

# งานจากเส้นใยพลาตัม



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2561

งานจากเส้นใยพาล์ม



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# PLATES FROM OIL PALM FRUIT FIBER



A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT  
FOR THE DEGREE OF BACHELOR IN CHEMICAL ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาบัตรเรื่อง งานจากเส้นใยผลปาล์ม  
โดย นายกนก อัจฉริยวงศ์เมธี  
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. ประกอบ กิจไชยา  
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญาบัตรนี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญาบัตร



.....ประธานกรรมการ  
(รศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา)

.....กรรมการ  
(ผศ.ดร.สุรัตน์ อารีรัตน์)

.....กรรมการ  
(ผศ.ดร.วลัยรัตน์ จันทระอัมพร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง	งานจากเส้นใยผลปาล์ม
โดย	นายกนก อัจฉริยวงศ์เมธี
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา	2561
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร. ประกอบ กิจไชยา

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษากรรมวิธีการผลิตงานที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากเส้นใยผลปาล์ม และใช้กาวแป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน ด้วยอัตราส่วนตัวประสานต่อเส้นใยผลปาล์มเท่ากับ 2:8 3.5:6.5 และ 5:5 โดยน้ำหนัก ขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดขึ้นรูปร้อน (Hot compression) ที่อุณหภูมิ 120 135 และ 150 องศาเซลเซียส ความดัน 80 psig ใช้เวลาในการอัด 10 นาที จากนั้นนำไปทดสอบสมบัติทางกลและทางกายภาพของชิ้นงาน ประกอบด้วย การทดสอบหาความหนาแน่น การทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ การทดสอบการต้านแรงดึง การทดสอบการต้านแรงดัดโค้ง เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตงานที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากเส้นใยปาล์ม จากผลการทดสอบพบว่าเมื่ออัดงานที่อัตราส่วนตัวประสานต่อเส้นใยปาล์มและอุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปเพิ่มมากขึ้น จะส่งผลให้ความหนาแน่น สมบัติการต้านแรงดึง และสมบัติการต้านแรงดัดโค้งมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ค่าการดูดซึมน้ำลดลง โดยงานที่มีสมบัติทางกลและสมบัติทางกายภาพดีที่สุด คือ งานที่ผลิตในสภาวะอัตราส่วนตัวประสานต่อเส้นใยปาล์มเท่ากับ 5:5 และอัดที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส จากนั้นนำภาชนะที่ผลิตในสภาวะที่เหมาะสมที่สุด ไปฝังดินลึก 10 เซนติเมตร เพื่อดูการย่อยสลายของภาชนะ พบว่า ภาชนะย่อยสลายได้ดี

Report Title           Plates from Oil Palm Fruit Fiber  
By                         Mr. Kanok Atchariyawongmetee  
Degree                 Bachelor of Engineering  
Program                Chemical Engineering  
Year                    2018  
Advisor                Assoc. Prof. Dr. Prakob Kitchaiya

### ABSTRACT

This research aims to study biodegradable plates production from oil palm fruit fiber and cassava starch was used as a binder. The ratios between binder to oil palm fruit fiber were 2:8 3.5:6.5 and 5:5 by weight. The plates were prepared by hot compression molding at temperature of 120, 135 and 150°C and pressure of 80 psig for 10 minutes compression. The mechanical and physical properties including density measurement, water absorption, tensile and flexural testing were tested to find the optimum preparing condition. The results showed that increasing ratio between binder to oil palm fiber and compressed temperature provided higher density, tensile and flexural properties while water absorption decreased. The optimum condition was binder to oil palm fiber ratio at 5:5 and compressing temperature at 150°C. The plates were buried 10 cm underground for biodegradable test, and they were able to be degraded well.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา ที่ให้ความรู้ ความช่วยเหลือ คำชี้แนะในการแก้ปัญหา และตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องของปริญญาานิพนธ์ตลอดการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณ กรรมการสอบหัวข้อ และโครงสร้างวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำเพื่อแก้ไขข้อบกพร่อง จนทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.เจษฎา ชัยโสม และ คุณปริญา สิงห์พิทักษ์ ภาควิชา วิศวกรรมอาหาร ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องมืออุปกรณ์ในการทำวิจัย ให้ความช่วยเหลือ และดูแลตลอดการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ให้ความรู้ความเข้าใจในรายวิชาที่ศึกษา เพื่อนำมาประยุกต์ใช้และแก้ปัญหา จนทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วง

ขอขอบคุณ บ. สุขสมบูรณ์น้ำมันปาล์ม จ. ที่ให้ความอนุเคราะห์เส้นใยปาล์ม

สุดท้ายขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และญาติที่เคารพ ที่เป็นกำลังใจและสนับสนุนตลอดการทำวิจัย

กนก อัจฉริยวงศ์เมธี

# สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูปภาพ	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ และ คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ปาล์มน้ำมัน	4
2.1.1 ข้อมูลทั่วไปของปาล์มน้ำมัน	4
2.1.2 ความสำคัญของปาล์มน้ำมัน	4
2.1.3 การสกัดน้ำมันปาล์มจากปาล์มน้ำมัน	5
2.1.4 วัสดุเหลือทิ้งจากการสกัดน้ำมันปาล์ม	5
2.2 แป้ง	6
2.2.1 องค์ประกอบภายในเม็ดแป้ง	6
2.2.2 คุณสมบัติของแป้ง	7
2.3 เส้นใย	9
2.3.1 เส้นใยธรรมชาติ	9
2.3.2 เส้นใยจากปาล์มน้ำมัน	11

## สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.4 กาวหรือตัวประสาน	11
2.5 การทดสอบสมบัติของภาชนะบรรจุ	11
2.5.1 การวัดความหนา (Thickness)	11
2.5.2 การทดสอบการดูดซึมน้ำ (Water absorption test)	11
2.5.3 การทดสอบแรงดึง (Tensile test) [12]	12
2.5.4 การทดสอบแรงดัดโค้ง (Flexural test) [14]	13
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	17
บทที่ 3 ขั้นตอนการทดลอง	18
3.1 การเตรียมตัวประสาน	18
3.1.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	18
3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	18
3.1.3 ขั้นตอนการทดลอง	18
3.2 การเตรียมเส้นใย	19
3.2.1 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	19
3.2.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	19
3.2.3 ขั้นตอนการทดลอง	19
3.3 การขึ้นรูปชิ้นงาน	20
3.2.1 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	20
3.2.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	20
3.2.3 ขั้นตอนการทดลอง	20
3.4 การทดสอบหาค่าความหนาแน่น	21
3.5 การทดสอบสมบัติการซึมน้ำ	21
3.6 การทดสอบแรงดึง	21

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
3.7 การทดสอบแรงดัดโค้ง	22
3.8 การทดสอบการย่อยสลาย	23
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	24
4.1 ผลการเตรียมตัวประสาน	24
4.2 ผลการเตรียมเส้นใยผลปาล์ม	24
4.3 ผลการทดสอบหาความหนาแน่น	25
4.4 ผลการทดสอบสมบัติการซึมน้ำ	26
4.5 ผลการทดสอบแรงดึง	27
4.6 ผลการทดสอบแรงดัดโค้ง	28
4.7 ผลการทดสอบการย่อยสลาย	29
4.8 ผลการศึกษาสัญญาณวิทยา	30
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	32
5.1 สรุปผลการทดลอง	32
5.2 ข้อเสนอแนะ	32
เอกสารอ้างอิง	33
ภาคผนวก	35
ภาคผนวก ก ข้อมูลดิบ	36
ภาคผนวก ข เปรียบเทียบคุณสมบัติของภาชนะโพนีเอสท์กับงานที่ได้จากเส้นใยผลปาล์ม	39
ภาคผนวก ค การคำนวณราคาภาชนะงานย่อยสลายได้ทางชีวภาพ	40
ภาคผนวก ง อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้	41

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 อุณหภูมิเจลาตินไนซ์ของแป้งชนิดต่างๆ [13]	8
4.1 การเปลี่ยนแปลงและการย่อยสลายของภาชนะที่อัดขึ้นรูป	29
4.2 ภายตัดขวางและภาพผิวหน้าของชิ้นงานที่อัดขึ้นรูปในสภาวะอัตราส่วนส่วนตัวประสานต่อเส้นใย และอุณหภูมิที่ใช้อัดขึ้นรูปต่างๆ	30
ก.1 ค่าการทดสอบสมบัติของภาชนะจานย่อยสลายได้ทางชีวภาพในสภาวะการอัดขึ้นรูปอัตราส่วนตัวประสานต่อเส้นใย 2ต่อ8 ที่อุณหภูมิ 120 135 และ150 องศาเซลเซียส	36
ก.2 ค่าการทดสอบสมบัติของภาชนะจานย่อยสลายได้ทางชีวภาพในสภาวะการอัดขึ้นรูปอัตราส่วนตัวประสานต่อเส้นใย 3.5ต่อ6.5 ที่อุณหภูมิ 120 135 และ150 องศาเซลเซียส	37
ก.3 ค่าการทดสอบสมบัติของภาชนะจานย่อยสลายได้ทางชีวภาพในสภาวะการอัดขึ้นรูปอัตราส่วนตัวประสานต่อเส้นใย 5ต่อ5 ที่อุณหภูมิ 120 135 และ150 องศาเซลเซียส	38
ข.1 สมบัติของภาชนะโพรเมอเอสที่กักจับน้ำได้จากเส้นใยผลปาล์ม	39
ค.1 คำนวณค่าวัสดุดิบและสารเคมีที่ใช้	40
ค.2 คำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปภาชนะ	40
ค.3 คำนวณค่าน้ำใช้ในการอัดขึ้นรูปภาชนะ	40

## สารบัญรูปรภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างทางเคมีของอะไมโลส	6
2.2 โครงสร้างทางเคมีของอะไมโลเพคติน	7
2.3 โครงสร้างของเซลลูโลส	9
2.4 โครงสร้างของลิกนิน	10
2.5 แสดงขั้นตอนทดสอบแรงดึงแบบแผ่นก่อนการทดสอบและหลังการทดสอบ	13
2.6 การทดสอบการตัดโค้งแบบ 3 จุด	14
2.7 การทดสอบการตัดโค้งแบบ 4 จุด	16
3.1 การทดสอบแรงดึง	22
3.2 การทดสอบแรงตัดโค้ง	22
4.1 ตัวประสาน	24
4.2 เส้นใยผลปาล์ม	24
4.3 เส้นใยผลปาล์มหลังจากอัดขึ้นรูปเป็นภาชนะจาน	25
4.4 ความหนาแน่นของชิ้นงานที่สภาวะในการอัดขึ้นรูปต่างๆ	25
4.5 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของชิ้นงานที่สภาวะในการอัดขึ้นรูปต่างๆ	26
4.6 ค่าการต้านทานแรงดึงของชิ้นงานที่สภาวะในการอัดขึ้นรูปต่างๆ	27
4.7 ค่าการต้านทานแรงตัดโค้งของชิ้นงานที่สภาวะในการอัดขึ้นรูปต่างๆ	28
ง.1 เครื่องอัดขึ้นรูปร้อน	41
ง.2 เครื่องทดสอบเนกประสงค์	41
ง.3 แม่พิมพ์ที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปภาชนะ	42
ง.4 เส้นใยผลปาล์ม	42
ง.5 แป้งมันสำปะหลัง	42

## VIII

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันจากการเพิ่มขึ้นของประชากรในประเทศไทยทำให้ปริมาณการใช้ภาชนะจากพลาสติก และโฟมมีปริมาณมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากโฟมมีคุณสมบัติเด่นที่ความหนาแน่นต่ำ น้ำหนักเบา สามารถรับน้ำหนักได้ มีค่าการนำความร้อนต่ำ ป้องกันการผ่านของน้ำ มีความยืดหยุ่น กันแรงกระแทกได้ดี มีความสะดวกสบาย รวดเร็ว หาซื้อได้ง่ายในราคาไม่แพงมาก ผิวเรียบ สะอาด เก็บรักษาความร้อนหรือความเย็นของอาหารไว้ได้ ไม่ดูดน้ำมันและไม่ดูดน้ำ มีความเป็นกลางและปลอดภัยในการสัมผัสอาหาร [6] ดังนั้นบรรจุภัณฑ์โฟมจึงนิยมนำมาใช้อย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะนำไปบรรจุอาหารต่างๆ ตามร้านอาหาร ตามสั่ง ร้านขายอาหารสตรีทฟู้ด โดยทั่วไปภาชนะโฟมจะใช้งานเพียงครั้งเดียวแล้วทิ้งเนื่องจากภาชนะโฟมที่ผ่านการใช้งานแล้วส่วนใหญ่จะเปื้อนคราบน้ำมันและคราบสกปรก การจะนำมารีไซเคิลจึงต้องใช้หลายกระบวนการและต้นทุนค่อนข้างสูง และจากเวลาในการย่อยสลายของโฟมมีระยะเวลาหลายร้อยปี ส่งผลให้ขยะประเภทโฟมมีปริมาณสะสมเพิ่มมากขึ้น จนมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก ในช่วงตั้งแต่พุทธศักราช 2555 ถึง พุทธศักราช 2559 พบว่าปริมาณขยะประเภทโฟมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในปีพุทธศักราช 2559 มีปริมาณขยะประเภทโฟมเกิดขึ้นประมาณ 1.3 ล้านตันต่อปี รวมประมาณ 61 ล้านใบต่อวัน คิดเป็นคนไทยสร้างขยะประเภทโฟม 1 ใบต่อคนต่อวัน [7] ดังนั้นจึงจำเป็นต้องกำจัดขยะเหล่านี้ด้วยการเผาทำลายหรือฝังกลบ แต่การกำจัดด้วยวิธีเผาทำลายจะทำลายสิ่งแวดล้อมอย่างมาก รวมทั้งมีสารตกค้างในสิ่งแวดล้อมจำนวนมาก ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจก สาเหตุของภาวะโลกร้อนในปัจจุบัน ส่วนวิธีฝังกลบขยะประเภทโฟมจะใช้พื้นที่มากกว่าขยะปกติถึง 3 เท่า และทำให้ดินเสื่อมโทรมได้ ซึ่งปัญหาเหล่านี้จึงต้องได้รับการแก้ไขอย่างเร่งด่วน [8]

