



การผลิตปาติเกิ้ลบอร์ดจากใยปาล์ม โดยใช้กาวลิกนินฟอร์มัลดีไฮด์  
ที่สังเคราะห์จากกะลาปาล์มเป็นตัวประสาน

The production of particleboard from Oil Palm Fiber using  
Lignin Formaldehyde synthesized from Oil Palm Kernel Shell

นางสาวสุชานันท์ สุขศรี

โครงการทางวัสดุศาสตร์เป็นส่วนหนึ่งของหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวัสดุศาสตร์

ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ปีการศึกษา 2564



การผลิตปาติเกิ้ลบอร์ดจากใยปาล์ม โดยใช้กาวลิกนินฟอร์มัลดีไฮด์  
ที่สังเคราะห์จากกะลาปาล์มเป็นตัวประสาน

The production of particleboard from Oil Palm Fiber using  
Lignin Formaldehyde synthesized from Oil Palm Kernel Shell

นางสาวสุชานันท์ สุขศรี

โครงการทางวัสดุศาสตร์เป็นส่วนหนึ่งของหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวัสดุศาสตร์

ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ปีการศึกษา 2564



## กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่องนี้ ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.อักรินทร์ บุญสมบัติ อาจารย์ที่ปรึกษาในงานวิจัยนี้ ในการให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษา ให้ความรู้ และชี้แนะแนวทางในการแก้ปัญหา อีกทั้งช่วยเหลือในการปรับปรุง แก้ไข รวมถึงพัฒนาโครงการวิจัยให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น จนสามารถสำเร็จลุล่วงได้ตามเป้าหมายอย่างสมบูรณ์ ทางผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไตรรัตน์ เนียมสุวรรณ อาจารย์ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่กรุณาให้ความรู้เรื่องเทคโนโลยีการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัด และแผ่นใยไม้อัด ซึ่งครอบคลุมในเรื่องของวัตถุดิบ การเตรียมวัตถุดิบ รวมถึงปฏิบัติการต่างๆ เกี่ยวกับกระบวนการผลิตขึ้นไม้อัด พร้อมทั้งให้คำแนะนำ และแนวคิดที่เป็นประโยชน์ในการทำวิจัย ซึ่งผู้วิจัยสามารถนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ได้ในงานวิจัยเรื่องนี้ จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ บริษัท สุขสมบูรณ์น้ำมันพืช จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์กะลาปาล์ม และเส้นใยปาล์ม เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบหลัก และสารตั้งต้นสำหรับงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่คอยให้คำแนะนำ คำติชม พร้อมทั้งข้อเสนอแนะ รวมถึงแนวทางในการทำวิจัย ซึ่งผู้วิจัยสามารถนำคำแนะนำ คำติชม และความรู้ที่ได้ไปปรับปรุง แก้ไข ประยุกต์ใช้ในงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณนิสิตชั้นปีที่ 4 และนิสิตระดับปริญญาโท ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ ทำให้โครงการวิจัยเรื่องนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยจึงขอขอบคุณเป็นอย่างสูง

## บทคัดย่อ

ต้นปาล์มเป็นพืชเศรษฐกิจที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย เช่น น้ำมันปาล์มทั้งในอุตสาหกรรมและครัวเรือน การแปรรูปน้ำมันปาล์มทำให้เกิดผลพลอยได้ ได้แก่ ใบปาล์ม ลำต้นปาล์ม พวงผลปาล์ม เปล่า เส้นใยปาล์ม และกะลาปาล์ม ชีวมวลเหล่านี้ทำให้เกิด PM2.5 เมื่อถูกเผาเป็นเชื้อเพลิง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแผ่นไม้อัดที่ทำจากเส้นใยปาล์มเป็นสารตัวเติม และลิกนินที่สกัดจากกะลาปาล์ม เป็นกาวยสังเคราะห์ด้วยฟอร์มัลดีไฮด์ คือ กาวลิกนินฟอร์มัลดีไฮด์ ผสมเส้นใยและกาวให้เข้ากัน ตามด้วยการกดร้อนที่อุณหภูมิ 180 °C แรงดัน 4 MPa เป็นเวลา 2 นาที, 2 MPa เวลา 2 นาที และ 1 MPa เป็นเวลา 2 นาทีในการกดร้อน แผ่นไม้อัดที่ผลิตได้ผ่านการทดสอบตามมาตรฐาน มอก. 876-2547 (ความต้านทานแรงดัด โมดูลัสความยืดหยุ่น ความหนาแน่น ปริมาณความชื้น การพองตัวตามความหนา) ผลการวิจัยพบว่าสัดส่วนที่เหมาะสมของลิกนินฟอร์มัลดีไฮด์ คือการแทนที่ฟีนอล 25% โดยลิกนินจากกะลาปาล์ม เนื่องจากมีคุณสมบัติทางกลสูงสุดด้วย MOR 20.31 MPa และ MOE 2,436 MPa ซึ่งผ่านมาตรฐาน มอก. 876-2547 อาจเป็นเพราะลิกนินที่สกัดจากกะลาปาล์ม ประกอบด้วย ไฮดรอกซิลอิสระมากกว่าฟีนอล งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าชีวมวลจากอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน เส้นใยปาล์มน้ำมัน และกะลาปาล์ม สามารถนำมาใช้ผลิตแผ่นไม้อัดที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมได้

**คำสำคัญ :** กะลาปาล์ม, ปาติเกิลบอร์ด, ฟอร์มัลดีไฮด์, ลิกนิน, เส้นใยปาล์ม

## Abstract

Palm trees are economic crops that are widely utilized in Thailand as palm oil in both industry and households. The processing of palm oil generates by-products including palm leaves, palm trunk, palm empty fruit bunch, palm fiber, and palm kernel shells. These biomass cause PM 2.5 when they were burnt as fuel. This research aims to develop particleboard made from palm fibers as a filler and lignin extracted from palm kernel shells as an adhesive synthesized with formaldehyde, namely lignin formaldehyde. The fiber and adhesive were evenly mixed, followed by the hot press at the temperature of 180 °C, the pressure of 4 MPa for 2 minutes, 2 MPa for 2 minutes and 1 MPa for 2 minutes pressing time. The produced particleboards are tested according to TIS 876-2547 standard (Modulus of rupture, Modulus of elasticity, density, moisture content, thickness swelling). The result show that the optimized proportion of Lignin formaldehyde 25% phenol replacement by lignin from kernel shell. Since the highest mechanical properties, with an MOR 20.31 MPa and MOE 2,436 MPa, which passed the TIS 876-2547 standard. This may be due to the extracted lignin from kernel shell composed of free hydroxyl more than phenol. This research shows that biomass from the oil palm industry, oil palm fiber, and kernel shell can be used to produce eco-friendly particleboard.

