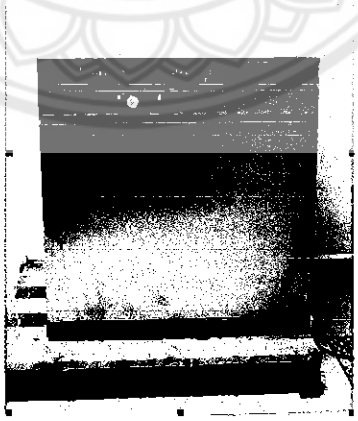
3.5.7 จิ๊กสำหรับตัดเส้นใยบวบ

3.5.8 กรรไกร



**รูปที่ 3.2** เครื่องมืออัดขึ้นรูปแท่งโมโนลิท

**รูปที่ 3.3** เครื่องชั่งสารเคมี (Balance)

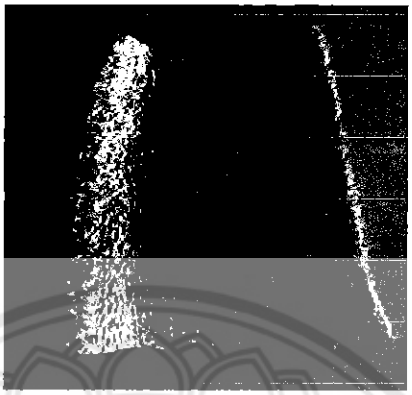


**รูปที่ 3.4** เตาอบ (Oven)

## 3.6 ขั้นตอนการทดลอง

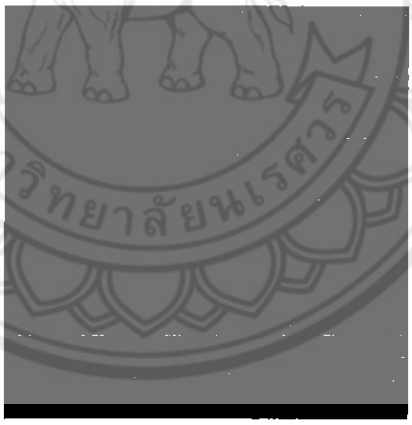
### 3.6.1 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน

3.6.1.1 ทำการเตรียมเส้นใยบวบที่จะใช้ในการทดลองโดยตัดเอาแกนกลางเส้นใยบวบออกแล้วนำเส้นใยบวบที่ได้คลี่ให้เป็นแผ่น



รูปที่ 3.5 เส้นใยบวบที่คลี่เป็นแผ่น

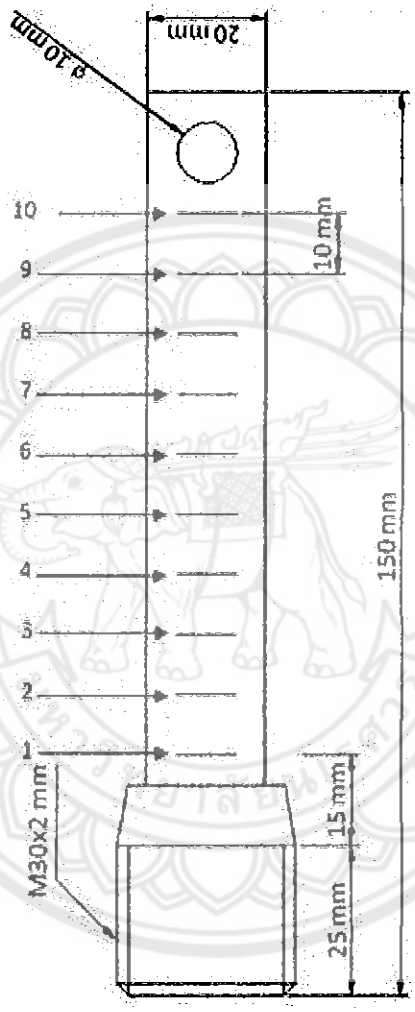
3.6.1.2 นำเส้นใยบวบที่ได้มาตัด โดยใช้จิ๊กช่วยในการตัดเส้นใยบวบให้เป็นวงกลม จะได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยบวบ 3 เซนติเมตร



**รูปที่ 3.6 เส้นใยบวบที่ตัดแล้ว**

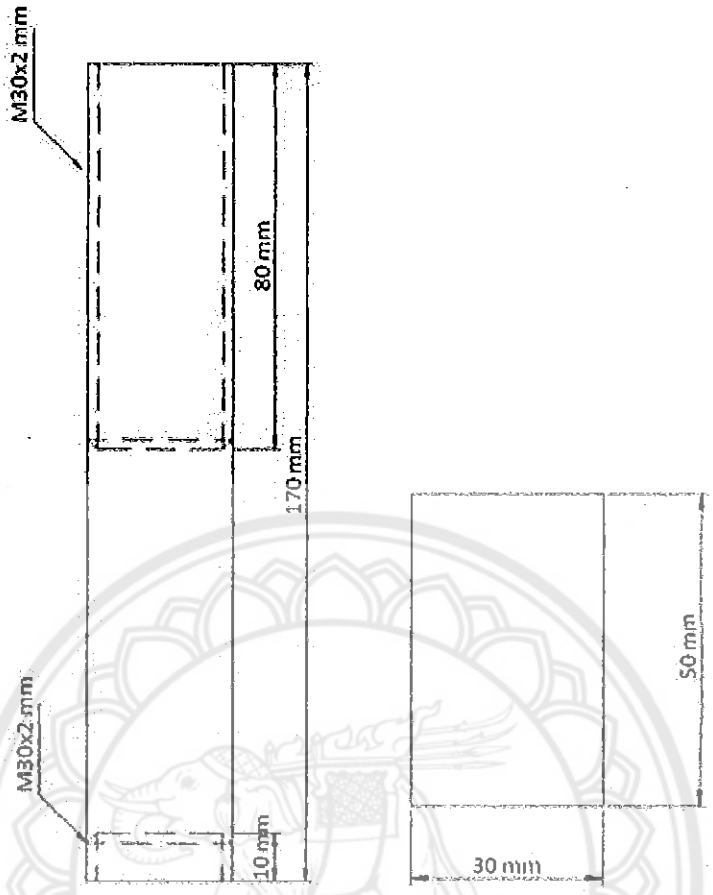
### 3.6.2 ขั้นตอนการวัดระยะของการขึ้นรูปแท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบ

3.6.2.1 ขีดเส้นทำเครื่องหมายบอกระยะอัดไว้บนแท่งเกลียว ซึ่งมีระยะห่างกันแต่ละช่องเท่ากับ 10 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.6 เพื่อบอกระยะของการขึ้นรูปแท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบที่อัดลงไปในกระบอกขึ้นรูป




**รูปที่ 3.7** แสดงระยะต่างๆของเครื่องหมายที่ขีดไว้บนแท่งเกลียว

3.6.2.2 เนื่องจากว่าระยะเกลียวในกระบอกขึ้นรูปลึกลงไปเพียง 80 มิลลิเมตร จึงจำเป็นต้องใช้แท่งเหล็กเสริมระยะอัดขึ้นรูป ดังรูปที่ 3.7 เพื่อให้แท่งเส้นใยบวบที่อัดขึ้นรูปมีความยาว 40 มิลลิเมตร ตามต้องการ




**รูปที่ 3.8 แส**ดงระยะต่างๆ ของกระบอกอัดขึ้นรูปและความยาวของแท่งเหล็กที่ใช้เสริม**ระยะอัดขึ้นรูป**

3.6.2.3 แล้วทำการหมุนเกลียวให้ลึกลงไปจนเหลือขีดเครื่องหมายบอก**ระยะเป็นจำนวน** 6 เส้น **หรือเ**หลือระยะอัดขึ้นรูปบนแท่งเกลียว 60 มิลลิเมตร

**3.6.3 ขั้นตอนการทดลองเพื่อหาความหนาแน่นในการขึ้นรูป**

**3.6.3.1 นำเส้นใยบวบที่ผ่านการตัดเป็นวงกลมมาชั่งน้ำหนักในอัตราส่วนต่างๆ ดังนี้คือ** 5, 6, 7, 8, 9 **และ**10 **กรัม ตามลำดับของชิ้นงาน** AA1 - AA6