ในหลายๆประเทศเริ่มตระหนักถึงปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากขยะประเภทโฟมที่มากขึ้น จึงได้หันมาพัฒนานวัตกรรมและมาตรการต่างๆ เพื่อลดปริมาณการใช้พลาสติก การใช้ซ้ำ การนำกลับมาใช้ใหม่ ตลอดจนการคิดค้นวัสดุและผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ที่มีส่วนผสมจากผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร เพื่อแก้ไขปัญหาปริมาณขยะที่ย่อยสลายไม่ได้ ในประเทศเยอรมนีได้ทำการเก็บภาษีถุงพลาสติกที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ ประเทศฝรั่งเศสได้ออกกฎระเบียบให้เริ่มใช้พลาสติกชีวภาพในปีพุทธศักราช 2553 และหลายๆประเทศก็เริ่มหันมาผลิตและใช้พลาสติกชีวภาพมากขึ้น ในปีพุทธศักราช 2560 มีการผลิตพลาสติกชีวภาพทั่วโลกประมาณ 2.05 ล้านตัน เพิ่มขึ้นจากในปีพุทธศักราช 2551 ที่มีการผลิตประมาณ 0.3 ล้านตัน และคาดว่าในปีพุทธศักราช 2565 การผลิตพลาสติกชีวภาพทั่วโลกจะเพิ่มขึ้นเป็น 2.44 ล้านตัน [9] [10]

ประเทศไทยมีผลผลิตน้ำมันปาล์มดิบเป็นอันดับ 3 ของโลก โดยมีผลผลิตเฉลี่ยประมาณ 2 ล้านตันปี หรือคิดเป็น 1.2% ของผลผลิตน้ำมันปาล์มดิบโลก พื้นที่เพาะปลูกปาล์มน้ำมันและโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบของไทยส่วนใหญ่อยู่ในภาคใต้ กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มจะได้น้ำมันดิบประมาณ 18-22% ส่วนที่เหลือประมาณ 78-82% ได้แก่ ทะลายปาล์มเปล่า เส้นใยผลปาล์ม เปลือกของผลปาล์ม กากสลัดจ์และน้ำเสีย [2] [4] [11] และจากแนวโน้มการผลิตปาล์มน้ำมันที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่องทำให้เกิดของเสียเหลือจากกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมาก โดยทั่วไปทะลายปาล์มเปล่าจะนำไปใช้ประโยชน์ในการเพาะเห็ด ส่วนเส้นใยผลปาล์มจะใช้เป็นเชื้อเพลิงให้กับหม้อผลิตไอน้ำ(boiler) เพื่อนำไอน้ำไปนึ่งทะลาย ทะลายปาล์มเปล่าและเส้นใยผลปาล์มมีชื่อเรียกว่า วัสดุลิกโนเซลลูโลส(Lignocellulosic materials) มีองค์ประกอบที่สำคัญคือ เซลลูโลส(Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) และลิกนิน (Lignin) [15]

งานวิจัยนี้จึงเล็งเห็นคุณค่าและความสำคัญของของเหลือทิ้งจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม โดยการนำทะลายปาล์มเปล่า และเส้นใยผลปาล์มมาอัดขึ้นรูปกับตัวประสานทำเป็นภาชนะที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ เพื่อให้ได้ภาชนะบรรจุที่สามารถนำไปใช้งานได้จริงและถือเป็นการช่วยลดปัญหาขยะภาชนะบรรจุประเภทโฟม ทั้งยังเป็นการสร้างมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งจากการสกัดน้ำมันปาล์มและสร้างรายได้ให้เกษตรกรชาวสวนปาล์มของไทย

## 1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษากรรมวิธีการผลิตงานจากเส้นใยผลปาล์ม

1.2.2 เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตงานจากเส้นใยผลปาล์ม โดยปัจจัยที่เลือกศึกษาในการวิจัย ได้แก่ อัตราส่วนระหว่างปริมาณตัวประสานกับปริมาณเส้นใยผลปาล์ม อุณหภูมิที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ทำการอัดขึ้นรูปงานจากเส้นใยผลปาล์ม โดยตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่

1.อัตราส่วนระหว่างปริมาณตัวประสานต่อเส้นใยจากผลปาล์มน้ำมัน เป็น 2:8 3:5:6.5 5:5

2.อุณหภูมิที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป เป็น 120 135 150 องศาเซลเซียส

1.3.2 ทำศึกษาคุณสมบัติของงานจากเส้นใยผลปาล์ม โดยตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่ แรงดึง แรงดัด โค้ง ความหนาแน่น การซึมน้ำ การย่อยสลายทางชีวภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ และ คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ทราบถึงกรรมวิธีและสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตงานจากเส้นใยผลปาล์ม
- 1.4.2 สามารถลดวัสดุเหลือทิ้งจากการสกัดน้ำมันปาล์ม
- 1.4.3 สามารถเพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มและสร้างรายได้เสริมให้เกษตรกรไทย
- 1.4.4 สามารถลดปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการฝังกลบหรือเผาขยะประเภทพลาสติก และโฟม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ปาล์มน้ำมัน

#### 2.1.1 ข้อมูลทั่วไปของปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมัน มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Elaeis guineensis* เป็นพืชที่มีถิ่นกำเนิดอยู่ในแถบแอฟริกาตะวันตกจากเซียร์ราลีโอนไลบีเรียไอวอรีโคสต์กานาและแคเมอรูนตลอดจนแถบเส้นศูนย์สูตรของสาธารณรัฐคองโกและซาอีร์ ปาล์มน้ำมันจัดเป็นพืชตระกูลปาล์มใบเลี้ยงเดี่ยวเป็นไม้ยืนต้นให้ผลผลิตตลอดทั้งปีและมีอายุยืนยาว [1]

ปาล์มน้ำมันให้ผลเป็นทะลายปาล์ม ประกอบด้วย ผลปาล์มซึ่งมีลักษณะคล้ายหมาก แต่มีขนาดเล็กกว่า สีของเปลือกเป็นสีแดงกว่าหรือมีสีเหลืองส้ม โดยปาล์มทั้งทะลายมีน้ำหนักอยู่ในช่วงประมาณ 3-50 กิโลกรัม ขึ้นอยู่กับอายุต้นปาล์มและความสมบูรณ์ของต้นปาล์ม ปาล์มน้ำมันให้ผลผลิตเก็บเกี่ยวได้ตลอดปี ช่วงเวลาที่มีผลปาล์มออกสู่ตลาดมากมีอยู่ 2 ช่วง ได้แก่ ช่วงต้นปีราวเดือนมีนาคม – พฤษภาคม และช่วงปลายปีราวเดือนกันยายน + พฤศจิกายน ปาล์มน้ำมันเริ่มให้ผลเมื่อมีอายุประมาณ 3.5-4 ปี และให้ผลสูงสุดเมื่ออายุประมาณ 8-12 ปี หลังจากนั้นผลผลิตค่อยลดลง แต่ยังคงมีความคุ้มค่าในการลงทุนจนถึงอายุประมาณ 25 ปี [1]

#### 2.1.2 ความสำคัญของปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมันถือเป็นพืชน้ำมันที่มีศักยภาพการผลิตน้ำมันต่อพื้นที่สูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับพืชน้ำมันชนิดอื่นๆ เช่น มะพร้าว มะกอก เป็นต้น นอกจากนี้ยังทนทานต่อผลกระทบจากภัยธรรมชาติมากกว่าพืชอายุสั้น[3] ทำให้ปริมาณการผลิตน้ำมันปาล์มมีสัดส่วนสูงถึง 36% ของปริมาณการผลิตน้ำมันจากพืชทุกชนิด

แหล่งปลูกปาล์มน้ำมันหลักของโลกอยู่ที่ภูมิภาคอาเซียนโดย ผู้ผลิตสำคัญ คือ อินโดนีเซียและมาเลเซีย คิดเป็น 85% ของผลผลิตรวมของโลก และมีสัดส่วนการส่งออกน้ำมันปาล์มรวมกันมากกว่า 90% ของปริมาณส่งออกในตลาดโลกโดยประเทศผู้และนำเข้าหลักคือ อินเดีย สหภาพยุโรป และจีน มีสัดส่วนนำเข้ารวมกันประมาณ 50% ของปริมาณการนำเข้าน้ำมันปาล์มทั่วโลก

สำหรับประเทศไทยมีผลผลิตน้ำมันปาล์มดิบเป็นอันดับ 3 ของโลก โดยมีผลผลิตเฉลี่ยประมาณ 2 ล้านตันต่อปี หรือคิดเป็น 1.2% ของผลผลิตน้ำมันปาล์มดิบโลก พื้นที่เพาะปลูกปาล์มน้ำมันและโรงงานสกัด

น้ำมันปาล์มดิบของไทยส่วนใหญ่อยู่ในภาคใต้ โดยจังหวัดที่มีผลผลิตปาล์มน้ำมันมาก ได้แก่ กระบี่ สุราษฎร์ธานี และชุมพร โดยมีสัดส่วนร้อยละ 27 25 และ 19 ของประเทศ ตามลำดับ [2, 4]

### 2.1.3 การสกัดน้ำมันปาล์มจากปาล์มน้ำมัน

โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มแบบมาตรฐานมีกระบวนการผลิตดังนี้

1. การนึ่งปาล์ม (Sterilization) หลังจากเก็บเกี่ยวทะลายปาล์มสดจำเป็นต้องนำเข้าสู่กระบวนการผลิตภายใน 72 ชม. มิฉะนั้นปริมาณกรดไขมันอิสระจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้น้ำมันที่ได้มีคุณภาพและปริมาณต่ำลง เมื่อส่งเข้าโรงงานจะทำการนึ่งทะลายปาล์ม เพื่อหยุดการทำงานของเอนไซม์ที่เร่งการเกิดกรดไขมันอิสระ นอกจากนั้นแล้วการนึ่งผลปาล์มจะช่วยให้ผลปาล์มหลุดออกจากก้านทะลายปาล์มง่ายขึ้น และเนื้อปาล์มนุ่มง่ายต่อการบีบน้ำมัน การนึ่งใช้ไอน้ำ 120-130 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 45 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว นาน 45 นาที
2. การแยกผลปาล์ม (bunch stripping) ทะลายปาล์มที่นึ่งแล้วจะถูกส่งมาเข้าเครื่องเหวี่ยงแยกขนาดใหญ่ ทำให้ผลปาล์มแยกออกจากทะลายปาล์ม ทะลายเปล่าจะถูกส่งไปใช้เป็นเชื้อเพลิงต่อไป
3. การฉีกย่อยผลปาล์ม (digestion) ผลปาล์มที่แยกออกจากทะลายแล้ว ถูกส่งมาตีย่อยให้นุ่ม เพื่อให้ผลปาล์มพร้อมต่อการสกัดน้ำมันออก
4. การสกัดน้ำมัน (pressing) ผลปาล์มที่ได้รับการฉีกย่อยแล้ว ถูกส่งเข้ามาในเครื่องสกัดเกลียวอัตโนมัติ เกลียวคู่ เพื่อสกัดน้ำมันออกจากเปลือกนอกของผลปาล์ม ในการสกัดเครื่องสกัดเกลียวอัตโนมัติจะถูกปรับระยะห่างของเกลียวให้เหมาะสม เพื่อให้สามารถสกัดน้ำมันออกได้มากที่สุด โดยให้กะลาของเมล็ดในปาล์มแตกน้อยที่สุด ทั้งนี้เพื่อให้ได้น้ำมันปาล์มที่มีคุณภาพตามมาตรฐาน ในส่วนที่เป็นกากพีชน้ำมันประกอบด้วยเส้นใยและเมล็ดปาล์มจะถูกเป่าด้วยลมร้อนให้แห้ง และแยกออกจากกันด้วยไซโคลอน เมล็ดปาล์มถูกส่งเข้าเครื่องกะเทาะกะลา กะลาที่แยกออกถูกใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อไอน้ำ ส่วนเมล็ดในปาล์มถูกส่งเข้าเครื่องสกัดเกลียวอัตโนมัติ เพื่อสกัดน้ำมันออกด้วยกรรมวิธีเดียวกันกับการผลิตน้ำมันมะพร้าว การกรองน้ำมันปาล์มที่ได้มีเส้นใยปาล์มปะปนมาด้วย จะถูกส่งเข้าสู่ตะแกรงสั่นเพื่อแยกเศษของแข็งออก
5. การกำจัดน้ำ บางที่มีการใช้เครื่องเหวี่ยงแยกด้วยความเร็วสูง แยกสิ่งสกปรก น้ำ กากตะกอนออกจากน้ำมัน น้ำมันที่กรองแล้วจะถูกส่งผ่านเครื่องระเหยที่ 80 - 90 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ เพื่อกำจัดน้ำและความชื้นในน้ำมัน เพื่อให้น้ำมันมีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนานขึ้น โรงงานใหญ่มีน้ำเสีย 2.5 ตันต่อปาล์ม 1 ตัน [5]

### 2.1.4 วัสดุเหลือทิ้งจากการสกัดน้ำมันปาล์ม

ในกระบวนการสกัดปาล์มน้ำมัน จะได้น้ำมันปาล์มดิบประมาณ 18-22 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะถูกนำไปแปรรูปเป็นน้ำมันบริโภคหรืออุตสาหกรรมต่อเนื่องอื่นๆ ส่วนของเหลือ 78-82 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งได้แก่