**Keyword :** Formaldehyde, Lignin, Oil palm kernel shell, Oil palm mesocarp fiber, Particleboard

## สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อ.....	ข
Abstract .....	ค
สารบัญ .....	ง
สารบัญรูป.....	ฉ
สารบัญตาราง .....	ญ
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย/ปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	3
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และการทบทวนวรรณกรรม.....</b>	<b>4</b>
2.1 วัสดุลิกโนเซลลูโลส (Lignocellulosic biomass).....	4
2.1.1 ลิกโนเซลลูโลส (Lignocellulose).....	4
2.1.2 เซลลูโลส (Cellulose) .....	5
2.1.3 เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose).....	5
2.1.4 ลิกนิน (Lignin).....	6
2.1.4.1 หมู่ฟังก์ชันลิกนิน .....	7

2.2 อิทธิพลของเทคนิคการสกัดลิกนินต่อประเภทลิกนิน.....	7
2.3 การสกัดลิกนิน .....	8
2.3.1 เทคนิคการสกัดด้วยวิธีคราฟท์ (Kraft lignin).....	8
2.3.2 เทคนิคการสกัดด้วยวิธีลิกโนซัลโฟเนต (Lignosulfonate lignin).....	8
2.3.3 เทคนิคการสกัดลิกนินด้วยด่าง (Alkali lignin) .....	9
2.3.4 เทคนิคการลิกนินด้วยออร์แกโนโซลฟ (Organosolv lignin) .....	9
2.3.5 เทคนิคการสกัดลิกนินด้วยของเหลวไอออนิก (Ionic liquid lignin) .....	9
2.4 ต้นปาล์มน้ำมัน .....	10
2.5 สารประกอบฟีนอล (Phenol).....	12
2.6 ฟอรัลดีไฮด์ (Formaldehyde).....	12
2.7 กาวฟีนอลฟอรัลดีไฮด์ (Phenol formaldehyde).....	13
2.8 การแทนที่ฟีนอลด้วยลิกนิน .....	14
2.9 ปาติเคิลบอร์ด (Particleboard).....	15
2.10 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม แผ่นไม้อัดชนิดราบ (มอก.876-2547).....	17
การทบทวนวรรณกรรม .....	18
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย .....</b>	<b>22</b>
3.1 อุปกรณ์ เครื่องมือ และสารเคมีที่ใช้ .....	22
3.1.1 วัสดุดิบ .....	22
3.1.2 สารเคมีที่ใช้.....	22
3.1.3 อุปกรณ์ .....	22
3.1.4 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	23

3.2 การสกัดลิกนิน .....	24
3.3 การวิเคราะห์หาปริมาณลิกนินด้วยเทคนิค UV-Vis Spectroscopy .....	24
3.3.1 การสร้างกราฟมาตรฐานลิกนิน .....	25
3.3.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารลิกนินที่สกัดจากกะลาปาล์ม .....	25
3.4 การสังเคราะห์กาวลิกนินฟอร์มัลดีไฮด์ .....	26
3.5 การขึ้นรูปแม่แบบแผ่นปาติเกลือบอร์ด .....	27
3.6 การวัดขนาดปาติเกลือบอร์ด .....	29
3.7 การวัดความหนาแน่นของปาติเกลือบอร์ด .....	30
3.8 การวัดปริมาณความชื้นของปาติเกลือบอร์ด .....	30
3.9 การวัดการพองตัวตามความหนา .....	31
3.10 การวัดความต้านทานแรงดัด และมอดูลัสยืดหยุ่น .....	31
3.11 การวิเคราะห์หาค่าประกอบทางเคมีด้วย FT-IR .....	31
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล .....</b>	<b>32</b>
4.1 การสกัดลิกนินจากกะลาปาล์ม .....	32
4.1.1 Crude Lignin Yield .....	32
4.1.2 การสร้างกราฟมาตรฐานลิกนิน .....	32
4.1.3 Lignin Yield .....	33
4.1.4 ผลการตรวจสอบเอกลักษณ์ของลิกนิน ด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด สเปกโทรสโกปี (Fourier transform infrared spectrometer: FT-IR) .....	34
4.2 การสังเคราะห์กาวลิกนินฟอร์มัลดีไฮด์ .....	36
4.2.1 ค่า pH ของกาว .....	36
4.2.2 ค่าความหนาแน่นของกาว .....	36

4.3 การขึ้นรูปปาติเกลือบอร์ด .....	37
4.3.1 สมบัติทางกลของปาติเกลือบอร์ด.....	37
4.3.1.1 ความต้านทานแรงตัด (Modulus of Rupture : MOR).....	37
4.3.1.2 โมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity : MOE).....	37
4.3.2 สมบัติทางกายภาพของปาติเกลือบอร์ด.....	38
4.3.2.1 ความหนาแน่นของปาติเกลือบอร์ด (Density).....	38
4.3.2.2 ปริมาณความชื้นของปาติเกลือบอร์ด (Moisture Content).....	39
4.3.2.3 การพองตัวตามความหนาของปาติเกลือบอร์ด (Thickness swelling) .....	40
4.3.3 สรุปผล : ปาติเกลือบอร์ดจากใยปาล์มโดยใช้กาวลิกนินฟอร์มัลดีไฮด์ที่สกัดจากกะลาปาล์ม ...	40
4.4 การเปรียบเทียบระหว่างลิกนินจากกะลาปาล์มและลิกนินเชิงพาณิชย์.....	41
4.4.1 ค่า pH ของกาว.....	41
4.4.2 ค่าความหนาแน่นของกาว .....	41
4.4.3 สมบัติทางกลของปาติเกลือบอร์ด.....	42
4.4.3.1 ความต้านทานแรงตัด (Modulus of Rupture : MOR).....	42
4.4.3.2 โมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity : MOE).....	42
4.4.4 สมบัติทางกายภาพของปาติเกลือบอร์ด.....	43
4.4.4.1 ความหนาแน่นของปาติเกลือบอร์ด.....	43
4.4.4.2 ปริมาณความชื้นของปาติเกลือบอร์ด (Moisture Content).....	44
4.4.4.3 การพองตัวตามความหนาของปาติเกลือบอร์ด (Thickness Swelling) .....	45
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....</b>	<b>46</b>
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	46
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	46
บรรณานุกรม .....	47

ภาคผนวก ก ตารางข้อมูลการทดลองอื่นๆ.....	53
ภาคผนวก ข รูปการทดลองอื่นๆ.....	61
ประวัติผู้วิจัย .....	69