**3.6.3.2 นำเส้นใยบวบมาใส่ในเครื่องมือขึ้นรูปแท่งโมโนลิทที่เตรียมไว้แล้วทำการหมุนเกลียวเข้าเพื่ออัดเส้นใยบวบที่อยู่ข้างในเครื่องมือขึ้นรูปแท่งโมโนลิท ให้ได้ขนาดความยาวของแท่งเส้นใยบวบ 4 เซนติเมตร เพื่อเป็นการกำหนดช่วงความหนาแน่นให้ชิ้นงานแต่ละชิ้น**

**3.6.3.3 นำเครื่องมือขึ้นรูปแท่งโมโนลิทไปเข้าเตาอบ (Oven) ด้วยสภาวะอุณหภูมิที่** 150 **องศาเซลเซียส และระยะเวลา** 180 **นาที**

**3.6.3.4 นำเครื่องมือขึ้นรูปแท่งโมโนลิทออกจากเตาอบ (Oven) แล้วปล่อยให้เย็นตัวที่อุณหภูมิห้อง** 60 **นาที**

**3.6.3.5 ทำการหมุนเกลียวออกเพื่อนำเส้นใยบวบออกจากเครื่องมือขึ้นรูปแท่งโมโนลิท**

3.6.4 ขั้นตอนการทดลองเพื่อหาช่วงอุณหภูมิในการขึ้นรูป

3.6.4.1 นำเส้นใยบวบที่ผ่านการตัดเป็นวงกลมมาชั่งน้ำหนักในอัตราส่วน ดังนี้ คือ น้ำหนัก 9 กรัม ตามลำดับของชิ้นงาน BB1 - BB3

3.6.4.2 นำเส้นใยบวบมาใส่ในเครื่องมือขึ้นรูปแท่งโมโนลิทที่เตรียมไว้แล้วทำการหมุนเกลียวเข้าเพื่ออัดเส้นใยบวบที่อยู่ข้างในเครื่องมือขึ้นรูปแท่งโมโนลิท ให้ได้ขนาดความยาวของแท่งเส้นใยบวบ 4 เซนติเมตร เพื่อกำหนดช่วงความหนาแน่นของชิ้นงานแต่ละชิ้น

3.6.4.3 นำเครื่องมือขึ้นรูปแท่งโมโนลิทไปเข้าเตาอบ (Oven) ด้วยสภาวะอุณหภูมิที่ 150, 180 และ200 องศาเซลเซียส และระยะเวลา 180 นาที

3.6.4.4 นำเครื่องมือขึ้นรูปแท่งโมโนลิทออกจากเตาอบ (Oven) แล้วปล่อยให้เย็นตัวที่อุณหภูมิห้อง 60 นาที

3.6.4.5 ทำการหมุนเกลียวออกเพื่อนำเส้นใยบวบออกจากเครื่องมือขึ้นรูปแท่งโมโนลิท

3.6.5 ขั้นตอนการทดลองเพื่อหาช่วงเวลาในการขึ้นรูป

3.6.5.1 นำเส้นใยบวบที่ผ่านการตัดเป็นวงกลมมาชั่งน้ำหนักในอัตราส่วน ดังนี้ คือ น้ำหนัก 9 กรัม ตามลำดับของชิ้นงาน CC1 - CC6

3.6.5.2 นำเส้นใยบวบมาใส่ในเครื่องมือขึ้นรูปแท่งโมโนลิทที่เตรียมไว้แล้วทำการหมุนเกลียวเข้าเพื่ออัดเส้นใยบวบอยู่ข้างในเครื่องมือขึ้นรูปแท่งโมโนลิท ให้ได้ขนาดความยาวของแท่งเส้นใยบวบ 4 เซนติเมตร เพื่อกำหนดช่วงความหนาแน่นของชิ้นงานแต่ละชิ้น

3.6.5.3 นำเครื่องมือขึ้นรูปแท่งโมโนลิทไปเข้าเตาอบ (Oven) ด้วยสภาวะอุณหภูมิที่ 150 องศาเซลเซียส และระยะเวลา 180, 240, 300, 360, 420 และ 480 นาที

3.6.5.4 นำเครื่องมือขึ้นรูปแท่งโมโนลิทออกจากเตาอบ (Oven) แล้วปล่อยให้เย็นตัวที่อุณหภูมิห้อง 60 นาที

3.6.5.5 ทำการหมุนเกลียวออกเพื่อนำเส้นใยบวบออกจากเครื่องมือขึ้นรูปแท่งโมโนลิท

## 3.7 วิเคราะห์ผลการทดลองและสรุปผลวิจัย

สรุปผลที่ได้จากการทดลองและข้อเสนอแนะในการขึ้นรูปแท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบที่สภาวะที่เหมาะสม

**ตารางที่ 3.1** การทดลองขึ้นรูปแท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบที่สภาวะความหนาแน่นแตกต่างกัน

| รหัส | ตัวแปรต้น | ตัวแปรควบคุม | | |
|---|---|---|---|---|
| | ความหนาแน่น ($g/cm^3$) | ปริมาตร ($cm^3$) | อุณหภูมิ (°C) | ระยะเวลา (min) |
| AA1 | 0.177 | 28.27 | 150 | 180 |
| AA2 | 0.212 | | | |
| AA3 | 0.248 | | | |
| AA4 | 0.283 | | | |
| AA5 | 0.318 | | | |
| AA6 | 0.354 | | | |

**ตารางที่ 3.2** การทดลองขึ้นรูปแท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบที่สภาวะอุณหภูมิแตกต่างกัน

| รหัส | ตัวแปรต้น | ตัวแปรควบคุม | | |
|---|---|---|---|---|
| | อุณหภูมิ (°C) | ปริมาตร ($cm^3$) | ความหนาแน่น ($g/cm^3$) | ระยะเวลา (min) |
| BB1 | 150 | 28.27 | 0.318 | 180 |
| BB2 | 180 | | | |
| BB3 | 200 | | | |

**ตารางที่ 3.3** การทดลองขึ้นรูปแท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบที่ระยะเวลาแตกต่างกัน

| รหัส | ตัวแปรต้น | ตัวแปรควบคุม | | |
|---|---|---|---|---|
| | ระยะเวลา (min) | ปริมาตร ($cm^3$) | ความหนาแน่น ($g/cm^3$) | อุณหภูมิ (°C) |
| CC1 | 180 | 28.27 | 0.318 | 150 |
| CC2 | 240 | | | |
| CC3 | 300 | | | |
| CC4 | 360 | | | |
| CC5 | 420 | | | |
| CC6 | 480 | | | |

# บทที่ 4

# ผลการทดลองและการวิเคราะห์

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลของสภาวะต่างๆ ดังนี้ ความหนาแน่น อุณหภูมิ และระยะเวลาที่น่าจะเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปแท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบ ซึ่งในการวิเคราะห์ผลของสภาวะดังกล่าวพิจารณาจากการยึดติดกันของลิกนิน โดยสันนิษฐานได้ว่าถ้ามีการขึ้นรูปเป็นแท่งโมโนลิทได้ดีและไม่มีการแตกหักของแท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบนั้น อาจจะเป็นผลมาจากการยึดติดกันของลิกนินที่มีอยู่ภายในเส้นใยบวบ

## 4.1 หลักการและแนวคิดในการออกแบบเครื่องมือขึ้นรูปแท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบ

หลักการในการออกแบบเครื่องมือนั้นจะต้องมีการวิเคราะห์ถึงการใช้งานของเครื่องมือและวิธีการทำงานของเครื่องมือให้เป็นแบบธรรมดาแต่มีประสิทธิภาพสูงเพื่อช่วยลดค่าใช้จ่ายในการในการผลิตและยังต้องคำนึงถึงอายุการใช้งานที่เหมาะสมของวัสดุที่ใช้ ในส่วนของชิ้นส่วนที่จะผลิตจะต้องมีการวิเคราะห์เกี่ยวกับ