ทะลายเปล่า เส้นใยผลปาล์ม กากสัลดัจรวมถึงน้ำที่อยู่ในทะลายปาล์ม จะถูกนำมาใช้ประโยชน์ โดย ทะลายเปล่าและกากสัลดัจจะถูกนำไปใช้ผลิตปุ๋ยอินทรีย์ ทะลายเปล่า เส้นใยผลปาล์มและกะลาจะใช้เป็น เชื้อเพลิงชีวมวล ส่วนของเหลวในทะลายจะแปรรูปเป็นโมลาส [11]

## 2.2 แป้ง

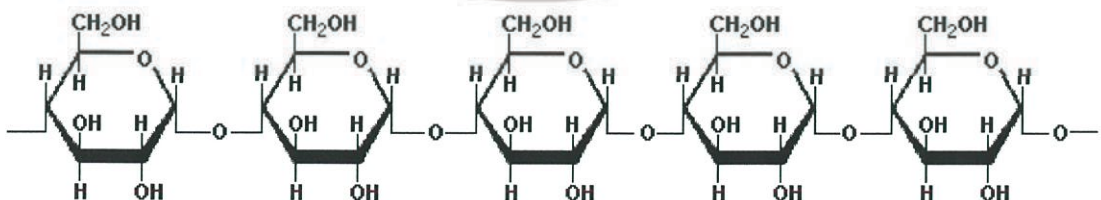
แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่สะสมอยู่ในพืชชั้นสูง พบในคลอโรพลาสต์(ในใบ)และในส่วนที่พืชใช้เป็น แหล่งเก็บอาหาร เช่น เมล็ดและหัว แป้งในกระบวนการผลิต หมายถึง คาร์โบไฮเดรตที่มีองค์ประกอบของ คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนส่วนใหญ่ มีสิ่งอื่นเจือปน เช่น โปรตีน ไขมัน เกลือแร่ น้อยมาก ส่วนแป้ง ที่ผลิตทั่วไปที่ยังมีส่วนประกอบอื่นๆ อยู่มากจะเรียกว่า ฟลาวาร์(Flour) เช่น แป้งข้าวโพด แป้งข้าวสาลี สำหรับแป้งมันสำปะหลังปัจจุบันผลิตโดยกรรมวิธีทันสมัยมีความบริสุทธิ์สูง แป้งสตาร์ชที่ยังไม่ถูกทำการ ดัดแปรหรือแปรรูป เรียกว่าแป้งดิบ(Native Starch) ส่วนแป้งที่ถูกดัดแปรหรือแปรรูปแล้ว เรียกว่า โมดิไฟด์สตาร์ช(Modified Starch) หรือแป้งดัดแปร

### 2.2.1 องค์ประกอบภายในเม็ดแป้ง

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ในอัตราส่วน 6:10:5 สูตรเคมีโดยทั่วไป ( $C_6H_{10}O_5$ )<sub>n</sub> แป้งเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคสซึ่งประกอบด้วยหน่วยของน้ำตาลกลูโคสมา เชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิก (Glucosidic linkage) แป้งประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิด คือ อะไมโลส (Amylose) เป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นและ ไอ์โมโลเพคติน(Amylopectin) เป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่ง แป้งจากแหล่งที่ต่างกันจะมีอัตราส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินแตกต่างกัน ทำให้คุณสมบัติของ แป้งแต่ละชนิดแตกต่างกัน องค์ประกอบหลักภายในเม็ดแป้งมีดังนี้

#### 2.2.1.1 อะไมโลส

อะไมโลส(Amylose) เป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิก(Glucosidic Linkage) ชนิดแอลฟา 1,4 แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของอะไมโลส

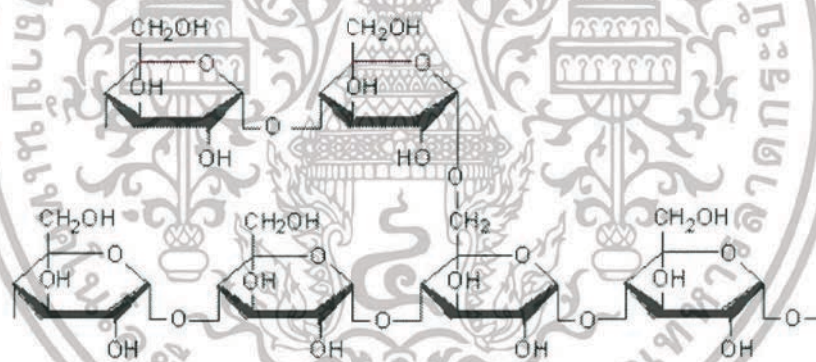
ที่มา : <http://www.foodnetworksolution.com/>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แป้งแต่ละชนิดมีขนาดโมเลกุลหรือระดับขั้นการเกิดพอลิเมอร์ (Degree of polymerization, DP) ของอะไมโลสแตกต่างกัน แป้งที่มีโมเลกุลของอะไมโลสยาวขึ้นจะมีแนวโน้มในการเกิดรีโทรเกรดชัน (Retrogradation) ลดลง ตำแหน่งของอะไมโลสภายในเม็ดแป้งขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของแป้ง อะไมโลสบางส่วนอยู่ในกลุ่มของอะไมโลเพกทิน บางส่วนกระจายอยู่ทั้งในส่วนอสัณฐาน (Amorphous) และส่วนผลึก (Crystalline)

### 2.2.1.2 อะไมโลเพกทิน

อะไมโลเพกทิน (Amylopectin) เป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิก (glucosidic linkage) ชนิดแอลฟา-1,4 ( $\alpha$ -1,4) และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาที่เป็นพอลิเมอร์กลูโคสสายสั้นเชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิก (glucosidic linkage) ชนิดแอลฟา-1,6 ( $\alpha$ -1,6) ขนาดโมเลกุลของอะไมโลเพกทินในแป้งแต่ละชนิดจะมีค่าประมาณ 2 ล้านหน่วย อะไมโลเพกทินมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1,000 เท่าของอะไมโลส อะไมโลเพกทินถือว่ามีความสำคัญมากกว่าอะไมโลสทั้งด้านโครงสร้าง หน้าที่และกรนำไปใช้ ดังนั้นเมื่อมีอะไมโลเพกทินเพียงอย่างเดียวสามารถรวมตัวเพื่อสร้างเม็ดแป้งได้ปริมาณของอะไมโลสและอะไมโลเพกทินที่แตกต่างกันทำให้สมบัติของแป้งแตกต่างกัน โครงสร้างทางเคมีของอะไมโลเพกทินแสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของอะไมโลเพกทิน

ที่มา : [http://www.thaigoodview.com/library/contest2552/type2/science04/28/P\\_ Untitled-10.html](http://www.thaigoodview.com/library/contest2552/type2/science04/28/P_ Untitled-10.html)

## 2.2.2 คุณสมบัติของแป้ง

### 2.2.2.1 การพองตัว (Swelling) และการละลาย (Solubility)

แป้งดิบจะไม่สามารถละลายในน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลาติไนซ์ (Gelatinization temperature) เนื่องจากมีพันธะไฮโดรเจนซึ่งเกิดจากหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแป้งที่อยู่ใกล้ๆ กันเชื่อมต่ออยู่ แต่เมื่ออุณหภูมิของสารผสมน้ำแป้งเพิ่มจนสูงกว่าอุณหภูมิเจลาติไนซ์ พันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลาย เม็ดแป้งจะเกิดการพองตัวขึ้น ปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัวและความสามารถในการละลาย คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของแป้ง ความแข็งแรงและลักษณะร่างแหภายในเม็ดแป้ง สิ่งเจือปนภายในแป้งที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต ปริมาณน้ำในสารละลายแป้งและการตัดแปลงทางเคมี ซึ่งกำลังการพองตัวของแป้งจะแสดงเป็นปริมาตร หรือน้ำหนักของเม็ดแป้งที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดเมื่อเม็ดแป้งพองตัวได้อย่างอิสระในน้ำ [12]

#### 2.2.2.2 ความหนืด (Viscosity)

ความหนืดเป็นสมบัติเฉพาะตัวที่สำคัญของแป้ง เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ปัจจัยที่มีผลต่อความหนืดของแป้ง ได้แก่ ชนิดของแป้งและการตัดแปลงทางกายภาพ

#### 2.2.2.3 การเกิดเจลาติน (Gelatinization)

โมเลกุลของแป้งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมาก ยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน มีคุณสมบัติชอบน้ำ(Hydrophilic) เมื่อนำแป้งไปผสมกับน้ำที่อุณหภูมิห้อง แป้งจะยังไม่เกิดการละลายหรือพองตัว แต่เมื่อนำน้ำแป้งไปให้ความร้อนจะทำให้พันธะไฮโดรเจนถูกทำลาย เม็ดแป้งจะดูดน้ำเกิดการพองตัวและมีความหนืดมากขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของน้ำอิสระที่เหลืออยู่รอบๆเม็ดแป้งเหลือน้อยลง เม็ดแป้งเคลื่อนไหวยากขึ้นทำให้เกิดความหนืดปรากฏการณ์นี้ เรียกว่า การเกิดเจลาตินในเซชัน(Gelatinization) และอุณหภูมิที่สารละลายเริ่มเกิดความหนืดเรียกว่า gelatinization temperature หรือ pasting temperature ขึ้นอยู่กับชนิดของพืชแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 อุณหภูมิเจลาตินในซ์ของแป้งชนิดต่างๆ [13]

ชนิดแป้ง	อุณหภูมิ (°C)
มันฝรั่ง	56-66
มันสำปะหลัง	58.5-70
ข้าวโพด	62-72
ข้าวโพดข้าวเหนียว	63-72
ข้าวฟ่าง	68.5-75
ข้าวสาลี	52-63
ข้าวเจ้า	61-77.5

#### 2.2.2.4 การคืนตัวของแป้ง (Retrogradation)

หลังจากที่เม็ดแป้งได้รับความร้อนอย่างต่อเนื่องจนเกินอุณหภูมิเจลาตินในซ์ความร้อนจะทำให้เม็ดแป้งนั้นพองตัวเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่พองตัวเต็มที่และแตกออก โมเลกุลของอะไมโลสขนาดเล็กลงจะกระจายออกมาทำให้ความหนืดลดลง เมื่อปล่อยให้เย็นตัวลงโมเลกุลของอะไมโลสที่อยู่ใกล้กันจะเกิดการเรียงตัวใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล เกิดเป็นร่างแหสามมิติโครงสร้างนี้สามารถอุ้มน้ำได้ดีและไม่มีการดูดน้ำเข้าไปอีก มีความหนืดคงตัวมากขึ้นเกิดลักษณะเจลเหนียวคล้ายฟิล์มผลึก เรียกปรากฏการณ์เช่นนี้ว่า การเรโทรเกรเดชัน (Retrogradation) หรือ การอยู่ตัว (Setback)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

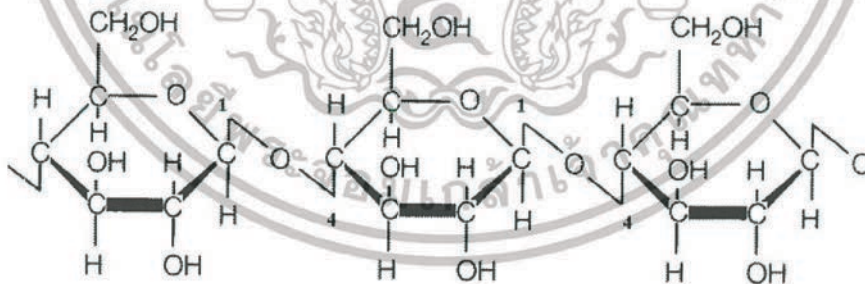
## 2.3 เส้นใย

### 2.3.1 เส้นใยธรรมชาติ

เส้นใยธรรมชาติเป็นอินทรีย์วัตถุที่สำคัญหาได้ง่ายจากธรรมชาติได้จากพืช สัตว์ หรือธาตุ มีปริมาณมาก สามารถเกิดขึ้นได้ใหม่เรื่อยๆ และมีราคาถูกกว่าเส้นใยสังเคราะห์ การนำเส้นใยธรรมชาติจากพืชมาใช้ประโยชน์ในการทำคอมโพสิต(Composite) มีประโยชน์อย่างมากต่อการเสริมประสิทธิภาพและความแข็งแรงของพอลิเมอร์ และยังเป็นการลดต้นทุนและเสริมแรงให้แก่ผลิตภัณฑ์ โครงสร้างและองค์ประกอบพื้นฐานที่สำคัญของเส้นใย คือ เซลลูโลส(Cellulose) เฮมิเซลลูโลส(Hemicellulose) ลิกนิน(Lignin) และสารประกอบอื่นๆ ดังนี้

#### 2.3.1.1 เซลลูโลส

เส้นใยธรรมชาติจากพืชทุกชนิดจัดเป็นเส้นใยประเภทเซลลูโลสที่มีองค์ประกอบด้วยธาตุหลัก คือ คาร์บอน 44% ไฮโดรเจน 6.2% และออกซิเจน 49.4% มีโครงสร้างประกอบด้วยหน่วยขั้นพื้นฐานเรียกว่า Anhydro-d-glucose( $C_6H_{10}O_5$ )<sub>n</sub> ยึดเกาะด้วย 1,4-B-D-Anhydroglucosidic bonding ต่อกันเป็นลูกโซ่ โมเลกุลยาวแสดงดังรูปที่ 2.3 แต่ละหน่วยของกลูโคสประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลทั้งหมด 3 หมู่ด้วยกัน ซึ่งเหมือนกับโครงสร้างของน้ำตาลทั่วไปแต่เนื่องจากโมเลกุลต่อกันยาวเป็นลูกโซ่ทำให้ไม่สามารถละลายน้ำได้เหมือนกับที่เกิดขึ้นกับน้ำตาล เซลลูโลสไม่ละลายน้ำแต่สามารถละลายได้ในกรดเข้มข้น และถ้ามีความเข้มข้นของเซลลูโลสเพิ่มขึ้นจะทำให้ความหนืดของเซลลูโลสเพิ่มขึ้นตามไปด้วยและส่วนใหญ่จะมีการดูดซับความชื้นโดยปริมาณความชื้นที่เซลลูโลสดูดซับมีผลต่อสมบัติกายภาพบางประการของเส้นใย เช่น เมื่อความชื้นสูงเส้นใยจะมีค่าทนต่อแรงดึงเพิ่มขึ้น เป็นต้น