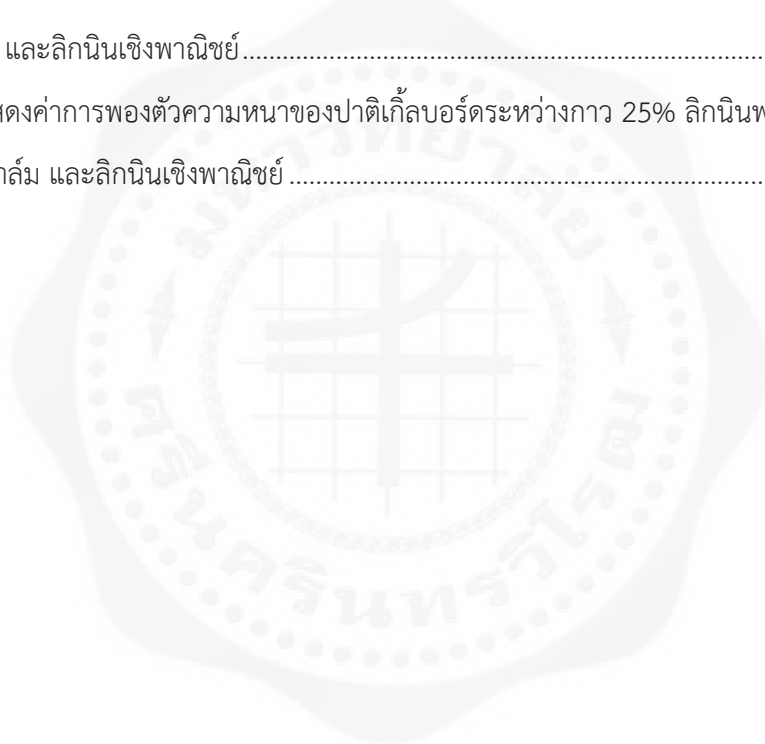


## สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1 โครงสร้างของลิกโนเซลลูโลส .....	๓
รูปที่ 2 โครงสร้างของเซลลูโลส .....	5
รูปที่ 3 โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส (ซ้าย) และองค์ประกอบในเฮมิเซลลูโลส (ขวา).....	5
รูปที่ 4 โครงสร้างของลิกนิน และหน่วยย่อยของลิกนิน .....	6
รูปที่ 5 ปาล์มน้ำมัน .....	10
รูปที่ 6 โครงสร้างของฟีนอล .....	12
รูปที่ 7 โครงสร้างพอร์มัลดีไฮด์.....	12
รูปที่ 8 กาวฟีนอลพอร์มัลดีไฮด์.....	13
รูปที่ 9 การทำปฏิกิริยาของฟีนอลและพอร์มัลดีไฮด์ ในรูปแบบของ โนโวแลคและรีโซล .....	13
รูปที่ 10 กลไกการแทนที่ฟีนอลด้วยลิกนิน .....	14
รูปที่ 11 แสดงขั้นตอนการสกัดลิกนิน .....	24
รูปที่ 12 เครื่อง UV-Vis Spectroscopy .....	25
รูปที่ 13 แสดงการสังเคราะห์กาวลิกนินพอร์มัลดีไฮด์.....	26
รูปที่ 14 กาวลิกนินพอร์มัลดีไฮด์ในการแทนที่ที่อัตราส่วนต่างๆ.....	27
รูปที่ 15 เครื่องอัดปาติเกลีบอร์ด .....	28
รูปที่ 16 ปาติเกลีบอร์ดจากใยปาล์มที่ใช้กาวลิกนินพอร์มัลดีไฮด์ ที่สัดส่วนต่างๆเป็นตัวประสาน .....	28
รูปที่ 17 แสดงตำแหน่งที่วัดความกว้าง และความยาว และความหนาของชิ้นงาน.....	29
รูปที่ 18 แสดงวิธีการวัดความกว้าง ความยาว.....	29
รูปที่ 19 แสดงกราฟมาตรฐานลิกนิน .....	33
รูปที่ 20 แสดงผล FTIR ของกะลาปาล์ม ลิกนินจากกะลาปาล์ม และอัลคาไลลิกนินเชิงพาณิชย์ .....	34
รูปที่ 21 แสดงค่าความต้านทานแรงดัดของปาติเกลีบอร์ด .....	37
รูปที่ 22 แสดงค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของปาติเกลีบอร์ด.....	37
รูปที่ 23 แสดงค่าความหนาแน่นของปาติเกลีบอร์ด.....	38
รูปที่ 24 แสดงค่าปริมาณความชื้นของปาติเกลีบอร์ด.....	39

รูปที่ 25 แสดงค่าการpongตัวตามความหนาของปาดิเกิ้ลบอร์ด .....	40
รูปที่ 26 แสดงค่าความต้านทานแรงดัดระหว่างกาว 25% ลิกนินฟอร์มัลดีไฮด์ ที่สกัดจากกะลาปาล์ม และลิกนินเชิงพาณิชย์.....	42
รูปที่ 27 แสดงค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นระหว่างกาว 25% ลิกนินฟอร์มัลดีไฮด์ ที่สกัดจากกะลาปาล์ม และลิกนินเชิงพาณิชย์ .....	42
รูปที่ 28 แสดงค่าความหนาแน่นของปาดิเกิ้ลบอร์ดระหว่างกาว 25% ลิกนินฟอร์มัลดีไฮด์ ที่สกัดจากกะลาปาล์ม และลิกนินเชิงพาณิชย์.....	43
รูปที่ 29 แสดงค่าปริมาณความชื้นของปาดิเกิ้ลบอร์ดระหว่างกาว 25% ลิกนินฟอร์มัลดีไฮด์ ที่สกัดจากกะลาปาล์ม และลิกนินเชิงพาณิชย์.....	44
รูปที่ 30 แสดงค่าการpongตัวความหนาของปาดิเกิ้ลบอร์ดระหว่างกาว 25% ลิกนินฟอร์มัลดีไฮด์ ที่สกัดจากกะลาปาล์ม และลิกนินเชิงพาณิชย์ .....	45



## สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของปาล์มน้ำมัน .....	11
ตารางที่ 2 แสดงคุณลักษณะที่ต้องการตามมาตรฐาน .....	17
ตารางที่ 3 สัดส่วนสารละลายที่ใช้ในการสร้างกราฟมาตรฐาน .....	25
ตารางที่ 4 แสดงสัดส่วนของการแทนที่ฟินอลในกาวลิกนินฟอร์มัลดีไฮด์ .....	27
ตารางที่ 5 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานลิกนิน .....	32
ตารางที่ 6 ปริมาณลิกนินที่สกัดจากกะลาปาล์ม .....	33
ตารางที่ 7 แสดงช่วงดูดกลืนตามหมู่ฟังก์ชันหลักของลิกนิน .....	35
ตารางที่ 8 แสดงค่า pH ของกาวลิกนินฟอร์มัลดีไฮด์ .....	36
ตารางที่ 9 แสดงค่าความหนาแน่นของกาวลิกนินฟอร์มัลดีไฮด์ .....	36
ตารางที่ 10 แสดงค่า pH ของกาวลิกนินฟอร์มัลดีไฮด์ระหว่างลิกนินจากกะลาปาล์มและลิกนินเชิง พาณิชย์ .....	41
ตารางที่ 11 แสดงความหนาแน่นของกาวลิกนินฟอร์มัลดีไฮด์ระหว่างลิกนินจากกะลาปาล์มและลิกนินเชิง พาณิชย์ .....	41