4.1.1 รูปร่างขนาดของชิ้นงานที่ต้องการ

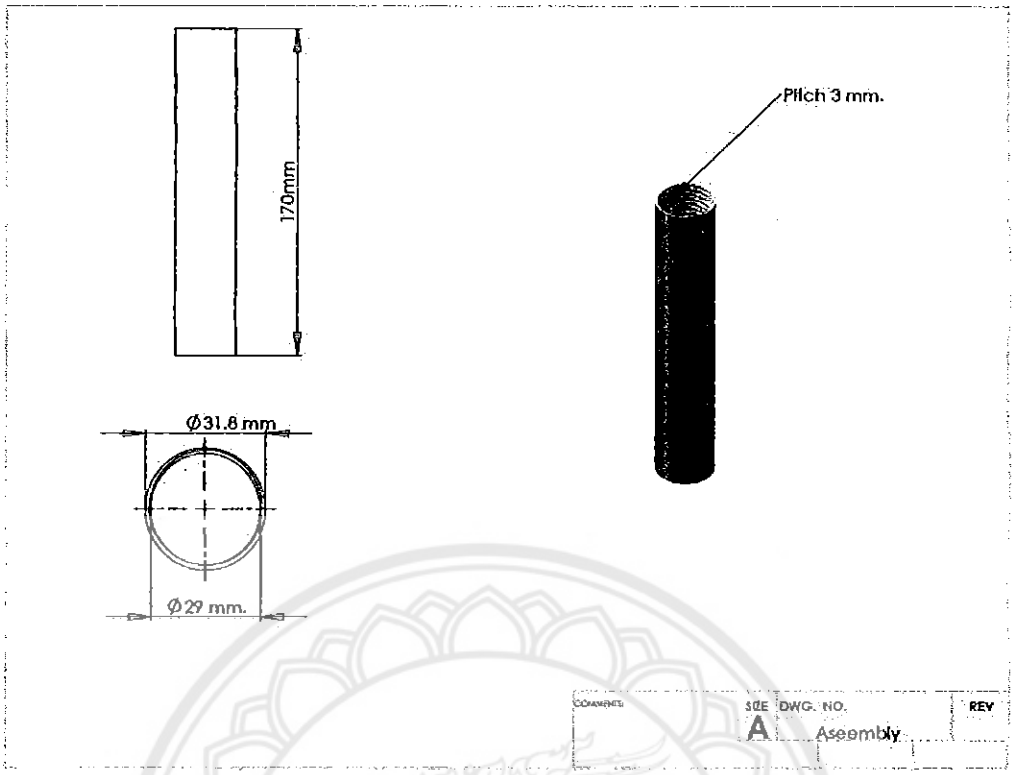
4.1.2 ชนิดวัสดุชิ้นงาน

4.1.3 วิธีการทำงานของเครื่องมือและเครื่องจักร

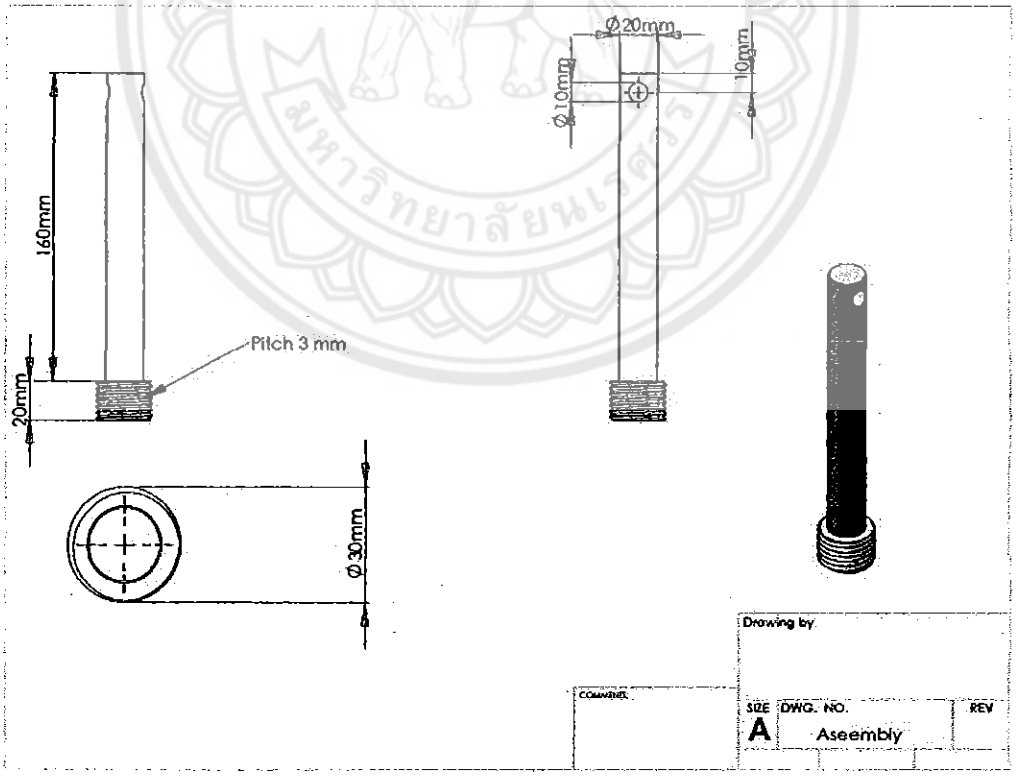
4.1.4 ความต้องการในเรื่องของความถูกต้อง

4.1.5 ปริมาณชิ้นงานที่จะผลิต

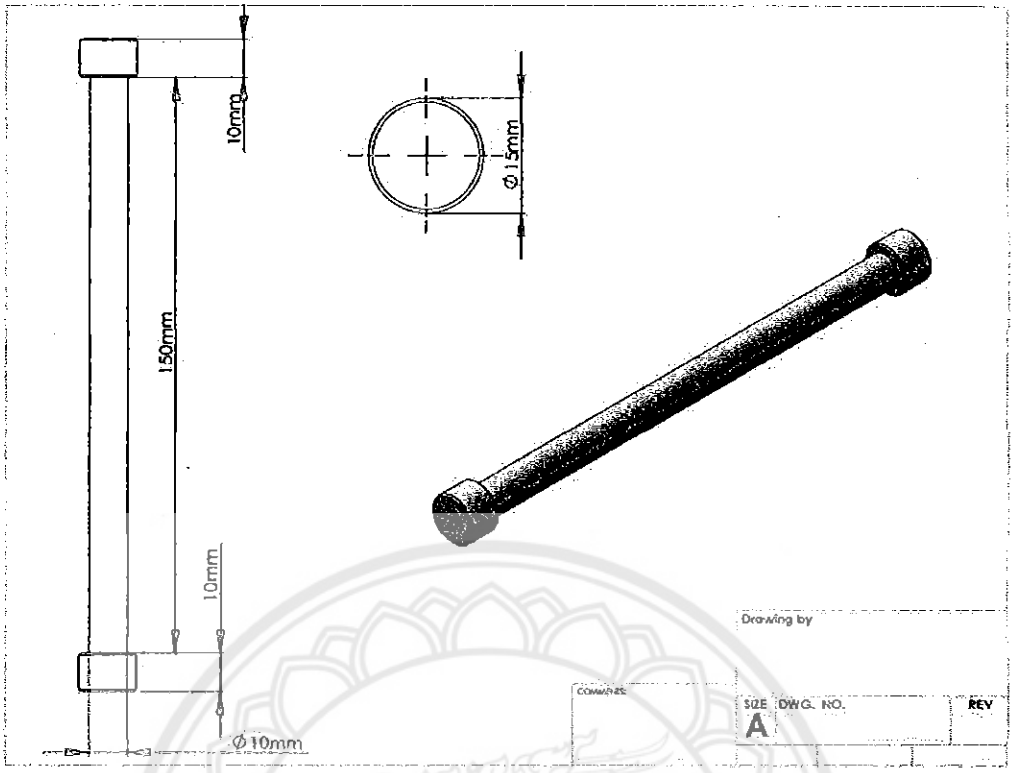
ผู้จัดทำโครงงานมีแนวคิดสำหรับการออกแบบเครื่องมือขึ้นรูปแท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบ โดยทำการออกแบบเป็นทรงกระบอก เนื่องจากว่าต้องการชิ้นงานที่มีลักษณะเป็นแท่งทรงกระบอกและส่วนท้ายของกระบอกก็ทำฝาปิดไว้จากนั้นใช้หลักการอาศัยแรงกดอัดจากเกลียวจากด้านบนของทรงกระบอกเพื่อให้เส้นใยบวบที่อยู่ภายในกระบอกได้รับแรงอัดและขึ้นรูปเป็นแท่งได้ตามต้องการ ส่วนวัสดุที่ใช้เลือกใช้วัสดุประเภท เหล็กสแตนเลส (Stainless steel) เนื่องจากมีคุณสมบัติทนต่อความร้อนได้ดีและไม่ขึ้นสนิมจึงทำให้มีอายุการใช้งานได้นานขึ้น ซึ่งรายละเอียดของการออกแบบเครื่องมือขึ้นรูปแท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบได้แสดงไว้ ดังรูปที่ 4.1 - 4.4