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของเซลลูโลส

ที่มา : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0184/amylose-%E0%B8%AD%E0%B8%B0%E0%B9%84%E0%B8%A1%E0%B9%82%E0%B8%A5%E0%B8%AA>

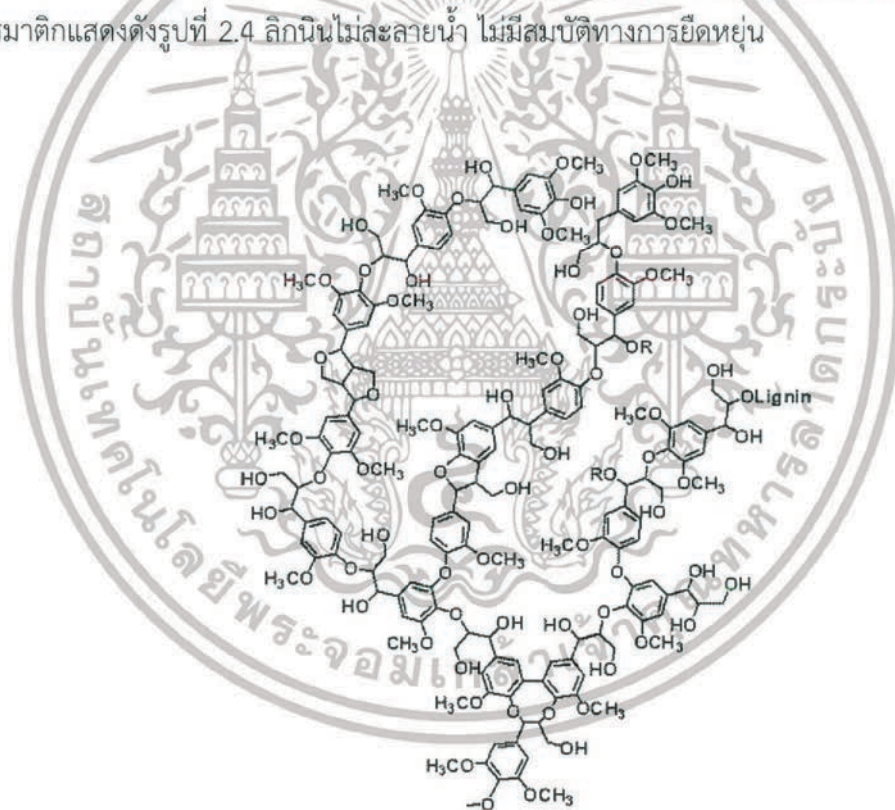
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.1.2 เฮมิเซลลูโลส

เฮมิเซลลูโลสเป็นสารประกอบพอลิแซคคาไรด์ซึ่งคล้ายกับเซลลูโลสมีสูตรทางเคมี คือ  $(C_6H_{10}O_5)_n$  เฮมิเซลลูโลสสามารถพบได้ในเนื้อเยื่อของพืช ซึ่งจะอยู่ร่วมกับสารประกอบอื่นๆ เช่น ลิกนิน และเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสจะมีโครงสร้างเป็นแบบอสัณฐาน ทำให้มีความแข็งแรงน้อยและถูกไฮโดรไลซิสได้ง่ายในกรดเจือจาง

### 2.3.1.3 ลิกนิน

ลิกนิน เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเนื้อเยื่อพืช โดยพบในส่วนของผนังเซลล์ ทำให้ผนังเซลล์พืชแข็งแรง โดยจะอยู่ร่วมกับเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส ลิกนินเป็นสารประกอบพอลิเมอร์ไม่มีรูปผลึก เกาะกันอยู่ในชั้นระหว่างเส้นใย(middle lamella) ทำหน้าที่ ยึดเกาะเส้นใยเข้าด้วยกัน และมีบางส่วนผสมอยู่ในเส้นใยด้วย ลิกนินประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน รวมกันเป็นหน่วยย่อยหลายชนิด เป็นอะโรมาติกแสดงดังรูปที่ 2.4 ลิกนินไม่ละลายน้ำ ไม่มีสมบัติทางการยัดหุ่ย



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของลิกนิน

ที่มา : <http://www.icfar.ca/lignoworks/content/what-lignin.html>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3.2 เส้นใยจากปาล์มน้ำมัน

### 2.3.2.1 เส้นใยผลปาล์ม (Mesocarp Fibers)

เส้นใยผลปาล์ม เป็นส่วนของของผลปาล์มที่อยู่ภายในทะลายปาล์ม ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของเพอริคาร์บ(Pericarp) ที่เป็นเนื้อเยื่อชั้นกลางของเปลือกถั่วจากเปลือกนอก เส้นใยผลปาล์มมีน้ำมันในปริมาณสูง ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำมันปาล์ม โดยเส้นใยผลปาล์มที่ถูกบีบน้ำมันออกแล้ว โรงงานสกัดปาล์มจะใช้เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนกับหม้อผลิตไอน้ำ เพื่อนำไอน้ำไปนึ่งทะลายปาล์ม และผลิตกระแสไฟฟ้า

### 2.3.2.2 เส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันเปล่า (Empty Fruit Bunch Fibers)

ทะลายปาล์มเปล่าประกอบด้วยช่อทะลายย่อย และก้านทะลายปาล์ม ได้จากการตีสับแยกผลปาล์มสดโดยในการสกัดน้ำมันปาล์มจากทะลายปาล์มสด 1 ตัน จะได้ทะลายปาล์มเปล่าประมาณ 0.28 ตัน ทางโรงงานไม่นิยมใช้เป็นเชื้อเพลิงเนื่องจากติดไฟได้ยาก จึงมักนำไปใช้คลุมหน้าดินในสวนปาล์มเป็นปุ๋ยเพิ่มธาตุอาหารในดิน และรักษาความชุ่มชื้นของดินในช่วงฤดูแล้ง นำไปปลูกเห็ด เหมาและฝังกลบหรือทิ้งในที่ดินโรงงานหรือสวนปาล์ม

## 2.4 กาวหรือตัวประสาน

กาว หรือ วัสดุประสาน คือส่วนผสมของของเหลวหรือวัสดุแข็งของเหลวที่สามารถเชื่อมติด หรือประสานวัสดุสองชิ้นเข้าด้วยกัน กาวมีอยู่หลากหลายรูปแบบทั้งมาจากธรรมชาติหรือสารเคมีสังเคราะห์ ซึ่งการใช้งานมักจะขึ้นอยู่กับวัสดุที่จะนำมาติดกันกาวใช้ติดวัตถุชนิดเดียวกัน หรือวัตถุต่างชนิดกัน เข้าด้วยกันให้แน่นโดยผลิตจากวัสดุธรรมชาติ เช่น กาวยางไม้ หรือวัสดุสังเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์ เช่น epoxy, polyurethane, cyanoacrylate, acrylic polymers

## 2.5 การทดสอบสมบัติของภาชนะบรรจุ

### 2.5.1 การวัดความหนา (Thickness)

ความหนา คือ ระยะตั้งฉากระหว่างระนาบผิวหน้าทั้งสองด้านของชิ้นงานที่นำมาทดสอบ สามารถวัดได้โดยเวอร์เนียคาลิเปอร์ ทั่วไปจะวัดออกมาในหน่วยมิลลิเมตร(mm) [13]

### 2.5.2 การทดสอบการดูดซึมน้ำ (Water absorption test)

การดูดซึม หมายถึง ปรากฏการณ์หรือกระบวนการทางเคมีหรือฟิสิกส์ ที่อะตอม โมเลกุลหรือไอออนเข้าไปในส่วนที่เป็นเนื้อในของวัสดุที่เป็นแก๊ส ของเหลวหรือของแข็ง การดูดซึมนั้นเป็นกระบวนการที่โมเลกุลที่ถูกดูดซึมจะไปอยู่ในปริมาตรของวัสดุ โดยสสารที่ถูกดูดซึมไป เรียกว่า สารถูกดูดซึม (Absorbent) ส่วนสสารที่ทำหน้าที่เป็นตัวดูดซึมจะเรียกว่า สารดูดซึม (Absorbent) เช่น การดูดซึมน้ำ

ของกระดาษชำระ โดยค่าปริมาณการดูดซึมน้ำคำนวณได้จากมวลของน้ำที่ชั้นทดสอบดูดซึมไว้หารด้วย น้ำหนักของชิ้นงานก่อนแช่น้ำตามมาตรฐาน ISO 535 (1991) [13]

$$\text{Water absorption} = \frac{W_1 - W_0}{W_0} \quad (2.1)$$

เมื่อ Water absorption = ค่าการดูดซึมน้ำ (g H<sub>2</sub>O/g)  
 $W_0$  = น้ำหนักชิ้นทดสอบก่อนแช่น้ำ (g)  
 $W_1$  = น้ำหนักชิ้นทดสอบหลังแช่น้ำ (g)

### 2.5.3 การทดสอบแรงดึง (Tensile test) [12]

การทดสอบแรงดึงเป็นการทดสอบพื้นฐานที่สุดอย่างหนึ่งที่ใช้ทดสอบสมบัติของวัสดุต่าง ๆ ปกติ การทดสอบแรงดึงจะใช้ชิ้นทดสอบตามแบบมาตรฐาน แต่ขณะเดียวกันก็สามารถใช้ชิ้นทดสอบแบบอื่นที่ทราบค่าพื้นที่หน้าตัดและความยาวเริ่มต้น โดยการทดสอบแรงดึงใช้ในการตรวจวัดพฤติกรรมเชิงกลของ วัสดุภายใต้แรงดึงหรือการยืดในแนวแกน ข้อมูลและการคำนวณในการทดสอบแรงดึงโดยทั่วไป ได้แก่ ขีดจำกัดการยืดหยุ่น (Elastic limit) ร้อยละการยืด (percent elongation) โมดูลัสความยืดหยุ่น (modulus of elasticity) ขีดจำกัดแบบสัดส่วน (proportional limit) ร้อยละการลดลงของพื้นที่หน้าตัด (percent reduction in area) ความแข็งแรงดึง (tensile strength) จุดจำนน (yield point) และความแข็งแรงจำนน (yield strength) เป็นต้น กระบวนการทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM มีดังนี้ E8 สำหรับวัสดุโลหะ D638 สำหรับวัสดุพลาสติก D2343 สำหรับวัสดุไฟเบอร์ D897 สำหรับวัสดุกาวย D987 สำหรับวัสดุกระดาษ และ D412 สำหรับวัสดุยาง การทดสอบแรงดึงเป็นการดึงชิ้นทดสอบซึ่งทำให้ชิ้นทดสอบตกอยู่ได้สถานะการยืดและเป็นกระบวนการที่ทำให้ชิ้นทดสอบเกิดการเสียรูป โดยการเสียรูปเป็นการเปลี่ยนแปลงรูปทรงของชิ้นทดสอบจากแรงที่กระทำ การตรวจวัดการเสียรูปจะวัดจากการเปลี่ยนแปลงขนาดชิ้นทดสอบกับขนาดเริ่มต้น นั่นคือการเสียรูปจะวัดจากความยาวของระยะทดสอบ (gauge length) ที่เปลี่ยนแปลงไปในการทดสอบเทียบกับระยะทดสอบเริ่มต้น ระยะทดสอบเป็นช่วงความยาวมาตรฐานที่ใช้ในการวัดระดับการยืดหรือการเสียรูปที่เกิดขึ้นในระหว่างการทดสอบ โดยความยาวระยะทดสอบมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบแรงดึงปกติเท่ากับ 2 นิ้ว โดยสามารถคำนวณหาค่าแรงเค้นและความเครียดของชิ้นทดสอบได้จากสมการ 2.2 และ 2.3 ตามลำดับ

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

เมื่อ  $\sigma$  = แรงเค้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

F = แรงกระทำ

W = ความกว้างของหน้าตัดสี่เหลี่ยมของชิ้นงานทดสอบ

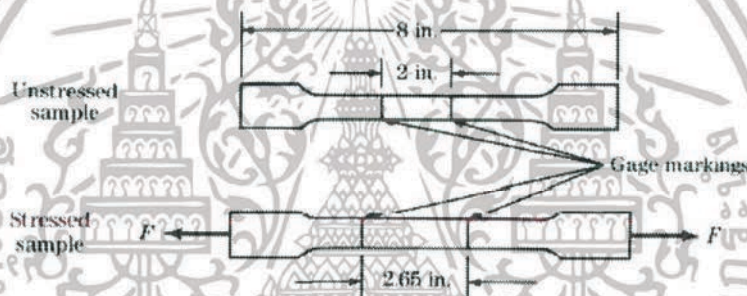
D = ความยาวของหน้าตัดสี่เหลี่ยมของชิ้นทดสอบ

$$\epsilon = \frac{l - l_0}{l_0} \quad (2.3)$$

เมื่อ  $l_0$  = ความยาวเริ่มต้นของชิ้นทดสอบ

$l$  = ความยาวชิ้นทดสอบหลังการดึง

โดยกำหนดความยาวช่วงของการทดสอบเรียกว่าระยะทดสอบ (gauge length) ปกติยาว 2 นิ้ว และความยาวของชิ้นทดสอบทั้งหมดประมาณ 8 นิ้ว ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงชิ้นทดสอบแรงดึงแบบแผ่นก่อนการทดสอบและหลังการทดสอบ

ที่มา: มลस्ता ลิวโรสง (2556) [12]