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย/ปัญหา

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่สำคัญแห่งหนึ่งของโลก ทำให้มีวัสดุเหลือใช้ทางเกษตรเป็นจำนวนมาก และการนำมาใช้ประโยชน์อย่างมีประสิทธิภาพยังไม่มากเท่าที่ควร วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมักถูกทิ้งโดยเปล่าประโยชน์ หรือทำลายโดยการเผาทิ้ง ซึ่งการเผาเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศที่เป็นก๊าซเรือนกระจก ส่งผลต่อภาวะโลกร้อนตามมา ซึ่งเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมระดับโลกในปัจจุบัน [1] รวมถึงปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM 2.5) มาจากการเผาชีวมวลทางการเกษตร [2-6] ซึ่งเป็นประเด็นที่ทั่วโลกต่างให้ความสำคัญ จากผลสำรวจจากสำนักเศรษฐกิจการเกษตรคาดการณ์ว่า ในปี พ.ศ.2564 ปาล์มน้ำมันให้ผลผลิตในประเทศไทยรวม 16,368,642 ตัน โดยมากกว่า ปี พ.ศ. 2563 ถึง 712,006 ตัน และมีปริมาณผลผลิต ในภาพรวมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยปัจจุบัน ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันทั่วประเทศมากกว่า 6 ล้านไร่ [7] การเพิ่มขึ้นของผลผลิตปาล์มน้ำมัน ทำให้ชีวมวลจากปาล์มเพิ่มขึ้นด้วย ชีวมวลจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม 1 ตัน จะสร้างทะเลลายปาล์มน้ำมันเปล่า (OPEFB) 23% หรือ 230 กิโลกรัม กะลา 6.5% หรือ 65 กิโลกรัม กากตะกอนน้ำมัน 4% หรือ 40 กิโลกรัม เส้นใย 13% หรือ 130 กิโลกรัม และขยะเหลว 50% หรือ 500 กิโลกรัม [8] ซึ่งผู้วิจัยสนใจนำชีวมวลจากปาล์มน้ำมัน ส่วนของกะลาปาล์ม และใยปาล์มมาใช้ประโยชน์ เนื่องจาก กะลาปาล์ม มีสัดส่วนของลิกนินสูง ซึ่งสามารถสกัดนำสารประกอบลิกนิน มาเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์กาวฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ได้ และใยปาล์มมีสัดส่วนของเซลลูโลสสูง เหมาะกับการนำมาใช้ทดแทนเศษไม้ หรือขี้เลื่อยที่นำมาใช้ผลิตไม้ปาติเกิ้ลบอร์ด กะลาปาล์ม (oil palm kernel shell) เป็นส่วนที่อยู่ระหว่างเส้นใยปาล์มที่ติดเปลือกด้านนอกสุดกับเนื้อปาล์มที่อยู่ด้านในสุดได้รับความนิยมนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวล ทดแทนเชื้อเพลิงหลัก [9] และใยปาล์มหรือเส้นใยเปลือกผลปาล์ม (oil palm fiber) เป็นเปลือกนอกของผลปาล์มที่หีบน้ำมันออกแล้ว [9]

ในบรรดาวัสดุทดแทนไม้ ปาติเกิ้ลบอร์ดเป็นวัสดุที่ได้รับความนิยม และมีการใช้อย่างแพร่หลายในประเทศไทย เนื่องจากมีความทนทานแข็งแรง และเหมาะสมในการใช้งานภายในอาคารมากกว่านำมาใช้

งานภายนอกอาคาร ได้แก่ การนำมาทำแผ่นฝ้าเพดาน ทำผนังกันห้อง และทำเฟอร์นิเจอร์ต่างๆ [1] จากงานวิจัย ได้มีการคาดคะเน อัตราความต้องการแผ่นปาติเกลือบอร์ด ในปี พ.ศ.2560 พบว่ามีความต้องการแผ่นปาติเกลือบอร์ด 1.93 ล้านลูกบาศก์เมตร จึงเห็นได้ว่าอัตราความต้องการยังมีสูง ซึ่งสวนทางกับวัตถุดิบที่สามารถใช้ในปัจจุบัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องแสวงหาแหล่งวัตถุดิบใหม่มาสนับสนุน และเสริมต่อให้เพียงพอต่อความต้องการในอนาคต และเพื่อเป็นการแก้ปัญหาการนำเข้าไม้จากต่างประเทศ โดยประเทศไทยเองยังมีความต้องการใช้ไม้ปาติเกล็ด เพื่อนำไปผลิตแผ่นเฟอร์นิเจอร์หรือผลิตชิ้นส่วนประกอบอาคาร อาทิเช่น ผนัง ฝ้าและฝ้าเพดาน ฯลฯ[10] ปาติเกลือบอร์ดผลิตจากวัสดุไม้ลิกโนเซลลูโลสติกในรูปแบบของอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่อง ร่วมกับเรซินสังเคราะห์ และยึดติดกันด้วยความร้อนและการกดทับด้วยความร้อน [11] โดยการใช้กาวในอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ไม้ ส่วนใหญ่จะใช้กาวฟอร์มัลดีไฮด์ ซึ่งกาวสังเคราะห์นี้ จะมีข้อเสียคือ สารฟอร์มัลดีไฮด์ที่ระเหยออกมา จะเป็นอันตรายแก่ผู้ใช้เฟอร์นิเจอร์ โดยสารฟอร์มัลดีไฮด์จะก่อให้เกิดโรคเกี่ยวกับทางเดินหายใจ [12] ดังนั้นการศึกษาและพัฒนาการใช้สำหรับงานไม้ได้มีงานวิจัยจำนวนมากที่มุ่งพัฒนาสูตรกาว โดยการนำสารธรรมชาติมาใช้หรือการใช้สารอื่นมาทดแทนการใช้ฟีนอลและฟอร์มัลดีไฮด์ [13] ซึ่งผู้วิจัยสนใจที่จะนำชีวมวลจากปาล์ม น้ำมันมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตปาติเกลือบอร์ด เพื่อช่วยลดชีวมวลจากปาล์ม ช่วยลดอันตรายจากการใช้ฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ สามารถนำมาทดแทนไม้ และลดการใช้ไม้ในประเทศได้

ผู้วิจัยจึงต้องการศึกษาการขึ้นรูปปาติเกลือบอร์ดจากใยปาล์ม และสกัดลิกนินจากกะลาปาล์ม เพื่อใช้สังเคราะห์กาวฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ โดยศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของร้อยละของปริมาณลิกนินที่ใช้แทนที่ฟีนอล ที่เหมาะกับการใช้เป็นตัวประสานในการผลิตปาติเกลือบอร์ดจากใยปาล์มและเปรียบเทียบความแข็งแรงของปาติเกล็ดที่ผลิตด้วยกาวฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์และกาวฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ที่มีการใช้ลิกนินแทนที่ฟีนอล

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อสังเคราะห์กาวฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ที่ใช้ลิกนินแทนที่การใช้สารประกอบฟีนอล
2. เพื่อเป็นการนำชีวมวลจากอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันมาใช้ประโยชน์ในผลิตปาติเกลบอร์ด คือ ไยปาล์ม และกะลาปาล์ม
3. เพื่อเปรียบเทียบความแข็งแรงของปาติเกลที่ผลิตด้วยกาวฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์และกาวฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ที่มีการใช้ลิกนินแทนที่ฟีนอล