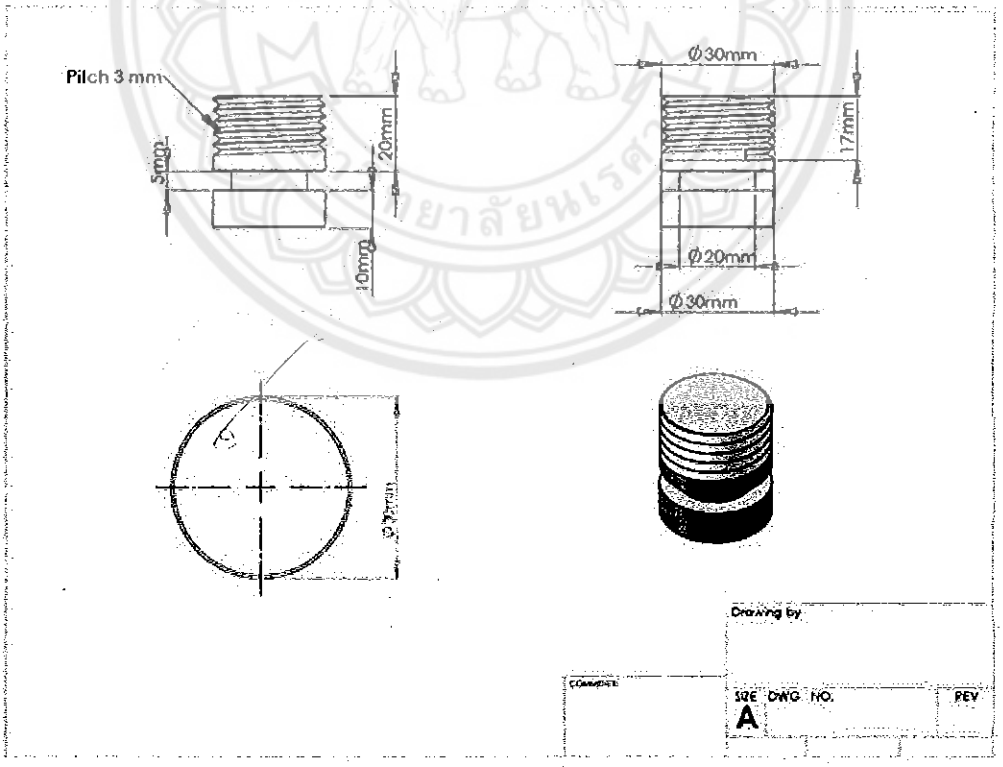

**รูปที่ 4.1** กระบอกสำหรับขึ้นรูปแท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบ



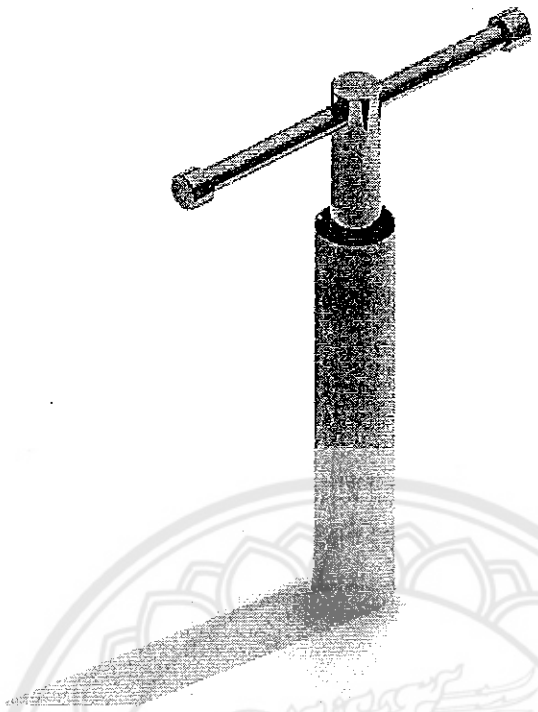

**รูปที่ 4.2** เกลียวสำหรับขึ้นรูปแท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบ




รูปที่ 4.3 แกนเหล็กสำหรับหมุนเกลียว




**รูปที่ 4.4** ฝาเกลียวสำหรับปิดท้ายกระบอกขึ้นรูปแท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบ



รูปที่ 4.5 Assembly drawing ของเครื่องมือขึ้นรูปแท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบ

## 4.2 ผลของความหนาแน่นในการขึ้นรูปแท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบ

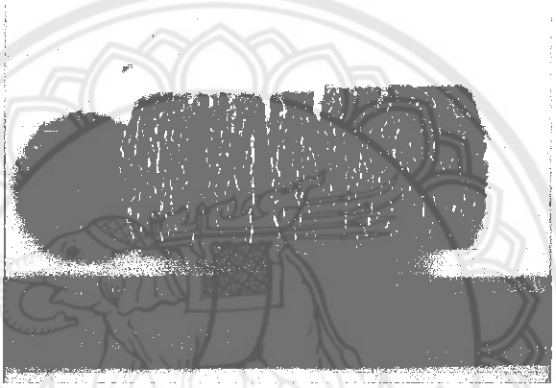
ในการทดลองเพื่อหาความหนาแน่นที่เหมาะสมในการขึ้นรูปแท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบสำหรับใช้เป็นวัสดุตั้งต้นในการเตรียมคาร์บอนโมโนลิท โดยตัวแปรที่ใช้ศึกษา คือ สภาวะความหนาแน่น ดังนี้ ที่ความหนาแน่น 0.177, 0.212, 0.248, 0.283, 0.318, และ 0.354 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที ชิ้นงาน AA1 มีการใช้สภาวะที่มีความหนาแน่น 0.177 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ให้ผลการทดลอง คือ มีการยึดติดกันของเส้นใยบวบเพียงบางส่วน ในแต่ละส่วนที่ยึดติดกันนั้นได้แตกหักแยกออกจากกัน ดังรูปที่ 4.6 ชิ้นงาน AA2 และAA3 ที่สภาวะความหนาแน่น 0.212 - 0.248 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ให้ผลการทดลองที่เหมือนกัน คือ เริ่มมีการยึดติดกันดีขึ้นแต่ก็ยังมีการแตกหักอยู่บางส่วนและมีการเกาะติดกันเป็นแบบหลวมๆ สังเกตได้จากรูปที่ 4.7และ4.8 ชิ้นงาน AA4 ที่สภาวะความหนาแน่น 0.318 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีการยึดติดกันดีขึ้น จนเริ่มสังเกตได้ว่าสามารถขึ้นรูปเป็นแท่งโมโนลิทได้แต่ชิ้นงานมีการยึดติดกันอย่างไม่สม่ำเสมอและแตกหักออกเป็นสองส่วน ชิ้นงาน AA5และAA6 มีการยึดติดกันดีค่อนข้างสม่ำเสมอจนสามารถขึ้นรูปเป็นแท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบได้