#### 2.5.4 การทดสอบแรงดัดโค้ง (Flexural test) [14]

การทดสอบแรงดัดโค้งเป็นอีกวิธีหนึ่งสำหรับการทดสอบแบบอัตราเร็วคงที่ซึ่งนิยมใช้ในการทดสอบพลาสติก และมักใช้เป็นวิธีประมาณค่าความต้านทานแรงดึงของวัสดุเนื่องจากวิธีนี้จะไม่ค่อยมีปัญหาซึ่งเกิดจากการเยื้องศูนย์ระหว่างชิ้นงาน นอกจากนี้การกระจายตัวของแนวแรงยังถูกจำกัดอยู่แต่ในบริเวณที่จะเสียหายอีกด้วย ในการทดสอบแรงดัดโค้งชิ้นทดสอบจะได้รับแรงที่ไม่สม่ำเสมอตลอดพื้นที่หน้าตัด เนื่องจากการทดสอบจะใส่แรงกระทำกับชิ้นงานแล้วทำให้เกิดแรงเค้นอัดที่บริเวณด้านบนของหน้าตัดชิ้นงาน และเกิดแรงเค้นดึงที่บริเวณด้านล่างของหน้าตัดชิ้นงาน การดัดโค้งอาจจะกระทำด้วยแรงเค้นตรง แรงเค้นเฉือนตัด หรือแรงเค้นเฉือนบิดโดยชิ้นงานที่มีลักษณะการใช้ในลักษณะที่มีการรับแรงแบบสวนทางมักจำทำการทดสอบแบบดัดโค้งซึ่งชิ้นงานจะมีการโค้งงอเกิดขึ้น ณ จุดหนึ่งบนพื้นผิวบริเวณที่มีการรับแรง การดัดโค้งเป็นการทดสอบความแข็งแรงของชิ้นงานซึ่งสามารถใช้เป็นฟังก์ชันในส่วนของความแข็งแรงของวัสดุโดยทั่วไปแล้วการทดสอบนี้เหมาะสำหรับการทดสอบพลาสติกที่มีลักษณะแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะ แต่ไม่เหมาะสำหรับพลาสติกอ่อนที่สามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างภายใต้แรงตัดได้มากเนื่องจากสมการที่ใช้ในการคำนวณของสภาพการตัดโค้งนี้จะถูกต้องในกรณีที่การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุในระดับต่ำ วัสดุแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดแบบเชิงเส้นและอยู่ภายใต้แรงตัดโค้งล้วนๆ เท่านั้น ดังนั้นโดยทั่วไปมักจะไม่ใช่ทดสอบชิ้นงานที่มีระดับความเครียดเกิน 5%

โดยทั่วไปการทดสอบแรงตัดโค้งจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ การทดสอบแรงตัดโค้งแบบจุดรองรับ 3 จุด (Three-point bending) และการทดสอบแรงตัดโค้งแบบจุดรองรับ 4 จุด (Four-point bending)

1. การทดสอบการตัดโค้งแบบ 3 จุด การทดสอบแบบนี้เป็นการให้แรงกระทำที่จุดกึ่งกลางของชิ้นงานทดสอบและจุดรองรับในทิศทางตรงกันข้าม บริเวณปลายทั้งสองด้านที่มีระยะห่างจากจุดกึ่งกลางเท่ากัน เหมาะสำหรับการทดสอบพลาสติกที่เปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ต่ำ หัวกดที่ใช้แรงกระทำและจุดรองรับมีลักษณะเป็นใบมีดมน (round knive edges) หรือเพลาลูกเหล็กแข็งก็ได้ รัศมีของหัวกดและชุดให้แรงกระทำต้องมีรัศมีอย่างน้อย 3.2 มิลลิเมตร และมีรัศมีสูงสุดไม่เกิน 4 เท่าของความหนาชิ้นงานทดสอบสำหรับหัวกด และ 1.5 เท่าของความหนาชิ้นทดสอบสำหรับชุดรองรับ ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การทดสอบการตัดโค้งแบบ 3 จุด

ที่มา : <https://tmaxtech.co.th/blog/13-การทดสอบแรงดัดงอ>

การที่ชุดกดและชุดรองรับต้องมีลักษณะเป็นผิวโค้งที่จุดสัมผัสดังกล่าวเพื่อเป็นการลดความเข้มข้นของความเค้น (stress concentration) ที่อาจเกิดขึ้นบริเวณจุดสัมผัสดังกล่าว และอาจทำให้ชิ้นงานเกิดการแตกหักบริเวณจุดสัมผัสนั้น นอกจากนี้ระยะห่างจากจุดรองรับทั้งสองสามารถกำหนดได้จากอัตราส่วนของ ระยะห่างระหว่างจุดรองรับทั้งสองกับความหนาของชิ้นทดสอบโดยมีค่าระหว่าง 16:1 ถึง 60:1 ซึ่งความแข็งแรงการตัดโค้งและค่ามอดูลัสของความยืดหยุ่น สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.4 และ 2.5 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ความแข็งแรงดัดโค้ง (N/m}^2\text{)} = \frac{3FL}{2Bh^2} \quad (2.4)$$

เมื่อ F คือ แรงกระทำ (นิวตัน)

L คือ ระยะห่างระหว่างสองจุดของฐานรองรับ (เมตร)

B คือ ความกว้างของชั้นทดสอบ (เมตร)

h คือ ความสูงของชั้นทดสอบ (เมตร)

$$\text{มอดูลัสของความยืดหยุ่น (N/m}^2\text{)} = \frac{L^3 F}{4Wt^3 \delta} \quad (2.5)$$

เมื่อ F คือ น้ำหนักที่ทำให้เกิดการแตกของพอลิเมอร์ (นิวตัน)

L คือ ระยะห่างระหว่างตำแหน่งของวัสดุที่รองรับตัวอย่าง (เมตร)

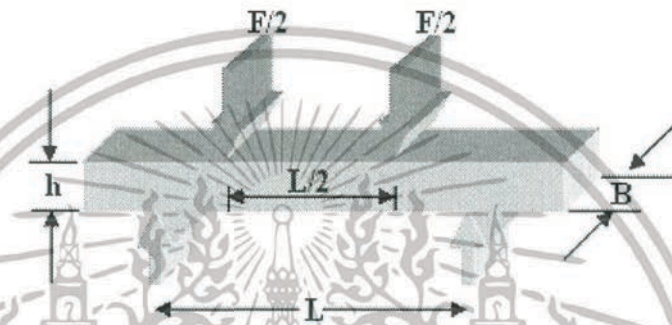
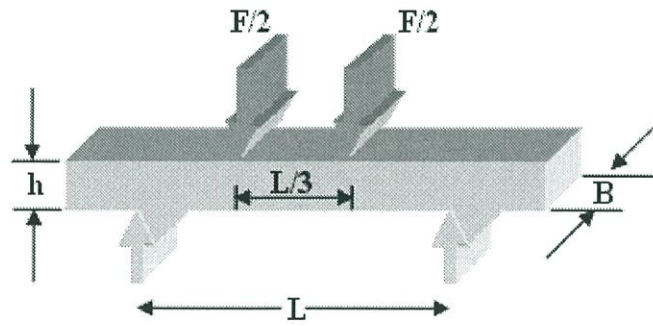
W คือ ความกว้างของตัวอย่าง (เมตร)

t คือ ความสูงของตัวอย่าง (เมตร)

$\delta$  คือ ระยะที่ตัวอย่างเกิดการโค้งงอเมื่อถูกกดด้วยแรง F (เมตร)

2. การทดสอบการดัดโค้งแบบ 4 จุด การทดสอบแบบนี้เป็นการให้แรงกระทำที่ 2 จุดในบริเวณกึ่งกลางของชั้นทดสอบและจุดรองรับในทิศทางตรงกันข้าม บริเวณปลายทั้งสองด้านที่มีระยะห่างจากจุดกึ่งกลางเท่ากัน เหมาะสำหรับการทดสอบวัสดุที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างสูงกว่าในกรณีของการทดสอบการดัดองแบบ 3 จุด หัวกดที่ให้ภาระและชุดรับรองมีลักษณะเป็นใบมีดมนหรือเพลาโลหะแข็งเช่นเดียวกับการทดสอบแบบ 3 จุด แต่รัศมีของหัวกดและชุดให้ภาระจะมีค่าเท่ากันโดยจะต้องมีรัศมีอย่างต่ำ 3.2 มิลลิเมตร และมีรัศมีสูงสุดไม่เกิน 1.5 เท่าของความหนาของชั้นงานทดสอบ ระยะห่างระหว่างชุดกดและชุดรับรองในการทดสอบสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ แบบ 1/3 และแบบ 1/4 การจัดระยะ 1/3 หมายถึง ระยะห่างระหว่างจุดรองรับและจุดกดทั้งสองมีค่าเท่ากันคือ 1/3 ของระยะห่างระหว่างจุดรองรับทั้งสอง ในขณะที่การจัดระยะแบบ 1/4 หมายถึงระยะห่างระหว่างจุดรับรองและจุดกดมีค่าเท่ากับ 1/4 ของระยะห่างระหว่างจุดรองรับทั้งสอง ในขณะที่ระยะห่างระหว่างจุดกดทั้งสองเท่ากับ 2/4 เท่าของระยะห่างระหว่างจุดรองรับทั้งสองทั้งนี้ระยะห่างระหว่างจุดรองรับทั้งสองสามารถกำหนดได้จากอัตราส่วนของระยะห่างระหว่างจุดรองรับทั้งสองกับความหนาของชั้นงานทดสอบโดยมีค่าได้ระหว่าง 16:1 ถึง 60:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 การทดสอบการตัดโค้งแบบ 4 จุด

ที่มา : <https://tmaxtech.co.th/blog/13-การทดสอบแรงดัดงอ>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มลสุตา ลิวโรสง (2556) [12] ได้ทำการวิจัยผลิตภาชนะจากแหล่งวัตถุดิบที่สามารถปลูกทดแทนใหม่ได้ คือ กาบกล้วยและใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน ด้วยอัตราส่วนระหว่างเส้นใยกล้วยต่อตัวประสานเท่ากับ 66.67 : 33.33 75 : 25 และ 100 : 0 โดยน้ำหนัก กำหนดให้ความยาวของเส้นใยที่ใช้ในการศึกษามีสามขนาด คือ 2 มิลลิเมตร 5 มิลลิเมตร และ 10 มิลลิเมตร การขึ้นรูปใช้วิธีการอัดขึ้นรูปร้อน (Hot compression process) ที่อุณหภูมิ 150°C ความดัน 500 psi และใช้เวลาในการอัด 15 นาที จากนั้นจึงนำไปศึกษาอิทธิพลของความยาวเส้นใย ที่ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติทางกลและทางกายภาพของภาชนะ เพื่อจะได้อัตราส่วนของวัตถุดิบที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในการผลิตภาชนะ โดยขึ้นงานที่มีสมบัติทางกลและสมบัติทางกายภาพที่ดีที่สุด คือ กรณีที่มีอัตราส่วนระหว่างเส้นใยกล้วยต่อตัวประสานเท่ากับ 66.67 : 33.33 โดยน้ำหนัก และมีความยาวเส้นใยเท่ากับ 10 มิลลิเมตร สำหรับการศึกษาโครงสร้างสัณฐานวิทยาพบว่าขึ้นงานที่มีการผสมตัวประสานจะมีผิวหน้าเรียบ แต่จะมีรูพรุนเกิดขึ้นภายในขึ้นงานมากกว่าขึ้นงานที่ไม่มีตัวประสาน

นที ฐานมัน (2557) [13] ได้ทำการวิจัยผลิตภาชนะบรรจุย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากลำต้นมันสำปะหลังด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนโดยปราศจากการใช้สารเติมแต่งทางเคมี ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการออกแบบการทดลองในกระบวนการอัดขึ้นรูปขึ้นงานจากลำต้นมันสำปะหลังและสารยึดเกาะจากหัวมันสำปะหลังสด คือ อุณหภูมิเท่ากับ 150°C ความดันเท่ากับ 55 bar และเวลาเท่ากับ 15 นาที และยังศึกษาอิทธิพลของปริมาณเส้นใยและขนาดเส้นใยต้นมันสำปะหลัง ต่อสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อน และสมบัติทางกลของขึ้นทดสอบ โดยขึ้นงานที่มีสมบัติทางกลและสมบัติทางกายภาพเหมาะสมที่สุด คือ ขึ้นทดสอบที่มีขนาดเส้นใยต้นมันสำปะหลังเป็น 0.60-0.85 mm และปริมาณของลำต้นมันสำปะหลังต่อหัวมันสำปะหลังสดในสัดส่วน 70:30 โดยน้ำหนัก

## บทที่ 3

### ขั้นตอนการทดลอง

#### 3.1 การเตรียมตัวประสาน

##### 3.1.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. แปะงมันสำปะหลัง
2. น้ำกลั่น
3. กรดเบนโซอิก

##### 3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. บีกเกอร์ ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เครื่องกวนสารให้ความร้อน (hot plate magnetic stirrer)
3. เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล ทศนิยม 1 ตำแหน่ง
4. แท่งแม่เหล็กกวนสาร (Magnetic bar)
5. ช้อนตักสาร
6. แท่งแก้วคนสาร
7. กระจกนาฬิกา
8. เทอร์โมมิเตอร์
9. ที่ลึบ
10. อ่างน้ำมัน

##### 3.1.3 ขั้นตอนการทดลอง

1. ชั่งแปะงมันสำปะหลัง 5 กรัม ในบีกเกอร์ แล้วเติมน้ำกลั่นจนน้ำหนักของสารละลายเป็น 100 กรัม จากนั้นคนให้แปะงละลายจนหมด
2. นำสารละลายน้ำแปะงที่ได้ไปให้ความร้อนในอ่างน้ำมัน ตั้งค่าอุณหภูมิของอ่างน้ำมันที่ 80 องศาเซลเซียส ปั่นกวนด้วยเครื่องกวน ให้ความร้อนจนน้ำแปะงสุกเป็นของเหลวใส
3. ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วเติมกรดเบนโซอิกปริมาณร้อยละ 1 โดยปริมาตรของตัวประสาน