## 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. สารยึดติดที่ต้องการศึกษา คือ ลิกนินที่ใช้ในการสังเคราะห์กาวฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ได้มาจากการสกัดกะลาปาล์ม และลิกนินเชิงพาณิชย์
2. ชีวมวลทางการเกษตรที่ใช้ในการขึ้นรูปปาติเกลบอร์ด คือ ไยปาล์ม
3. พารามิเตอร์ที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการศึกษา ได้แก่
  - การทดสอบสมบัติทางกล คือ modulus of rupture, modulus of elasticity
  - การทดสอบสมบัติทางกายภาพ คือ ความหนาแน่น, thickness swelling

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้องค์ความรู้ในการสร้างแผ่นปาติเกลบอร์ดจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร
2. ทราบถึงความเป็นไปได้ในการผลิตแผ่นปาติเกลบอร์ดจากไยปาล์ม
3. ศึกษาการสังเคราะห์และสกัดลิกนินจากกะลาปาล์ม รวมถึงเปรียบเทียบกับการใช้ลิกนินเชิงพาณิชย์

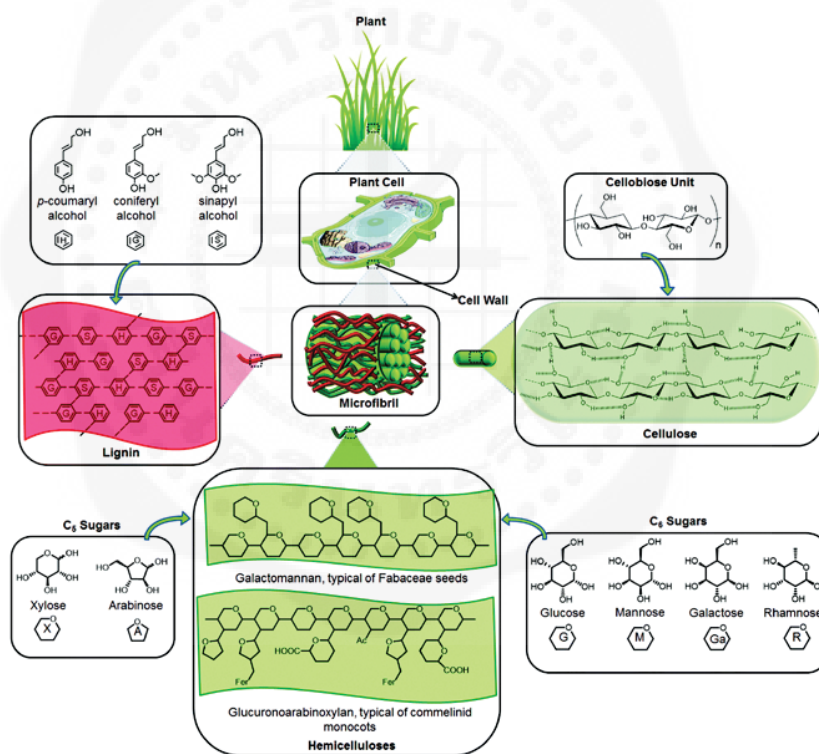
## บทที่ 2

# ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และการทบทวนวรรณกรรม

## 2.1 วัสดุลิกโนเซลลูโลส (Lignocellulosic biomass)

### 2.1.1 ลิกโนเซลลูโลส (Lignocellulose)

หมายถึง ชีวมวลอินทรีย์ที่ประกอบด้วย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน พบมากในผนังเซลล์พืช ได้แก่ เศษวัสดุเหลือทิ้งจากไม้ทั้งไม้เนื้ออ่อนและไม้เนื้อแข็ง [14]

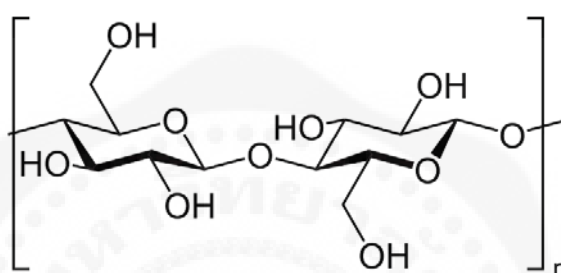


รูปที่ 1 โครงสร้างของลิกโนเซลลูโลส

ภาพจาก : H. V. Scheller and P. Ulvskov, Annu. Rev. Plant Biol., 2010, 61, 263–289

### 2.1.2 เซลลูโลส (Cellulose)

เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่โครงสร้างผลึก ประกอบด้วย น้ำตาลกลูโคส พบในผนังเซลล์พืชทุกชนิด เป็นโครงสร้างหลักสำหรับพืช ช่วยให้ผนังเซลล์พืชแข็งแรง เซลลูโลสประกอบด้วยหน่วยย่อยของกลูโคส เชื่อมกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก ที่ตำแหน่ง  $\beta$ -1,4 จับกันเป็นสายโซ่ตรงยาวไม่มีกิ่งก้าน มีน้ำหนักโมเลกุลสูง รวมถึงความเป็นโครงสร้างผลึกของเซลลูโลส จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้เซลลูโลสละลายน้ำได้ยาก ไม่ดูดซับน้ำ [15]

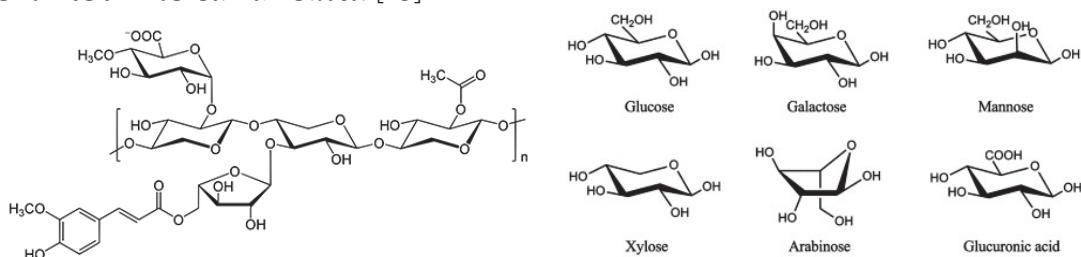


รูปที่ 2 โครงสร้างของเซลลูโลส

ภาพจาก : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/07/Cellulose\\_Sessel.svg/1200px-Cellulose\\_Sessel.svg.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/07/Cellulose_Sessel.svg/1200px-Cellulose_Sessel.svg.png)

### 2.1.3 เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)

เป็นพอลิแซคคาไรด์ (Polysaccharide) ที่ประกอบด้วยน้ำตาลหลายชนิด ได้แก่ น้ำตาลเพนโทส (Pentose) เช่น น้ำตาลไซโลส (Xylose) เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ ที่ตำแหน่ง  $\beta$ -1,4 เป็นโซ่หลัก อาจมีน้ำตาลแมนโนส (Mannose) กาแล็กโทส (Galactose) หรือกลูโคส (Glucose) มาต่อกันเป็นโซ่หลัก และมีน้ำตาลอื่น มาต่อกันเป็นโซ่แขนง ได้แก่ น้ำตาลอะราบินโนส (Arabinose) มีโครงสร้างแบบสุ่มและอสัณฐาน มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่าเซลลูโลส มีความแข็งแรงน้อย สามารถย่อยสลายได้ง่ายด้วยกรดเจือจางหรือเบส และเอนไซม์ [15]