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร



**ตารางที่ 4.1** แสดงผลการทดลองขึ้นรูปแท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบที่สภาวะความหนาแน่นแตกต่างกัน

| รหัส | ความหนาแน่น ($g/cm^3$) | อุณหภูมิ (°C) | ระยะเวลา (min) | ลักษณะสัณฐานทางกายภาพ |
|---|---|---|---|---|
| AA1 | 0.177 | 150 | 180 | ยึดติดกันเพียงบางส่วน |
| AA2 | 0.212 | | | ยึดติดกันเพียงบางส่วน |
| AA3 | 0.248 | | | ยึดติดกันเพียงบางส่วน |
| AA4 | 0.283 | | | ยึดติดกันไม่สม่ำเสมอแตกหักเป็นสองส่วน |
| AA5 | 0.318 | | | ยึดติดกันและสามารถขึ้นรูปแท่งได้ |
| AA6 | 0.354 | | | ยึดติดกันและสามารถขึ้นรูปแท่งได้ |

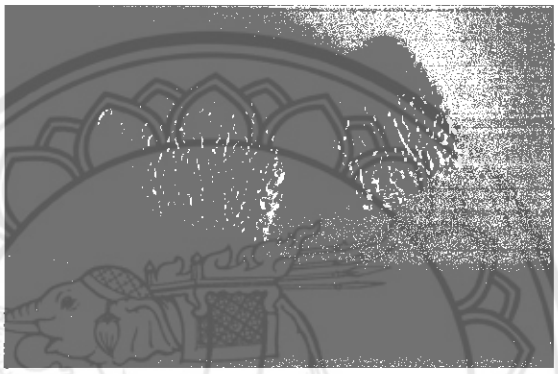


**รูปที่ 4.6** ภาพถ่ายแท่งโมโนลิทที่ได้จากใยบวบหลังผ่านการขึ้นรูปที่ความหนาแน่น 0.177 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที

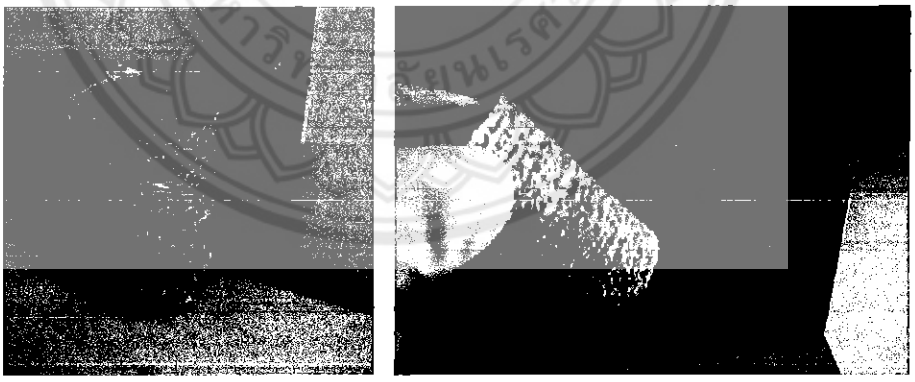
**รูปที่ 4.7** ภาพถ่ายแท่งโมโนลิทที่ได้จากใยบวบหลังผ่านการขึ้นรูปที่ความหนาแน่น 0.212 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที

155186 23
2/6
4251 ก
2553

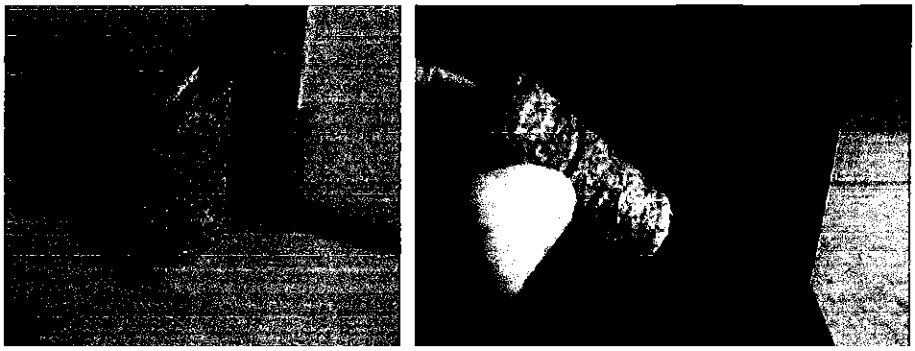
**รูปที่ 4.8** ภาพถ่ายแท่งโมโนลิทที่ได้จากใยบวบหลังผ่านการขึ้นรูปที่ความหนาแน่น 0.248 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที



**รูปที่ 4.9** ภาพถ่ายแท่งโมโนลิทที่ได้จากใยบวบหลังผ่านการขึ้นรูปที่ความหนาแน่น 0.283 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที



**รูปที่ 4.10** ภาพถ่ายแท่งโมโนลิทที่ได้จากใยบวบหลังผ่านการขึ้นรูปที่ความหนาแน่น 0.318 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที



**รูปที่ 4.11** ภาพถ่ายแท่งโมโนลิทที่ได้จากใยบวบหลังผ่านการขึ้นรูปที่ความหนาแน่น 0.354 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที

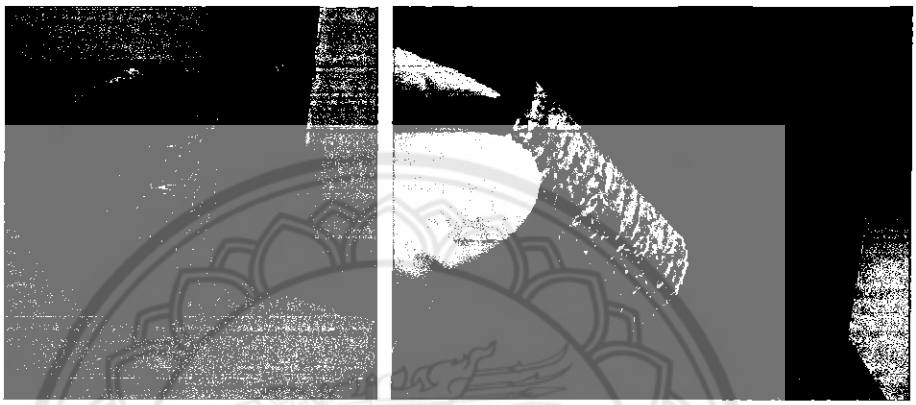
จากการทดลองสามารถวิเคราะห์ผลการทดลองได้ว่าชิ้นงานหลังผ่านการขึ้นรูปที่ความหนาแน่น 0.177, 0.212, 0.248, และ 0.283 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที อาจจะยังไม่เป็นความหนาแน่นที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปแท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบ โดยจะพบว่าชิ้นงานไม่สามารถขึ้นรูปเป็นแท่งโมโนลิทได้ สังเกตเห็นได้จากลักษณะการยึดติดกันของเส้นใยบวบที่มีการยึดติดแค่บางส่วนเท่านั้นและเป็นการเกาะติดกันแบบหลวมๆ ของเส้นใยบวบอาจจะเป็นผลมาจากสภาวะการขึ้นรูปที่ความหนาแน่นดังกล่าวนั้นไม่สามารถทำให้เส้นใยบวบนั้นยึดติดกันได้ และเมื่อทำการขึ้นรูปแท่งโมโนลิทที่ความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นก็ได้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของชิ้นงาน โดยเมื่อพิจารณาชิ้นงานจากรูปที่ 4.10 ซึ่งมีการทดลองโดยเพิ่มความหนาแน่นที่ใช้เป็น 0.318 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร พบว่าแท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบนั้นมีการยึดติดกันดีขึ้นและสามารถขึ้นรูปได้ดีที่สภาวะดังกล่าว จนถึงสภาวะความหนาแน่นที่ 0.354 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โดยสังเกตจากรูปที่ 4.11 มีการยึดติดกันอย่างสม่ำเสมอและติดกันแน่นมากขึ้น และเริ่มสังเกตได้ว่ามีการยึดติดกันดีมากยิ่งขึ้นที่ความหนาแน่นที่สูงขึ้น ดังนั้นจึงสามารถอธิบายได้ว่าการที่จะขึ้นรูปแท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบให้ยึดติดกันและไม่แตกหักได้นั้นเนื่องมาจากมีการใช้ความหนาแน่นที่สูงขึ้น ในส่วนโครงงานนี้ได้เลือกศึกษาที่สภาวะความหนาแน่น 0.318 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เพราะเป็นสภาวะที่เริ่มมีการขึ้นรูปได้ดีของแท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบ

## 4.3 ผลของช่วงอุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปแท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบ

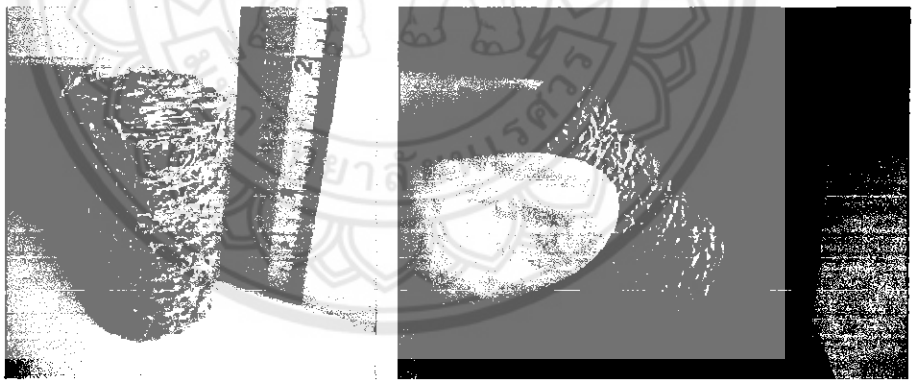
ในการทดลองเพื่อหาช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการขึ้นรูปแท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบสำหรับใช้เป็นวัสดุตั้งต้นในการเตรียมคาร์บอนโมโนลิท โดยตัวแปรที่ใช้ศึกษา คือ สภาวะความหนาแน่น ดังนี้ ที่ความหนาแน่น 0.318 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 150, 180 และ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที ชิ้นงาน BB1 และBB2 ให้ผลการทดลองที่ไม่แตกต่างกันมากคือ เกิดการยึดติดกันของเส้นใยบวบและสามารถขึ้นรูปเป็นแท่งโมโนลิทได้แต่เป็นการยึดติดกันแบบหลวมๆ ดังที่แสดงในรูปที่ 4.12และ4.13 ชิ้นงาน BB2 เริ่มสังเกตได้ว่าจะเกิดการแตกหักของแท่งโมโนลิทที่ได้ ส่วนชิ้นงาน BB3 มีการยึดติดกันของเส้นใยบวบเป็นบางส่วนและเริ่มเกิดการแตกหักของเส้นใยบวบ โดยแยกออกจากกันจนไม่สามารถขึ้นรูปเป็นแท่งโมโนลิทได้

**ตารางที่ 4.2** แสดงผลการทดลองขึ้นรูปแท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบที่สภาวะอุณหภูมิแตกต่างกัน

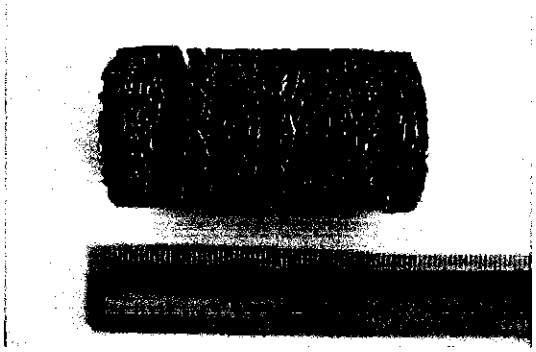
| รหัส | อุณหภูมิ (°C) | ความหนาแน่น ($g/cm^3$) | ระยะเวลา (min) | ลักษณะสัณฐานทางกายภาพ |
|---|---|---|---|---|
| BB1 | 150 | 0.318 | 180 | ยึดติดกันและสามารถขึ้นรูปแท่งได้ |
| BB2 | 180 | | | ยึดติดกันและสามารถขึ้นรูปแท่งได้ |
| BB3 | 200 | | | ยึดติดกันบางส่วนและมีการแตกหัก |



**รูปที่ 4.12** ภาพถ่ายแท่งโมโนลิทที่ได้จากใยบวบหลังผ่านการขึ้นรูปที่ความหนาแน่น 0.318 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที



**รูปที่ 4.13** ภาพถ่ายแท่งโมโนลิทที่ได้จากใยบวบหลังผ่านการขึ้นรูปที่ความหนาแน่น 0.318 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที



**รูปที่ 4.14** ภาพถ่ายแท่งโมโนลิทที่ได้จากใยบวบหลังผ่านการขึ้นรูปที่ความหนาแน่น 0.318 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที

จากผลการทดลองชิ้นงานหลังผ่านการขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 150, 180 และ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที และที่ความหนาแน่น 0.318 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร สามารถวิเคราะห์ผลการทดลองได้ว่าชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส มีการขึ้นรูปแท่งโมโนลิทได้ดีและยึดติดกันอย่างสม่ำเสมอ แต่เป็นการยึดติดกันแบบหลวมๆ ของแท่งโมโนลิทจึงไม่สามารถบอกได้ว่าเป็นสภาวะอุณหภูมิที่เหมาะสมในการขึ้นรูปแท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบเพื่อจะเอาไปใช้เป็นวัสดุตั้งต้นสำหรับเตรียมคาร์บอนโมโนลิทได้ จึงมีการทดลองที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ซึ่งพบว่าชิ้นงานสามารถขึ้นรูปแท่งโมโนลิทได้แต่สังเกตได้ว่าเริ่มมีการแตกหัก ซึ่งอาจจะเป็นผลมาจากการขึ้นรูปแท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส นั้นทำให้การยึดติดกันของเส้นใยบวบเกิดการยึดติดกันที่ไม่เหมาะสมหรืออาจจะเป็นผลจากการสลายตัวไปของลิกนินที่มีอยู่ภายในเส้นใยบวบ ส่วนเมื่อทำการขึ้นรูปแท่งโมโนลิทที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส พบว่าชิ้นงานแห้งกรอบ แตกหักได้ง่าย สังเกตได้จากรูปที่ 4.14 ดังนั้นจึงสามารถอธิบายได้ว่าการขึ้นรูปแท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบให้ยึดติดกันและไม่แตกหักได้นั้นไม่เหมาะกับอุณหภูมิที่สูงขึ้น

## 4.4 ผลการทดลองหาช่วงเวลาในการอัดขึ้นรูปแท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบ

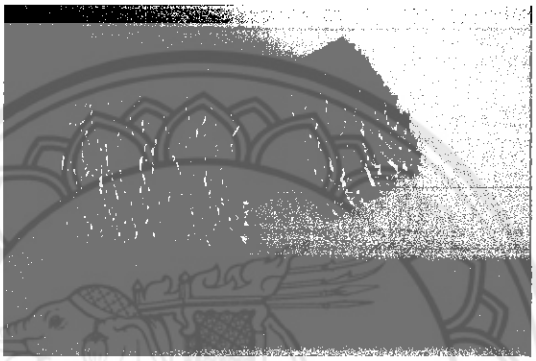
ในการทดลองเพื่อหาช่วงเวลาที่เหมาะสมในการขึ้นรูปแท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบสำหรับใช้เป็นวัสดุตั้งต้นในการเตรียมคาร์บอนโมโนลิท โดยตัวแปรที่ใช้ศึกษา คือ สภาวะความหนาแน่น ดังนี้ ที่ความหนาแน่น 0.318 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180, 240, 300, 360, 420 และ 480 นาที ชิ้นงาน CC1, CC2 และ CC3 ที่ช่วงระยะเวลา 180, 240 และ 300 นาที ให้ผลการทดลองที่ไม่แตกต่างกันมาก คือมีการยึดติดกันของเส้นใยบวบที่ไม่สม่ำเสมอกันและแตกหักออกเป็นสองส่วน ดังที่แสดงในรูปที่ 4.15 - 4.17 แต่ชิ้นงาน CC4 ที่ช่วงเวลา 360 นาที สังเกตได้ว่าเริ่มมีการยึดติดกันได้ดีอย่างสม่ำเสมอ โดยมีลักษณะการแตกหักออกเป็นสองส่วนแต่มีขนาดของส่วนที่แตกหักน้อยลง ส่วนชิ้นงาน CC5และCC6 ที่ช่วงเวลา 420และ480 นาที มีการยึดติดกันอย่างสม่ำเสมอของเส้นใยบวบและสามารถขึ้นรูปเป็นแท่งโมโนลิทได้ดี ดังรูปที่ 4.19และ4.20