## 3.2 การเตรียมเส้นใย

### 3.2.1 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. เส้นใยผลปาล์ม
2. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก
3. น้ำกลั่น
4. โซเดียมไฮดรอกไซด์

### 3.2.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. บีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร
2. เครื่องกวนสารให้ความร้อน (hot plate magnetic stirrer)
3. ซ้อนตักสาร
4. เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล ทศนิยม 4 ตำแหน่ง
5. เทอร์โมมิเตอร์
6. ฟิล์มถนอมอาหาร
7. ตะแกรง
8. ขวดวัดปริมาตร
9. พีเอชมิเตอร์
10. ตู้อบ
11. กระบอกตวง ขนาด 10 มิลลิลิตร

### 3.2.3 ขั้นตอนการทดลอง

#### 3.2.3.1 ขั้นตอนการทำความสะอาดเส้นใยผลปาล์ม

1. ชั่งเส้นใยผลปาล์ม 100 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นให้ท่วม
2. นำบีกเกอร์ไปให้ความร้อนในเครื่องให้ความร้อน ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง เพื่อเป็นการล้างสิ่งสกปรกออกจากเส้นใย
3. นำเส้นใยที่ผ่านการต้มในน้ำ 80 องศาเซลเซียส ไปอบให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

### 3.2.3.2 ขั้นตอนการฟอกสีเส้นใย

1. นำเส้นใยผลปาล์มที่อบแห้ง 30 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร และเติมน้ำกลั่น 427.5 มิลลิลิตร
2. ปรับพีเอชของน้ำที่มีเส้นใยผลปาล์มอยู่ ให้มีพีเอชเป็น 11 แล้วเติมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก ปริมาตร 22.5 มิลลิลิตร
3. แช่เส้นใยทิ้งไว้ระยะเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำไปล้างน้ำให้พีเอชกลายเป็น 7
4. นำเส้นใยที่ล้างแล้วไปอบให้แห้งในตู้อบ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

## 3.3 การขึ้นรูปชิ้นงาน

### 3.2.1 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. เส้นใยผลปาล์มที่ผ่านการเตรียม
2. ตัวประสาน

### 3.2.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. บีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. กระบอกฉีดยาแบบฟ็อกกี้
3. เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล ทศนิยม 4 ตำแหน่ง
4. เครื่องอัดขึ้นรูปร้อน
5. แม่พิมพ์งานขนาดกว้าง 30 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร
6. เวอร์เนียคาลิปเปอร์

### 3.2.3 ขั้นตอนการทดลอง

1. ชั่งเส้นใยผลปาล์มที่ผ่านการฟอกสี 20 กรัม สเปรย์ผสมด้วยตัวประสาน 5 กรัม
2. นำเส้นใยที่ผสมแล้วไปอัดด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปร้อนที่ความดัน 80 psig อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 นาที แล้วนำชิ้นงานที่อัดแล้วมาวัดความหนาด้วยเวอร์เนียคาลิปเปอร์ และชั่งน้ำหนัก บันทึกผล
3. ทำซ้ำข้อ 1-2 แต่เปลี่ยนปริมาณตัวประสานเป็น 10.77 กรัม และ 20 กรัม ตามลำดับ
4. ทำซ้ำข้อ 3 แต่เปลี่ยนอุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปเป็น 135 และ 150 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 การทดสอบหาค่าความหนาแน่น

การทดสอบหาความหนาแน่นของชิ้นทดสอบสามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและปริมาตร โดยปริมาตรของชิ้นงานสามารถคำนวณได้จากความหนา ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นทดสอบ และทำการชั่งน้ำหนักของชิ้นทดสอบด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล ทศนิยม 4 ตำแหน่งแล้วบันทึกค่า โดยค่าความหนาแน่นที่ได้ นำมาหาค่าเฉลี่ยจาก 3 ชิ้นทดสอบในแต่ละสูตรผสม

### 3.5 การทดสอบสมบัติการซึมน้ำ

การทดสอบการซึมน้ำของชิ้นงานจะตัดชิ้นทดสอบให้ได้ขนาดกว้าง 2.5 เซนติเมตร ยาว 5 เซนติเมตร ทำการชั่งน้ำหนักชิ้นงานก่อนทดสอบ ( $w_0$ ) จากนั้นนำชิ้นงานแช่ในน้ำปราศจากไอออนที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 60 วินาที แล้วนำชิ้นงานมาชั่งน้ำหนักหลังการทดสอบ ( $w_1$ ) ทำการทดสอบ 3 ชิ้นทดสอบในแต่ละสูตรผสม บันทึกน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงของชิ้นทดสอบและคำนวณหาการดูดซึมน้ำจากสมการ

$$\text{Water absorption} = \frac{W_1 - W_0}{W_0} \times 100$$

### 3.6 การทดสอบแรงดึง

เตรียมชิ้นทดสอบเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยตัดแต่งให้มีขนาดประมาณ 125×25.4 มิลลิเมตร ความหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร จากนั้นขีดผิวชิ้นทดสอบที่ผ่านการตัดด้วยกระดาษทรายที่มีค่าความละเอียดระดับต่าง ๆ กันเพื่อลดความเค้นสะสมบนชิ้นทดสอบ ขนาดของชิ้นทดสอบและวิธีการดัดแปลงมาจากมาตรฐาน ASTM D828-97 ซึ่งใช้สำหรับทดสอบสมบัติการดึงของกระดาษและบอร์ดโดยใช้อัตราการยืดตัวที่คงที่ กำหนดระยะห่างระหว่างที่จับยึดชิ้นทดสอบ (Separated grip) เป็น 80 มิลลิเมตร ความเร็วในการดึงชิ้นทดสอบ (Rate of grip separation) เป็น 5 มิลลิเมตรต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง เพื่อหาค่าการต้านทานแรงดึง (Tensile strength) โดยจะหาค่าเฉลี่ยอย่างน้อย 3 ชิ้นทดสอบในแต่ละสูตรผสม



รูปที่ 3.1 การทดสอบแรงดึง

### 3.7 การทดสอบแรงดัดโค้ง

เตรียมชิ้นทดสอบเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดประมาณ 127x12.7 มิลลิเมตร ความหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร ด้วยเครื่องเลื่อยสายพาน จากนั้นขีดผิวชิ้นทดสอบที่ผ่านการตัดด้วยกระดาษทรายที่มีค่าความละเอียดระดับต่าง ๆ กันเพื่อลดความเค้นสะสมบนชิ้นทดสอบ ขนาดของชิ้นทดสอบและวิธีการทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D790-10 ทำการทดสอบแรงดัดโค้งแบบจุดรองรับ 3 จุด (Three-point bending) โดยกำหนดให้ระยะห่างแท่นวางชิ้นทดสอบ (Support span length) เป็น 48 มิลลิเมตร ความเร็วที่ใช้ในการกดขึ้นงาน (Crosshead speed) เป็น 1.3 มิลลิเมตรต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง เพื่อหาค่าการต้านทานแรงดัดโค้ง (Flexural strength) ของชิ้นทดสอบ โดยจะหาค่าเฉลี่ย 3 ชิ้นทดสอบในแต่ละสูตรผสม



รูปที่ 3.2 การทดสอบแรงดัดโค้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.8 การทดสอบการย่อยสลาย

การทดสอบด้วยการฝังดินดัดแปลงวิธีของนายนที ฐานมั่น[13] นำภาชนะจานที่อัดขึ้นรูปจากสถานะที่เหมาะสมที่สุด ฝังดินที่ระดับต่ำกว่าผิวดินประมาณ 10 เซนติเมตร ทำการทดสอบการย่อยสลายในกระถางวาง ดินที่ใช้ในการทดสอบเป็นดินร่วนปนดินเหนียว วางกระถางไว้ที่แปลงเกษตร ของภาควิชาวิศวกรรมเกษตร ในสภาวะแวดล้อมธรรมชาติ สังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงของภาชนะจานทุก 7 วัน ทดลอง 1 ซ้ำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและอภิปรายผล

#### 4.1 ผลการเตรียมตัวประสาน

จากการศึกษาการผลิตตัวประสานจากแป้งมันสำปะหลัง โดยผสมแป้งมันสำปะหลังกับน้ำกลั่น เป็นความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยมีมวล อุณหภูมิที่ใช้ในการผลิตตัวประสาน 80 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิที่ แป้งมันสำปะหลังเกิดเจลลาตินไนเซชัน และให้ความร้อนจนตัวประสานเปลี่ยนจากสีขาวขุ่นเป็นสีใส ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ตัวประสาน (ซ้าย) ก่อนให้ความร้อน (ขวา) หลังให้ความร้อน

#### 4.2 ผลการเตรียมเส้นใยผลปาล์ม

เส้นใยผลปาล์ม เมื่อนำไปอัดขึ้นรูปเป็นภาชนะจาน สีจานที่ได้ยังไม่เหมาะที่จะนำไปใช้งาน ดังนั้น จากการศึกษาการฟอกสีเส้นใยปาล์มโดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จึงฟอกสีเส้นใยได้ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 เส้นใยผลปาล์ม (ซ้าย) ไม่ผ่านการฟอกสี (ขวา) ผ่านการฟอกสี

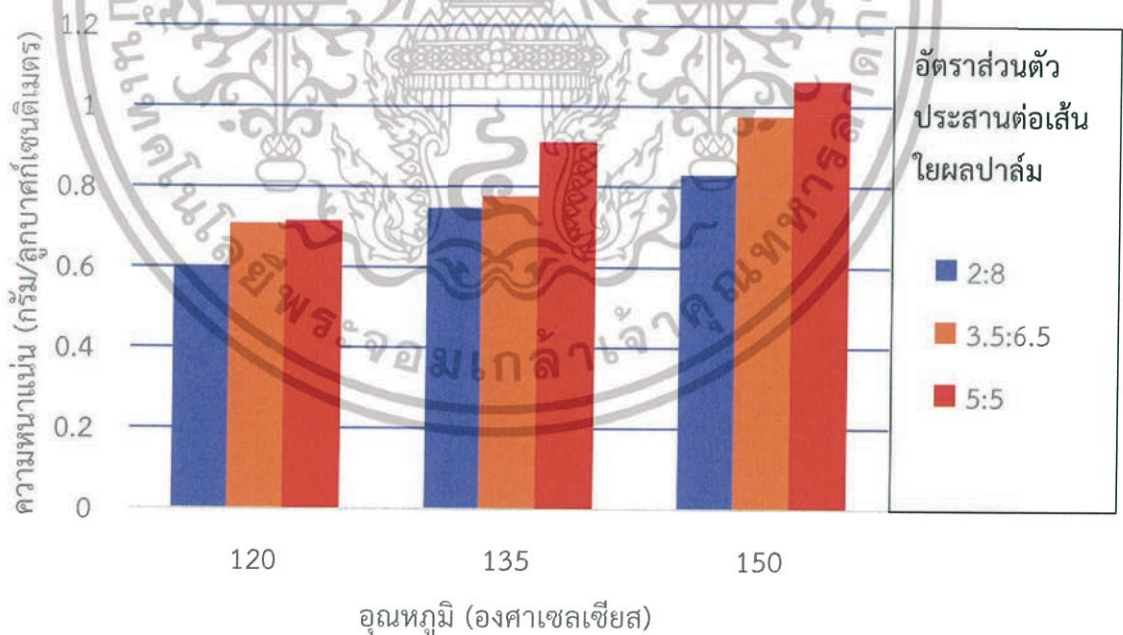
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 เส้นใยผลปาล์มหลังจากอัดขึ้นรูปเป็นภาชนะจาน  
(ซ้าย) จานที่อัดโดยใช้เส้นใยที่ไม่ได้ฟอกสี (ขวา) จานที่อัดโดยใช้เส้นใยที่ฟอกสี

#### 4.3 ผลการทดสอบหาความหนาแน่น

จากการทดสอบหาความหนาแน่นของชิ้นงานที่อัดขึ้นรูปที่สภาวะที่กำหนด โดยกำหนดให้ชิ้นทดสอบมีความกว้าง ความยาว และความหนา เป็น 6 6 และ 3 มิลลิเมตร ตามลำดับ



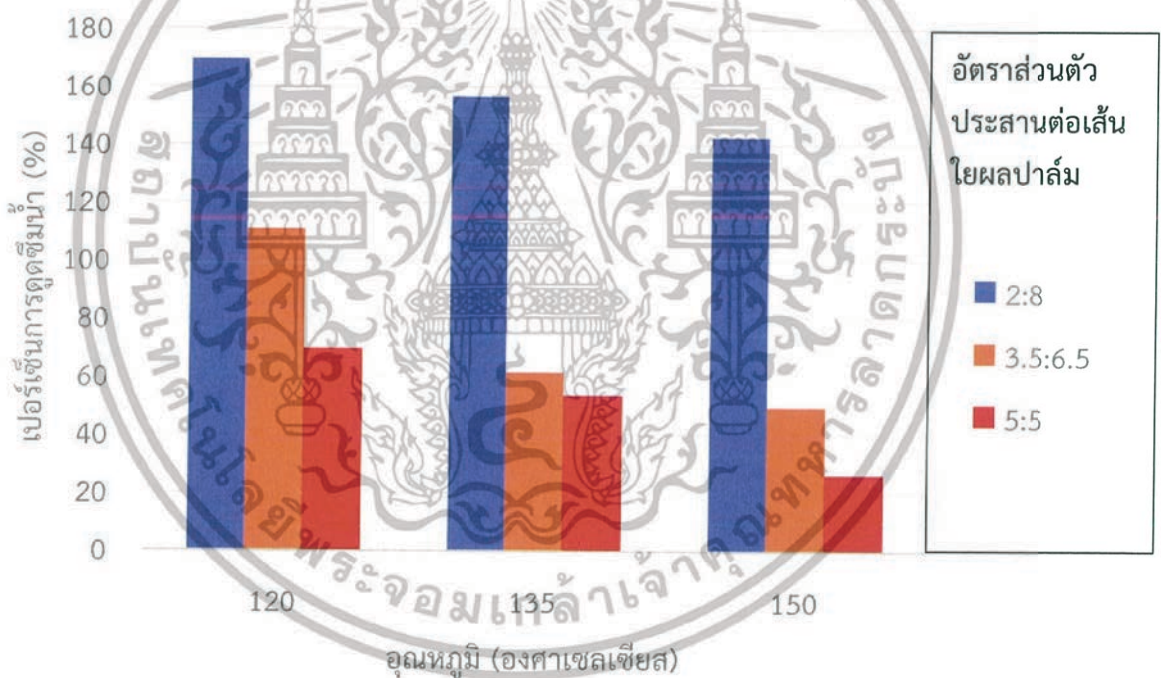
รูปที่ 4.4 ความหนาแน่นของชิ้นงานที่สภาวะในการอัดขึ้นรูปต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.4 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณตัวประสานต่อเส้นใยเพิ่มมากขึ้นทำให้ค่าความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้นอาจเป็นเพราะมีปริมาณของแป้งเข้าไปเติมเต็มในช่องว่างระหว่างเส้นใยมากขึ้น จึงส่งผลให้ความหนาแน่นของชิ้นงานเพิ่มมากขึ้น และเมื่ออุณหภูมิในการอัดเพิ่มมากขึ้นก็จะทำให้ความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเช่นกัน เนื่องจากที่อุณหภูมิสูง น้ำในตัวประสานและเส้นใยจะระเหยออกไปได้มากทำให้ตัวประสานแห้งยึดติดกับเส้นใยดีขึ้น