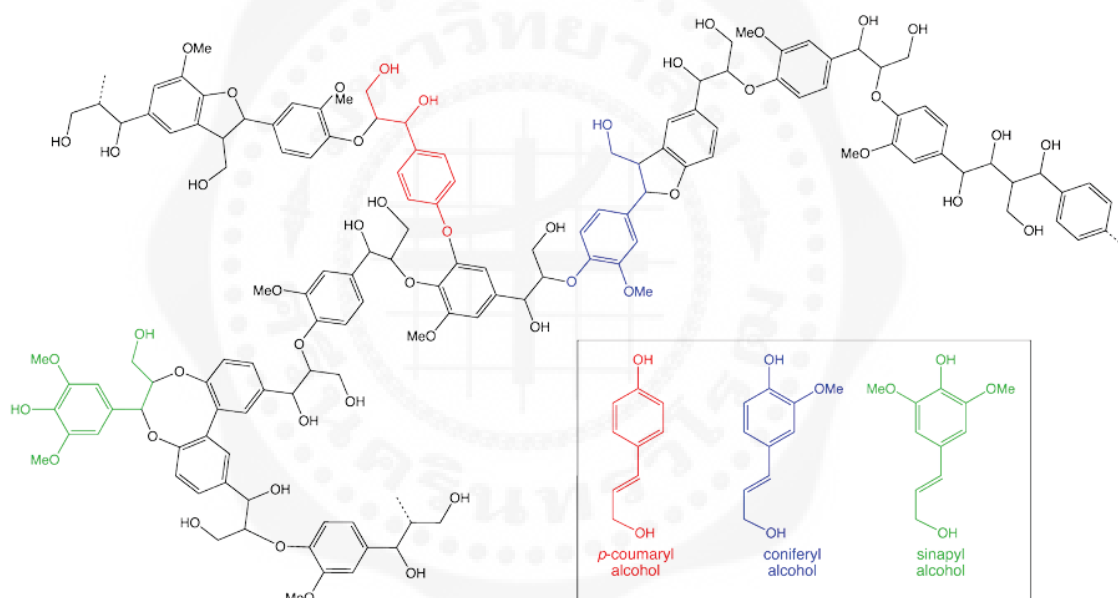


รูปที่ 3 โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส (ซ้าย) และองค์ประกอบในเฮมิเซลลูโลส (ขวา)

ภาพจาก : <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-444-53878-9.00009-6>

### 2.1.4 ลิกนิน (Lignin)

เป็นพอลิเมอร์ที่ไม่มีรูปผลึก ไม่ชอบน้ำ เป็นสารประกอบฟีนอลิก (Phenolic compound) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง [16] มักพบในผนังเซลล์พืช ทำให้พืช มีความแข็งแรง โดยลิกนินจะมีโครงสร้างใหญ่ ซึ่งเกิดจากองค์ประกอบหลักที่แตกต่างกัน 3 แบบ เรียกว่า มอนอลิกนอล (Monolignols) หรือเรียกว่า ฟีนิลโพรเพน (Phenylpropane, C<sub>6</sub>-C<sub>3</sub> units) ซึ่งหน่วยโครงสร้างนี้ จะเป็นวงอะโรมาติก แอลกอฮอล์ ชื่อว่า Sinapyl alcohol (Syringyl, S) p-Coumaryl alcohol (4-Hydroxyl phenyl, H) และ Coniferyl alcohol (Guaiacyl, G) [21] ซึ่งทั้ง 3 แบบจะเชื่อมต่อกันด้วยพันธะเอสเทอร์ (Ester) มากกว่าสองพันธะ รวมถึงมีพันธะเดี่ยวระหว่างอะตอมคาร์บอนเชื่อมระหว่างโมเลกุลของสารประกอบภายใน ทำให้ลิกนินมีความเสถียรสูง สามารถย่อยสลายลิกนินได้ โดยใช้กรดและเบส [15]



รูปที่ 4 โครงสร้างของลิกนิน และหน่วยย่อยของลิกนิน

ภาพจาก : <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lignin.png>

#### 2.1.4.1 หมู่ฟังก์ชันลิกนิน

องค์ประกอบและปริมาณมอนอเมอร์ทั้ง 3 ชนิดของลิกนิน ทั้ง Sinapyl alcohol : S, p-Coumaryl alcohol : H และ Coniferyl alcohol : G จะขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและสายพันธุ์พืช โดยส่วนใหญ่ S และ G เป็นมอนอเมอร์หลักในพืช โดยมี S ประมาณ 35-52 % , มี G ประมาณ 25-38% และที่เหลือเป็น H นอกจากนี้พบว่าลิกนิน จัดเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพที่มีส่วนประกอบย่อยที่หลากหลายมาก ทั้งเมทอกซี (O-CH<sub>3</sub>) คาร์บอกซิลิก (COOH) ฟีนอลิก (Ar-OH) และอลิฟาติกไฮดรอกซิล (-OH) รวมถึงหมู่ฟังก์ชันคาร์บอนิล (C=O) [15]

## 2.2 อิทธิพลของเทคนิคการสกัดลิกนินต่อประเภทลิกนิน

จากโครงสร้างทางเคมี องค์ประกอบ และคุณสมบัติต่างๆของลิกนินที่มีความแตกต่างกัน ส่วนใหญ่มาจากทางธรรมชาติ สภาพแวดล้อม การเติบโต รวมถึงสายพันธุ์ของพืช แต่มีความเป็นไปได้ว่ามีปัจจัยอื่นส่งผลให้ลิกนินเกิดความแตกต่างกัน อย่างที่เห็นได้ชัด คือ เทคนิคในการสกัดลิกนินทั้งเทคนิคทางเคมี ทางกายภาพ และทางชีวภาพ

การสกัดลิกนินด้วยเทคนิคที่ต่างกัน นอกจากจะส่งผลต่อโครงสร้างทางเคมีของลิกนินแล้ว พบว่าทำให้เกิดลิกนิน 2 ประเภทหลัก คือ ลิกนินที่มีกำมะถัน ซึ่งมักได้มาจากกระบวนการสกัดลิกนินด้วยเทคนิคลิโนซัลโฟเนต และคราฟท์ และลิกนินที่ไม่มีกำมะถัน มักได้มาจากกระบวนการสกัดด้วยเทคนิคการใช้ด่างและออร์แกโนโซลฟ [15]

## 2.3 การสกัดลิกนิน

เนื่องจากลิกนินมีคุณสมบัติที่ไม่ละลายน้ำ แต่สามารถละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์บางชนิด จึงทำให้เกิดเทคนิคในการสกัดลิกนินที่แตกต่างกัน ซึ่งการสกัดลิกนินที่แตกต่างกัน จะทำให้ได้ลิกนินที่มีลักษณะที่ต่างกัน [15] ดังนี้