**ตารางที่ 4.3** แสดงผลการทดลองขึ้นรูปแท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบที่ระยะเวลาแตกต่างกัน

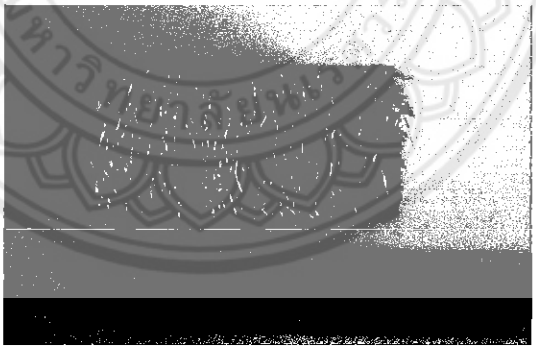
| รหัส | ระยะเวลา (min) | ความหนาแน่น ($g/cm^3$) | อุณหภูมิ (°C) | ลักษณะสัณฐานทางกายภาพ |
|---|---|---|---|---|
| CC1 | 180 | 0.318 | 150 | ยึดติดกันไม่สม่ำเสมอแตกหักเป็นสองส่วน |
| CC2 | 240 | | | ยึดติดกันไม่สม่ำเสมอแตกหักเป็นสองส่วน |
| CC3 | 300 | | | ยึดติดกันไม่สม่ำเสมอแตกหักเป็นสองส่วน |
| CC4 | 360 | | | ยึดติดกันไม่สม่ำเสมอแตกหักเป็นสองส่วน |
| CC5 | 420 | | | ยึดติดกันอย่างสม่ำเสมอและขึ้นรูปได้ดี |
| CC6 | 480 | | | ยึดติดกันอย่างสม่ำเสมอและขึ้นรูปได้ดี |

**รูปที่ 4.15** ภาพถ่ายแท่งโมโนลิทที่ได้จากใยบวบหลังผ่านการขึ้นรูปที่ความหนาแน่น 0.318 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที

**รูปที่ 4.16** ภาพถ่ายแท่งโมโนลิทที่ได้จากใยบวบหลังผ่านการขึ้นรูปที่ความหนาแน่น 0.318 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 240 นาที

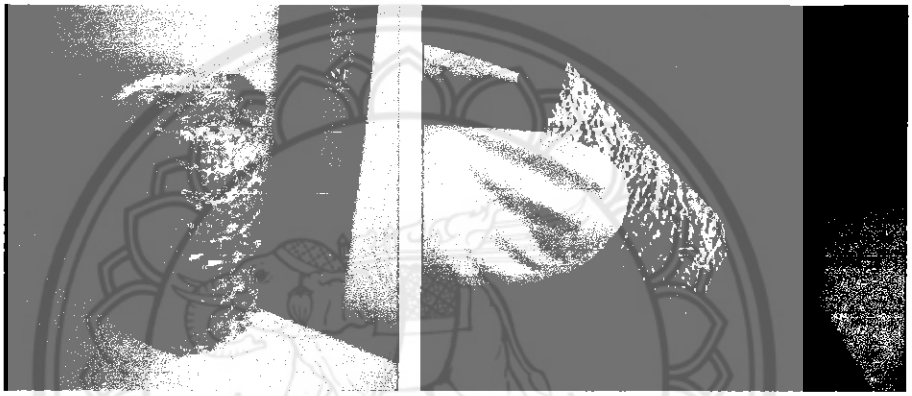


**รูปที่ 4.17** ภาพถ่ายแท่งโมโนลิทที่ได้จากใยบวบหลังผ่านการขึ้นรูปที่ความหนาแน่น 0.318 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 300 นาที



**รูปที่ 4.18** ภาพถ่ายแท่งโมโนลิทที่ได้จากใยบวบหลังผ่านการขึ้นรูปที่ความหนาแน่น 0.318 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 360 นาที

**รูปที่ 4.19** ภาพถ่ายแห่งโมโนลิทที่ได้จากใยบวบหลังผ่านการขึ้นรูปที่ความหนาแน่น 0.318 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 420 นาที



**รูปที่ 4.20** ภาพถ่ายแห่งโมโนลิทที่ได้จากใยบวบหลังผ่านการขึ้นรูปที่ความหนาแน่น 0.318 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 480 นาที

จากการทดลองสามารถวิเคราะห์ผลการทดลองได้ว่าชิ้นงานหลังผ่านการขึ้นรูปที่ความหนาแน่น 0.318 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 180, 240, 300 และ 360 นาที จะพบว่าชิ้นงานนั้นมีการยึดติดกันแบบไม่สม่ำเสมอและแตกหักออกเป็นสองส่วน ซึ่งอาจจะเป็นผลจากสภาวะการขึ้นรูปในระยะเวลาดังกล่าวนั้นยังไม่เพียงพอต่อการยึดติดกันของเส้นใยบวบ ดังนั้นจึงไม่สามารถขึ้นรูปเป็นแท่งโมโนลิทได้ แต่เมื่อทำการขึ้นรูปแท่งโมโนลิทที่ระยะเวลาเพิ่มขึ้นก็ได้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของชิ้นงาน โดยเมื่อพิจารณาชิ้นงานที่มีการเพิ่มระยะเวลาในการขึ้นรูปแท่งโมโนลิทเป็น 420และ480 นาที นั้นพบว่าชิ้นงานได้มีการยึดติดกันอย่างสม่ำเสมอ ไม่มีการแตกหักและมีการขึ้นรูปแท่งโมโนลิทที่ดียิ่งขึ้น มีการยึดติดกันที่อัตราที่ค่อนข้างคงที่ ซึ่งอาจจะเป็นผลมาจากมีระยะเวลาในการขึ้นรูปแท่งโมโนลิทที่สูงขึ้น

# บทที่ 5

# บทสรุป

## 5.1 สรุปผลการดำเนินโครงงาน

จากการศึกษาถึงสภาวะของอุณหภูมิ ความหนาแน่น และระยะเวลาที่เหมาะสมในการขึ้นรูปแท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบ สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

5.1.1 ความหนาแน่นที่ใช้ในการขึ้นรูปแท่งโมโนลิทนั้นมีผลต่อการยึดติดกันของเส้นใยบวบที่ผ่านการขึ้นรูปโดยเครื่องมือขึ้นรูปแท่งโมโนลิท โดยจากผลการทดลองทั้งหมดพบว่าการใช้ความหนาแน่นที่ 0.318 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร นั้นสามารถทำให้ได้แท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบที่มีการยึดติดกันอย่างสม่ำเสมอและขึ้นรูปแท่งได้ดี เกิดการแตกหักน้อยลงเมื่อเทียบกับชิ้นงานที่ผ่านการใช้ความหนาแน่นที่ต่ำกว่า