#### 4.4 ผลการทดสอบสมบัติการซึมน้ำ

สมบัติการซึมน้ำเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของภาชนะใส่อาหาร เนื่องจากอาหารหลายประเภทมีน้ำเป็นองค์ประกอบ เช่น ก๋วยเตี๋ยว ก๋วยจั๊บ เป็นต้น จากการทดสอบนำชิ้นทดสอบจุ่มลงในน้ำปราศจากไอออนเป็นเวลา 10 วินาที ได้ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของชิ้นทดสอบที่อัดขึ้นรูปที่สภาวะต่างๆ

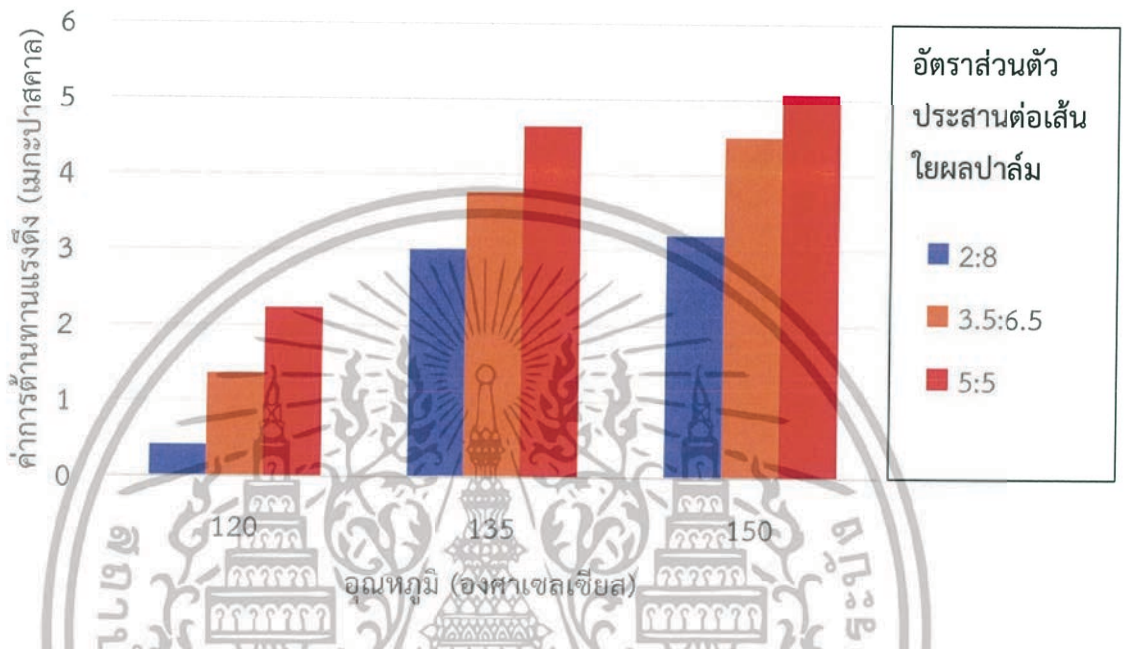


รูปที่ 4.5 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของชิ้นงานที่สภาวะในการอัดขึ้นรูปต่างๆ

จากรูปที่ 4.5 พบว่าเมื่อปริมาณเส้นใยต่อตัวประสานเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ชิ้นงานมีค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเส้นใยผลปาล์มสามารถดูดน้ำเข้าไปในเส้นใยได้ทำให้เมื่อมีปริมาณเส้นใยมากน้ำที่ถูกดูดซึมน้ำก็จะมากเช่นกัน เมื่ออัดที่อุณหภูมิสูงชิ้นงานมีความหนาแน่นสูง น้ำจึงซึมเข้าได้ยาก

#### 4.5 ผลการทดสอบแรงดึง

จากการทดสอบความสามารถในการต้านทานแรงดึงของชิ้นงานที่อัดขึ้นรูปที่สภาวะต่างๆที่กำหนด

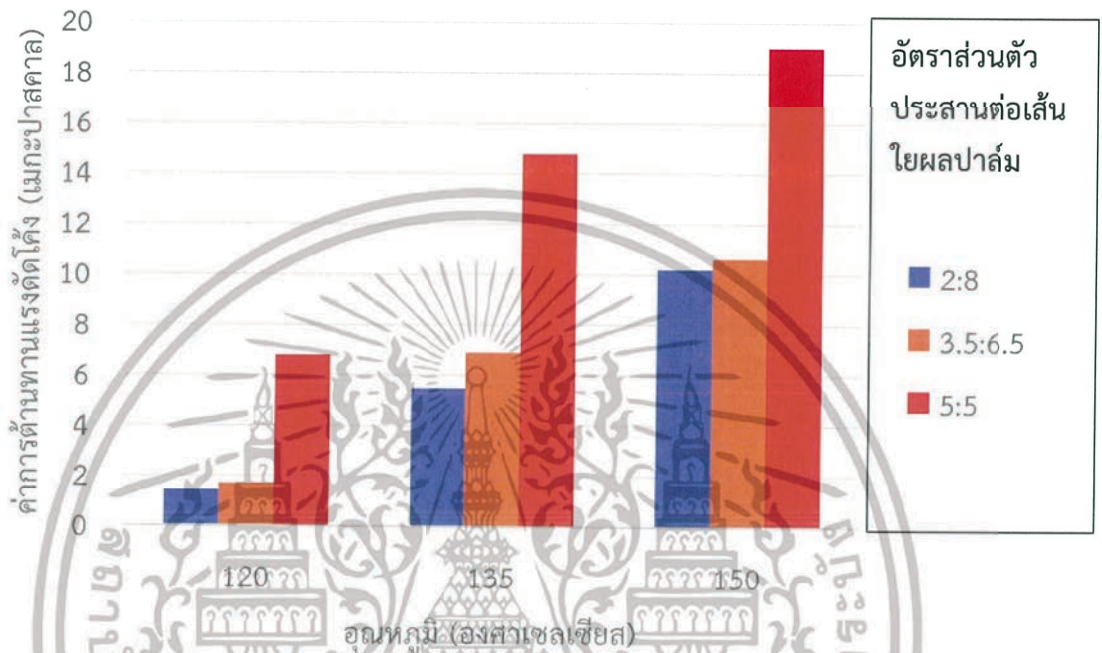


รูปที่ 4.6 ค่าการต้านทานแรงดึงของชิ้นงานที่สภาวะในการอัดขึ้นรูปต่างๆ

จากรูปที่ 4.6 พบว่าเมื่ออัตราส่วนตัวประสานต่อเส้นใยและอนุหภูมิที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ค่าการต้านทานแรงดึงเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน ซึ่งที่อัตราส่วนตัวประสานต่อเส้นใยผลปาล์ม 5ต่อ5 อัดขึ้นรูปที่อนุหภูมิ 150 องศาเซลเซียส สภาวะนี้เส้นใยในชิ้นงานถูกอัดได้คุณสมบัติทางกายภาพที่แน่นและแข็งแรงดีทนต่อแรงดึงได้สูง

#### 4.6 ผลการทดสอบแรงดัดโค้ง

จากการทดสอบความสามารถในการต้านทานแรงดัดโค้งของชิ้นงานที่อัดขึ้นรูปที่สภาวะต่างๆที่กำหนด






รูปที่ 4.7 ค่าการต้านทานแรงดัดโค้งของชิ้นงานที่สภาวะในการอัดขึ้นรูปต่างๆ

จากรูปที่ 4.7 พบว่าเมื่ออัตราส่วนตัวประสานต่อเส้นใยและอุณหภูมิที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ค่าการต้านทานแรงดัดโค้งเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน ซึ่งสภาวะที่ทำให้ภาชนะงานมีค่าการต้านทานแรงดัดโค้งสูงสุด คือ ที่อัตราส่วนตัวประสานต่อเส้นใยผลปาล์ม 5ต่อ5 อัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

#### 4.7 ผลการทดสอบการย่อยสลาย

เมื่อได้สภาวะที่ดีที่สุดในการอัดขึ้นรูปงาน นำไปทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพโดยนำไปฝังในดินลึก 10 เซนติเมตร ในกระถางโดยดินที่ใช้ในการทดสอบเป็นดินร่วนปนเหนียว วางกระถางไว้ที่แปลงเกษตร ของภาควิชาวิศวกรรมเกษตร ในสภาวะแวดล้อมธรรมชาติ โดยภาชนะงานมีการเปลี่ยนแปลง ดังตารางที่ 4.1


ตารางที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงและการย่อยสลายของภาชนะที่อัดขึ้นรูป

วันที่	รูป	การเปลี่ยนแปลง
ก่อนฝังดิน		ยังไม่มี การเปลี่ยนแปลง
หลังฝังดิน 7		ภาชนะงานไม่มีรูปร่างเป็นงาน เส้นใยผลปาล์มหลุดออกจากกัน เป็นแผ่นหลายแผ่น
หลังฝังดิน 14		เส้นใยผลปาล์มหลุดออกจากกัน ไม่เกาะกันเป็นแผ่น แต่ยังมีเกาะกันเป็นกลุ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.8 ผลการศึกษาสัณฐานวิทยา

ตารางที่ 4.2 ภายตัดขวางและภาพผิวหน้าของชิ้นงานที่อัดขึ้นรูปในสภาวะอัตราส่วนส่วนตัวประสานต่อเส้นใย และอุณหภูมิที่ใช้อัดขึ้นรูปต่างๆ

สภาวะการขึ้นรูป	ภาพตัดขวาง	ภาพผิวหน้า
อัตราส่วนส่วนตัวประสานต่อเส้นใย 2:8 อุณหภูมิที่ใช้อัดขึ้นรูป 120 องศา เซลเซียส		
อัตราส่วนส่วนตัวประสานต่อเส้นใย 3.5:6.5 อุณหภูมิที่ใช้อัดขึ้นรูป 120 องศา เซลเซียส		
อัตราส่วนส่วนตัวประสานต่อเส้นใย 5:5 อุณหภูมิที่ใช้อัดขึ้นรูป 120 องศา เซลเซียส		
อัตราส่วนส่วนตัวประสานต่อเส้นใย 2:8 อุณหภูมิที่ใช้อัดขึ้นรูป 135 องศา เซลเซียส		
อัตราส่วนส่วนตัวประสานต่อเส้นใย 3.5:6.5 อุณหภูมิที่ใช้อัดขึ้นรูป 135 องศา เซลเซียส		
อัตราส่วนส่วนตัวประสานต่อเส้นใย 5:5 อุณหภูมิที่ใช้อัดขึ้นรูป 135 องศา เซลเซียส		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<p>อัตราส่วนส่วนตัวประสานต่อเส้นใย 2:8 อุณหภูมิตั้งใช้อัดขึ้นรูป 150 องศา เซลเซียส</p>		
<p>อัตราส่วนส่วนตัวประสานต่อเส้นใย 3.5:6.5 อุณหภูมิตั้งใช้อัดขึ้นรูป 150 องศา เซลเซียส</p>		
<p>อัตราส่วนส่วนตัวประสานต่อเส้นใย 5:5 อุณหภูมิตั้งใช้อัดขึ้นรูป 150 องศา เซลเซียส</p>		

จากผลการตรวจสอบภาพผิวหน้าและภาพตัดขวางของชิ้นงานทุกสภาวะการอัด ด้วยกล้องเลนส์ขยาย 40 เท่า พบว่า ชิ้นงานที่มีอัตราส่วนตัวประสานต่อเส้นใยและอุณหภูมิตั้งใช้อัดขึ้นรูปเพิ่มมากขึ้น ชิ้นงานจะมีผิวหน้าเรียบมากขึ้นไม่เห็นเส้นใยเป็นเส้นแยกออกมาชัดเจน ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบความหนาแน่นของชิ้นงาน และเมื่อสังเกตจากภาพตัดขวางพบว่าชิ้นงานที่มีอัตราส่วนตัวประสานต่อเส้นใยเพิ่มมากขึ้นจะมีรูพรุนภายในชิ้นงานลดลงซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับผลการทดสอบความหนาแน่น โดยชิ้นงานที่มีอัตราส่วนตัวประสานต่อเส้นใยเพิ่มมากขึ้นจะมีปริมาณแ่งเข้าไปแทนที่ช่องว่างระหว่างเส้นใยมากขึ้นทำให้รูพรุนภายในชิ้นงานลดลง และเมื่ออุณหภูมิตั้งใช้อัดขึ้นรูปเพิ่มมากขึ้นน้ำในตัวประสานและในเส้นใยจะระเหยออกไปมากขึ้นทำให้ตัวประสานแห้งยึดติดกับเส้นใยดีขึ้นเป็นสาเหตุให้ความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้น ซึ่งส่งผลให้ค่าการต้านทานแรงดึงและค่าการต้านทานแรงดัดโค้งของชิ้นงานเพิ่มมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