### 2.3.1 เทคนิคการสกัดด้วยวิธีคราฟท์ (Kraft lignin)

สกัดได้จากกระบวนการต้มด้วยซัลเฟต โดยมีการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมซัลไฟด์เป็นตัวทำละลายในการสกัดลิกนิน ซึ่งน้ำหนักโมเลกุลของคราฟท์ลิกนินที่ได้จะมีความแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัด คราฟท์ลิกนินจะมีความแตกต่างจากลิกนินชนิดอื่น คือ จะมีหมู่ฟีนอลิกไฮดรอกซิลมาก เนื่องจากการแตกตัวของหมู่เบต้าเอซิลคราฟท์ลิกนินที่ได้จากการสกัดจะถูกนำมาใช้ในการผลิต ผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร จำพวกปุ๋ย และยาฆ่าแมลง [15]

### 2.3.2 เทคนิคการสกัดด้วยวิธีลิกโนซัลโฟเนต (Lignosulfonate lignin)

คือ แอนไอออนิกโพลีอิเล็กโทรไลต์ที่ละลายน้ำได้ ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการต้มด้วยซัลไฟต์ ของกระบวนการสกัดลิกนินจากไม้ด้วยกรดซัลฟูริกและไบซัลไฟต์ไอออน โดยการผลิตและลิกโนซัลโฟเนตลิกนิน เป็นกระบวนการที่มีปริมาณการผลิตที่ค่อนข้างใหญ่ เป็นกระบวนการเชิงพาณิชย์ โดยมีลักษณะโครงสร้างที่หลากหลาย คือ มีหมู่ฟีนอลิกไฮดรอกซิล หมู่คาร์บอกซิลิก และหมู่ซัลเฟต อีกทั้งยังมีคุณสมบัติที่สามารถละลายน้ำได้ มีน้ำหนักโมเลกุลค่อนข้างสูง และมีปริมาณแถ้าค่อนข้างมาก ซึ่งโครงสร้างและคุณสมบัติเหล่านี้มีผลต่อการนำไปใช้งานที่หลากหลาย เช่น สารลดแรงตึงผิว กาว ไม้อัด สารผสมในซีเมนต์ เป็นต้น [15]

### 2.3.3 เทคนิคการสกัดลิกนินด้วยด่าง (Alkali lignin)

ลิกนินที่สกัดโดยใช้ด่าง ต่างจากคราฟท์ลิกนินตรงที่ไม่มีกระบวนการต้มด้วยซัลเฟต ซึ่งอัลคาไลลิกนินที่ได้ มักนำไปใช้ในการทำอาหารสัตว์ สารช่วยกระจายตัว และทำฟีนอลิกเรซิน เป็นต้น โดยจะต้องเป็นลิกนินที่มีความบริสุทธิ์สูง รวมถึงยังสามารถนำไปสังเคราะห์พอลิเมอร์ รวมถึงสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำได้ ซึ่งอัลคาไลลิกนินเป็นลิกนินที่ปราศจากซัลเฟอร์ มีองค์ประกอบทางเคมีคล้าย และใกล้เคียงกับลิกนินธรรมชาติ เมื่อเปรียบเทียบกับคราฟท์ลิกนิน และลิกโนซัลโฟเนตลิกนิน [15]

### 2.3.4 เทคนิคการลิกนินด้วยออร์แกโนโซลฟ (Organosolv lignin)

เกิดจากการนำตัวทำละลายอินทรีย์มาใช้เป็นสารละลายในการสกัดลิกนิน ซึ่งตัวทำละลายที่นิยมใช้มากที่สุด คือ กรดแอสติค กรดฟอร์มิก และเอทานอล โดยบางส่วนของออร์แกโนโซลฟลิกนิน ได้มาจากกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษในเชิงพาณิชย์ รวมถึงยังสามารถนำมาใช้งาน เช่นเดียวกับคราฟท์และอัลคาไลลิกนินได้ โดยจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างจากเทคนิคการสกัดลิกนินอื่นๆ คือ มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ มีความบริสุทธิ์สูง [15]

### 2.3.5 เทคนิคการสกัดลิกนินด้วยของเหลวไอออนิก (Ionic liquid lignin)

วิธีการนี้ จัดว่าของเหลวไอออนิก เป็นสารละลายที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยตัวทำละลาย ประกอบไปด้วย เกลืออินทรีย์ และสกัดที่อุณหภูมิค่อนข้างต่ำ และใช้ได้กับไม้ที่เป็นทั้งไม้เนื้ออ่อนและไม้เนื้อแข็ง ซึ่งของเหลวอินทรีย์ หรือไอออนิกลิควิดจากสารชีวมวล กำลังเป็นที่สนใจเกี่ยวกับการนำมาใช้ประโยชน์มากขึ้น โดยพบว่าของเหลวอินทรีย์สามารถแยกลิกนินออกจากลิกโนเซลลูโลสได้ อีกทั้งยังพบว่ามีคุณสมบัติคล้ายกับออร์แกโนโซลฟลิกนิน รวมถึงสามารถนำมาใช้งานได้เช่นเดียวกับอัลคาไลลิกนิน และออร์แกโนโซลฟลิกนิน [15]

## 2.4 ต้นปาล์มน้ำมัน



รูปที่ 5 ปาล์มน้ำมัน

ภาพจาก : [https://www.thespruce.com/thmb/ZnXg4MyOm6VKUNRSFLzydreiov0=/1500x1500/smart/filters:no\\_upscale\(\)/GettyImages-681903825-2a0c19cb155749449e42d8fc8f066dc2.jpg](https://www.thespruce.com/thmb/ZnXg4MyOm6VKUNRSFLzydreiov0=/1500x1500/smart/filters:no_upscale()/GettyImages-681903825-2a0c19cb155749449e42d8fc8f066dc2.jpg)

ปาล์มน้ำมัน (*Elaeis guineensis* Jacq., Palm, *Arecaceae*) เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว ที่มีลำต้นกลมสูง สามารถให้ผลได้ทั้งปี มีอายุการเก็บเกี่ยวได้ 20-25 ปี มีดอกเพศผู้และตัวเมียอยู่ในต้นเดียวกัน แต่มีช่วงเวลาในการออกดอกไม่พร้อมกัน การติดผลของปาล์มน้ำมันจึงต้องอาศัยการผสมเกสรตัวผู้จากต้นอื่น โดยส่วนประกอบของต้นปาล์มน้ำมัน [15] ได้แก่

2.4.1 ราก เป็นระบบรากฝอย โดยรากอ่อนจะงอกออกจากเมล็ดอันดับแรก เมื่อต้นกล้าอายุได้ประมาณ 2-4 เดือน รากอ่อนจะหยุดการเจริญเติบโต และกลายเป็นระบบรากจริง

2.4.2 ลำต้น มีลำต้นตั้งตรง มียอดเดี่ยวรูปกรวย ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 – 12 เซนติเมตร สูง 2.5 - 4 เซนติเมตร ประกอบด้วยใบอ่อนและเนื้อเยื่อเจริญ โดยทั่วไป ลำต้นมีความสูงเพิ่มขึ้นประมาณ 35 – 60 เซนติเมตรต่อปี ขึ้นกับสภาพแวดล้อมและพันธุกรรม