5.1.2 อุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูปแท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบได้ส่งผลต่อลักษณะการยึดติดกันของเส้นใยบวบที่นำไปขึ้นรูปแท่งโมโนลิท เมื่อผ่านการขึ้นรูปที่สภาวะอุณหภูมิต่างๆกัน โดยจากผลการทดลองทั้งหมดพบว่า ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส สามารถทำให้การยึดติดกันของเส้นใยบวบนั้นมีการยึดติดกันและขึ้นรูปแท่งโมโนลิทได้ ส่วนแท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบที่ได้ไม่เกิดการแตกหักอาจจะเป็นเพราะอุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูปนั้นพอเหมาะในการละลายของลิกนินที่มีอยู่ในเส้นใยบวบที่เกิดการละลายยึดติดกันจนได้เป็นแท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบที่ยึดติดกันดีและสม่ำเสมอ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นรูปที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่า

5.1.3 ระยะเวลาในการขึ้นรูปแท่งโมโนลิท โดยทั่วไปนั้นได้ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของแท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบ คือลักษณะการยึดติดกันของเส้นใยบวบนั้นมีการเปลี่ยนแปลงไป เกิดการแตกหักน้อยลงและเมื่อมีการเพิ่มระยะเวลาในช่วงการขึ้นรูปแท่งโมโนลิทเป็น 480 นาที ผลคือไม่มีการแตกหักของแท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบ

5.1.4 เมื่อพิจารณาจากการใช้งานพบว่าลักษณะการยึดติดกันของแท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบที่ผ่านกรรมวิธีการขึ้นรูปแท่งด้วยสภาวะต่างๆทั้งหมดที่กล่าวมาพบว่าลักษณะการยึดติดกันของแท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบที่ผ่านการขึ้นรูปแท่งที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 480 นาที และมีการอัดที่ความหนาแน่น 0.318 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร น่าจะเป็นกรรมวิธีที่อาจจะเหมาะสมที่สุดในการขึ้นรูปแท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบสำหรับใช้ผลิตเป็นวัสดุตั้งต้นในการเตรียมคาร์บอนโมโนลิทที่มีรูพรุนต่อไป

## 5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะในการดำเนินโครงงาน

แท่งโมโนลิทที่ขึ้นรูปจากเส้นใยบวบควรมีการศึกษาการเผาให้เป็นถ่านคาร์บอนหรือที่เรียกกันว่า คาร์บอไนเซชัน ซึ่งเป็นกระบวนการสลายตัวของชีวมวลด้วยความร้อนในสภาพอับอากาศ เนื่องจากในโครงงานนี้เป็นการผลิตแท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบเพื่อใช้สำหรับเป็นวัสดุตั้งต้นในการเตรียมคาร์บอนโมโนลิทที่มีรูพรุน แต่ยังไม่สามารถทำได้เนื่องจากยังไม่ได้มีการติดตั้งเตาเผา

# เอกสารอ้างอิง


กิตติศักดิ์ บัวศรี. (2550). **การพัฒนาแผ่นฉนวนความร้อนจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร.** กาญจนบุรี: วิทยาลัยสารพัดช่างกาญจนบุรี.

จุฑารัตน์ พงษ์โนรี. (2547). **การสกัดเซลลูโลสจากซังข้าวโพด.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร.

ทัศนีย์ ทองก้านเหลือง. (2547). **การผลิตแผ่นชิ้นไม้อัดจากทะลายปาล์มน้ำมันและกรรมวิธีการผลิต.** คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี.

พงศธร หนูเล็ก, จิราณุวัฒน์ แสงมุกด์ และชินพันธุ์ แซ่ซิ้ม. (2552). **กระถางเพาะชำจากวัสดุทางการเกษตร.** คณะคุรุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

รุ่งโรจน์ พุทธีสกุล. (2553). **การผลิตถ่านอัดแท่งจากถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเหง้ามันสำปะหลัง.** กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

วิวัฒน์ หาญวงศ์จิรวัฒน์ และนิคม แหลมสัก. (2549). **แผ่นใยไม้อัดโดยไม่ใช้กาวจากชานอ้อย.** ศูนย์วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทางไม้ สถาบันวิจัยและพัฒนา และภาควิชาวนผลิตภัณฑ์ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สิริกุล วะสี. (2548). **นิทรรศการวิชาการในงานวันเกษตรแห่งชาติ: เกษตรนำชาติ ศาสตร์ที่ยั่งยืนคืนทรัพยากรสู่ชุมชน.** ศูนย์วิจัยพืชผักเขตร้อน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อนุกูล จันทร์แก้ว, ตะวัน ฉัตรสูงเนิน และธวัชชัย จีดจาง. (2551). **การผลิตเอทานอลจากการย่อยสลายวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมแปรรูปไม้จังหวัดแพร่.** สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ – แพร่ เฉลิมพระเกียรติ.

Howard, G.L., E. Abotsi, E.L. Jansen van Rensburg, and S. Howard. (2003). **Lignocellulose Biotechnology: Issues of bioconversion and enzyme production.** African Journal of Biotechnology 2.

John, P. (1992). **Biosynthesis of The Major Crop Products.** New York: John Wiley and Sons.

Norkrans, B. (1997). **Advances in Applied Microbiology.** New York: Academic Press Pomeranz.

Sing, Ajay. and Mishra, Prashant. (1995). **Microbial Pentose Utilization: Current Applications in Biotechnology.** Amsterdam: Elsevier Science B.V.

# ภาคผนวก ก

## การคำนวณหาปริมาตรและความหนาแน่นที่ใช้ในการขึ้นรูปของแท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบ

**การคำนวณหาปริมาตรของแท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบ**

เนื่องจากแท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบในโครงงานนี้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร และมีความสูงของแท่งเท่ากับ 4 เซนติเมตร

จากปริมาตรของทรงกระบอก $= \pi r^2 h$ (ก.1)

$= 3.14159 \times (1.5)^2 \times 4$

$= 28.27$ ลูกบาศก์เซนติเมตร

ดังนั้นปริมาตรของแท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบเท่ากับ 28.27 ลูกบาศก์เซนติเมตร

**การคำนวณ**หาความหนาแน่นที่ใช้ในการขึ้นรูปของแท่งโมโนลิทจากเส้นใยบวบ

จากปริมาตรของแท่งโมโนลิทจึงสามารถนำมาหาความหนาแน่นได้ จากสูตร

$$\text{ความหนาแน่น} = \frac{\text{มวล}}{\text{ปริมาตร}} ; \frac{\text{กรัม}}{\text{ลูกบาศก์เซนติเมตร}} \quad \text{(ก.2)}$$

**ตารางที่** ก.1 แสดงปริมาตรและความหนาแน่นที่ใช้ในการขึ้นรูปแท่งโมโนลิทจาก**เส้นใยบวบ**

| มวลบวบ (g) | ปริมาตร ($cm^3$) | ความหนาแน่น ($g/cm^3$) |
|---|---|---|
| 5 | 28.27 | 0.177 |
| 6 | 28.27 | 0.212 |
| 7 | 28.27 | 0.248 |
| 8 | 28.27 | 0.283 |
| 9 | 28.27 | 0.318 |
| 10 | 28.27 | 0.354 |

**ตัวอย่างวิธีการคำนวณ**

ปริมาณมวลบวบ 5 กรัม

$$\text{ความหนาแน่น} = \frac{5 \text{ กรัม}}{28.27 \text{ ลูกบาศก์เซนติเมตร}}$$

$= 0.177$ กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

# ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน

ชื่อ นายนริศ กิตติธนาภิวัฒน์
ภูมิลำเนา 11/2 หมู่ 7 ต.ห้วยห้อม อ.แม่ลาน้อย
จ.แม่ฮ่องสอน

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนแม่ลาน้อยดรุณสิกข์
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
  สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ
  คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: rit_engi@hotmail.com

ชื่อ นายเอกชัย เนตรแสงสี
ภูมิลำเนา 56 หมู่ 6 ต.ท่าสะแก อ.ชาติตระการ
จ.พิษณุโลก

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนชาติตระการวิทยา
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
  สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ
  คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: i_dekbanban@hotmail.com