การผลิตภาชนะงานย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากเส้นใยผลปาล์มสามารถทำได้โดยมีองค์ประกอบหลักคือ ตัวประสาน และเส้นใยผลปาล์ม ซึ่งตัวประสานทำจากการนำแป้งมันสำปะหลังผสมน้ำกลั่นแล้วต้มจนน้ำแป้งกลายเป็นของเหลวใส จากนั้นทำการเตรียมเส้นใยด้วยการนำไปต้มในน้ำที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกออกจากเส้นใย แล้วนำไปพอกสีเส้นใยด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ การอัดขึ้นรูปภาชนะทำได้โดยนำเส้นใยกับตัวประสานมาผสมกันแล้วนำไปอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปร้อน จากนั้นนำไปทดสอบหาความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ แร่ดิ่ง แร่ตัดโค้ง จากการทดลองพบว่า สภาวะในการอัดขึ้นรูปภาชนะงานที่ให้ค่าการทดสอบสมบัติต่างๆที่ดีที่สุด คืออัตราส่วนตัวประสานต่อเส้นใยผลปาล์มเป็น 5 ต่อ 5 นำไปอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ความดัน 80 psig เป็นเวลา 10 นาที และจากการทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพ พบว่า ภาชนะงานย่อยสลายได้ทางชีวภาพ งานเส้นใยผลปาล์มมีคุณสมบัติที่สามารถใช้แทนภาชนะโฟมได้ ยกเว้นการดูดซึมน้ำที่มีค่าที่ค่อนข้างสูงไม่เหมาะนำไปใส่อาหารที่มีน้ำ และราคาต่องานที่ทำจากเส้นใยผลปาล์มมีราคาประมาณ 2 บาท

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. เมื่ออัดเป็นภาชนะใส่อาหารได้แล้ว ในขั้นตอนต่อไปควรศึกษาหาวิธีการเคลือบผิวกันน้ำเพื่อทำให้สามารถนำไปใช้กับอาหารที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบได้
2. เมื่อสามารถอัดขึ้นรูปเป็นภาชนะงานได้แล้ว ควรลองอัดขึ้นรูปเป็นภาชนะรูปแบบอื่น เช่น ถ้วยกล่องใส่อาหาร เป็นต้น เพื่อตอบโจทย์การใช้งานหลากหลายรูปแบบ

## เอกสารอ้างอิง

- [1] กระทรวงพลังงาน. “ศักยภาพพลังงานชีวมวลจากปาล์มน้ำมัน: กรณีศึกษาทะลายเปล่า(Empty Fruit Bunch).” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://webkc.dede.go.th/testmax/sites/default/files/ศักยภาพพลังงานชีวมวลจากปาล์มน้ำมัน.pdf>. 2560
- [2] วาริรัตน์ เพชรสีช่วง. “อุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน.” ธนาคารกรุงศรีอยุธยา. 2559
- [3] สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตร เขตที่8. “ประวัติ ความสำคัญ และสถานการณ์ปาล์มน้ำมันของไทย.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.oard8.go.th/information/kpi/palm/%E0%B8%9A%E0%B8%97%E0%B8%97%E0%B8%B5%E0%B9%88%201.pdf>
- [4] พวงเพชร อังวิศิษฐ์. “ปาล์มน้ำมัน...ความหวังใหม่ของเกษตรกรภาคใต้” ธนาคารแห่งประเทศไทย. 2558
- [5] ไทยนตการเกษตร. “โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.thaiyon.com/โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม.html>. 2560
- [6] มยุรี ภาคลำเจียก. “บรรจุภัณฑ์โฟม.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : [http://thaipackaging.blogspot.com/2009/06/blog-post\\_7865.html](http://thaipackaging.blogspot.com/2009/06/blog-post_7865.html)
- [7] พรชนันท์ ช่างคิด. “เปิดข้อมูล 5ปี ปริมาณขยะโฟมเพิ่มขึ้น61ล้านใบ.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก [http://www.tnnthailand.com/v1/news\\_detail.php?id=132980&t=news\\_special](http://www.tnnthailand.com/v1/news_detail.php?id=132980&t=news_special)
- [8] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก. “ประเทศไทยมีปริมาณขยะพลาสติกและโฟมมากถึง 2.7 ล้านตัน ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งของภาวะโลกร้อน.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก [http://www.tgo.or.th/2015/thai/news\\_detail.php?id=641](http://www.tgo.or.th/2015/thai/news_detail.php?id=641)
- [9] วาริรัตน์ เพชรสีช่วง. “พลาสติกชีวภาพ...โอกาสการลงทุนของไทยท่ามกลางความต้องการตลาดโลกที่เติบโตสูงกว่าร้อยละ 50 ต่อปี.” ธนาคารกสิกรไทย. 2557
- [10] “โอกาสและความเป็นไปได้ของการพัฒนาอุตสาหกรรมพลาสติกชีวภาพไทย.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <https://positioningmag.com/44687>
- [11] อีระพงศ์ จันทรมนิม. กระบวนการไร้ของเสียในอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์ม Zero - waste Process in Oil Palm Extraction Industries. วารสารหาดใหญ่วิชาการ ปีที่ 6 ฉบับที่ 2 (กรกฎาคม - ธันวาคม 2551).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [12] มลสุดา ทิวไธสง. การผลิตภาชนะย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากกากบักถ้วย. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2556
- [13] นที ฐานมั่น. การพัฒนาภาชนะย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากลำต้นมันสำปะหลัง. วิทยานิพนธ์ ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2557
- [14] จินตมัย สุวรรณประทีป. การทดสอบสมบัติทางกลของพลาสติก. ส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), สนพ. สมาคม, 2547
- [15] Chang, S.H.. “An overview of empty fruit bunch from oil palm as feedstock for bio-oil production.” *Biomass and Bioenergy*. vol.62. 2014. pp. 174-181



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

## ข้อมูลดิบ

ตารางที่ ก.1 ค่าการทดสอบสมบัติของภาชนะจนวนย่อยสลายได้ทางชีวภาพในสภาวะการอัดขึ้นรูป อัตราส่วนตัวประสานต่อเส้นใย 2ต่อ8 ที่อุณหภูมิ 120 135 และ150 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ครั้งที่	ความหนาแน่น (g/cm <sup>3</sup> )	เปอร์เซ็นต์ การดูดซึมน้ำ (%)	ค่าการต้านทาน แรงดึง (MPa)	ค่าการต้านทาน แรงดัดโค้ง (MPa)
120	1	0.5963	166.99	0.549	2.110
	2	0.5538	200.49	0.301	1.250
	3	0.6539	140.92	0.396	0.950
	เฉลี่ย	0.6013	169.47	0.415	1.437
135	1	0.6543	192.62	3.052	5.510
	2	0.8256	141.63	3.170	5.130
	3	0.7587	135.33	2.801	5.809
	เฉลี่ย	0.7462	156.53	3.008	5.483
150	1	0.7813	164.63	2.623	11.470
	2	0.8637	133.93	3.762	10.010
	3	0.8427	129.15	3.194	9.140
	เฉลี่ย	0.8292	142.57	3.193	10.207

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ค่าการทดสอบสมบัติของภาชนะงานย่อยสลายได้ทางชีวภาพในสภาวะการอัดขึ้นรูป อัตราส่วนตัวประสานต่อเส้นใย 3.5ต่อ6.5 ที่อุณหภูมิ 120 135 และ150 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ครั้งที่	ความหนาแน่น (g/cm <sup>3</sup> )	เปอร์เซ็นต์ การดูดซึมน้ำ (%)	ค่าการต้านทาน แรงดึง (MPa)	ค่าการต้านทาน แรงดัดโค้ง (MPa)
120	1	0.7485	115.98	1.265	1.430
	2	0.6601	108.78	0.905	2.330
	3	0.7133	107.74	1.903	1.320
	เฉลี่ย	0.7073	110.83	1.358	1.693
135	1	0.6368	60.97	3.890	6.410
	2	0.7341	62.51	3.470	6.57
	3	0.9544	60.45	3.920	7.759
	เฉลี่ย	0.7751	61.31	3.760	6.913
150	1	1.0507	45.31	6.106	11.400
	2	0.9759	47.55	4.179	10.340
	3	0.8979	55.34	3.215	10.140
	เฉลี่ย	0.9748	49.40	4.500	10.627

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ค่าการทดสอบสมบัติของภาชนะจนวนย่อยสลายได้ทางชีวภาพในสภาวะการอัดขึ้นรูป อัตราส่วนตัวประสานต่อเส้นใย 5ต่อ5 ที่อุณหภูมิ 120 135 และ150 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ครั้งที่	ความหนาแน่น (g/cm <sup>3</sup> )	เปอร์เซ็นต์ การดูดซึมน้ำ (%)	ค่าการต้านทาน แรงดึง (MPa)	ค่าการต้านทาน แรงดัดโค้ง (MPa)
120	1	0.6946	76.55	2.527	5.980
	2	0.7125	67.14	1.959	7.81
	3	0.7331	65.15	2.202	6.580
	เฉลี่ย	0.7134	69.61	2.229	6.790
135	1	1.0899	50.38	4.890	15.56
	2	0.7899	52.06	4.501	14.590
	3	0.8501	57.56	4.499	13.62
	เฉลี่ย	0.9100	53.33	4.630	14.757
150	1	1.0510	37.47	5.848	22.860
	2	1.0503	21.19	4.334	16.900
	3	1.0835	20.53	5.053	17.290
	เฉลี่ย	1.0616	26.39	5.078	19.017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

## เปรียบเทียบคุณสมบัติของภาชนะโพลีเอสเตอร์กับงานที่ได้จากเส้นใยพาล์ม

ตารางที่ ข.1 สมบัติของภาชนะโพลีเอสเตอร์กับงานที่ได้จากเส้นใยพาล์ม

คุณสมบัติ	โพลีเอสเตอร์ [12]	งานจากเส้นใยพาล์ม
ค่าการต้านทานแรงดัดโค้ง (MPa)	0.075 - 3.17	1.437- 19.017
ค่าการต้านทานแรงดึง (MPa)	0.08 - 0.911	0.42 - 5.08
ความหนาแน่น (g/cm <sup>3</sup> )	0.008 - 1.10	0.60 - 1.06
เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ (%)	0.2 - 9	26.39 - 169.47



## ภาคผนวก ค

## การคำนวณราคาภาชนะงานย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

ตารางที่ ค.1 คำนวณค่าวัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้

วัตถุดิบและสารเคมี	ราคา (บาท/กิโลกรัม)	ปริมาณที่ใช้ต่อภาชนะ 1 ใบ (กิโลกรัม)	จำนวนเงิน (บาท)
เส้นใยผลปาล์ม	2	0.0190	0.04
แป้งมันสำปะหลัง	14	0.0076	0.11
ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	25.91	0.0341	0.88
รวม			1.03

ตารางที่ ค.2 คำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปภาชนะ

อุปกรณ์ไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์)	ระยะเวลาการ ใช้งาน (ชั่วโมง)	ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย การใช้งาน (บาท/หน่วย)	หน่วยการใช้งาน (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	ค่าไฟฟ้า (บาท)
เครื่องอัดขึ้น รูปร้อน	2	0.167	2.7628	0.334	0.92

หมายเหตุ ค่าไฟฟ้าไม่ได้รวมถึงค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการให้ความร้อนตัวประสานและอบเส้นใย

ตารางที่ ค.3 คำนวณค่าน้ำที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปภาชนะ

ประเภทการใช้งาน	ปริมาณน้ำที่ใช้ (ลูกบาศก์เมตร)	ค่าน้ำต่อหน่วยการใช้งาน (บาท/ลูกบาศก์เมตร)	ค่าน้ำ (บาท)
น้ำใช้ผลิตภาชนะ	0.0004	9.5	0.0038
น้ำใช้ล้างเส้นใย	0.0036	9.5	0.0342
รวม			0.038

ราคาในการผลิตงานย่อยสลายได้จากเส้นใยผลปาล์มรวมประมาณ 2 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง  
อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้

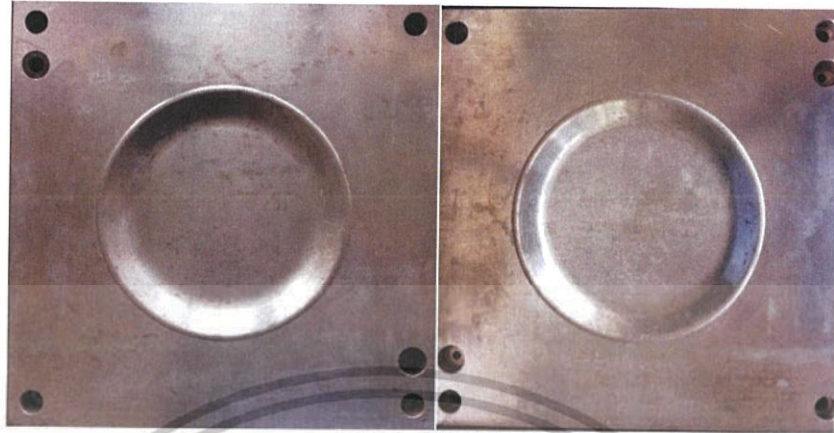


รูปที่ ง.1 เครื่องอัดขึ้นรูปร้อน



รูปที่ ง.2 เครื่องทดสอบเนกประสงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๓.3 แม่พิมพ์ที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปภาชนะ



รูปที่ ๓.4 เส้นใยผลปาล์ม



รูปที่ ๓.5 แป้งมันสำปะหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้