2.4.3 ใบ เป็นใบประกอบรูปขนนก (pinnate) แต่ละใบแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือส่วนแกนกลางที่มีใบย่อยอยู่ 2 ข้าง และส่วนก้านทางใบ ซึ่งมีขนาดสั้นกว่าส่วนแรกและมี หนามสั้นๆ อยู่ 2 ข้างแต่ละทางมีใบย่อย 100 – 160 คู่ แต่ละใบย่อยยาว 100 – 120 เซนติเมตร กว้าง 4 – 6 เซนติเมตร

2.4.4 ดอก ปาล์มน้ำมัน เป็นพืชผสมข้าม มีดอกเพศเมียและดอกเพศผู้แยกช่อดอกภายในต้นเดียวกัน(monoecious)

2.4.5 ทะลายปาล์มน้ำมัน ประกอบด้วย ก้านทะลาย ช่อทะลายย่อย และผล ใน แต่ละทะลายมีปริมาณผลร้อยละ 45 -70 เมื่อสุกแก่เต็มที่มีน้ำหนักประมาณ 1 – 60 กิโลกรัม ขึ้นอยู่ กับอายุของปาล์มน้ำมันและปัจจัยสิ่งแวดล้อม

2.4.6 ผล ไม่มีก้านผล (sessile drup) รูปร่างมีหลายแบบ ตั้งแต่รูปรียาว แผลมจนถึงรูปไข่หรือรูปยาวรี ประกอบด้วยผิวเปลือกนอก (exocarp) ชั้นเปลือกนอก (mesocarp) เป็นเนื้อเยื่อเส้นใยสีส้มแดงเมื่อสุกและมีน้ำมันอยู่ในชั้นนี้ โดยเส้นใยปาล์ม (Palm fiber) เป็นผลพลอยได้จากส่วน Pericarp ของผลปาล์มภายหลังการอบและการบีบ หรือ สกัดเอาน้ำมันออกไปแล้ว ซึ่งคิดเป็น 12-13 เปอร์เซ็นต์ของปาล์มทั้งหมด ในจำนวนนี้มีปริมาณสูงถึง 70 เปอร์เซ็นต์ที่ถูกทิ้งให้เป็นของเสีย [17]

2.4.7 เมล็ด มีลักษณะแข็ง ประกอบด้วย กะลา (endocarp) และ เนื้อใน ซึ่งเจริญมาจากไข่ 1 – 3 ใบ ขนาดของเมล็ดขึ้นอยู่กับความหนาของกะลา และขนาดของเนื้อใน ประกอบด้วยอาหารต้นอ่อน (endosperm) หรือเนื้อใน โดยกะลาปาล์ม (Palm kernel shell) เป็นส่วนประกอบหนึ่งของผลปาล์ม โดยจะอยู่ระหว่างเส้นใยปาล์มที่ติดเปลือกด้านนอกสุดกับเนื้อปาล์มที่อยู่ด้านในสุด ลักษณะทั่วไปมีสีน้ำตาล เนื้อแข็ง ในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันปาล์ม เมื่อเกิดกระบวนการสกัดเอาน้ำมันปาล์มออกแล้วจะเหลือกะลาปาล์ม ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล (Biomass) ที่ให้ค่าความร้อนสูง [9]

- องค์ประกอบทางเคมีของปาล์มน้ำมัน

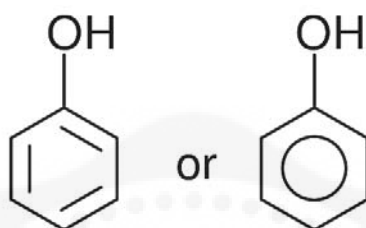
ตารางที่ 1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของปาล์มน้ำมัน

ส่วนประกอบของปาล์มน้ำมัน	Cellulose	Hemicellulose	Lignin	Ash and extractive
Mesocarp fiber	33.9	26.1	27.7	10.4
Palm kernel shell	20.8	22.7	50.7	5.8

ที่มา : Norfadhilah H. et al. Sustainability 2019, 11, 1060; doi:10.3390/su11041060 [18]

## 2.5 สารประกอบฟีนอล (Phenol)

เป็นสารประกอบอินทรีย์ ที่มีหมู่ไฮดรอกซิลติดกับหมู่เบนซีน หรือวงอะโรมาติก มีสูตรโมเลกุล  $C_6H_5OH$  เป็นผลึกของแข็งที่ระเหยง่าย โมเลกุลนี้เกิดจากกลุ่มฟีนอล ( $-C_6H_5$ ) พันธะกับกลุ่มไฮดรอกซี ( $-OH$ ) ฟีนอลเป็นกรดอ่อนและต้องใช้ความระมัดระวังเนื่องจากเป็นสารพิษที่มีฤทธิ์กัดกร่อนและเป็นสารไวไฟ [19]

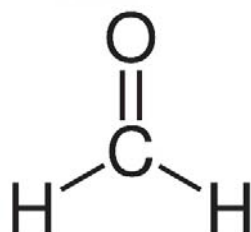


รูปที่ 6 โครงสร้างของฟีนอล

ภาพจาก : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/c/c2/Phenol\\_chemical\\_structure.svg/1280px-Phenol\\_chemical\\_structure.svg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/c/c2/Phenol_chemical_structure.svg/1280px-Phenol_chemical_structure.svg)

## 2.6 ฟอรัลดีไฮด์ (Formaldehyde)

เป็นสารประกอบอินทรีย์ กลุ่มอัลดีไฮด์ มีสูตรเคมี คือ  $CH_2O$  หรือ  $HCHO$  ฟอรัลดีไฮด์ที่ความดันปกติจะมีสถานะเป็นก๊าซ ไม่มีสี มีกลิ่นฉุน ติดไฟได้ ก๊าซฟอรัลดีไฮด์เมื่อรวมตัวกับอากาศ และออกซิเจนสามารถเกิดการระเบิดได้ มีคุณสมบัติในการฆ่าเชื้อ [20]



รูปที่ 7 โครงสร้างฟอรัลดีไฮด์

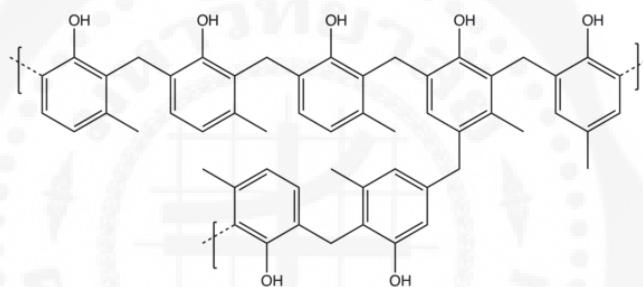
ภาพจาก : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/0c/Structural\\_formula\\_of\\_formaldehyde.svg/1101px-Structural\\_formula\\_of\\_formaldehyde.svg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/0c/Structural_formula_of_formaldehyde.svg/1101px-Structural_formula_of_formaldehyde.svg)

## 2.7 กาวฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ (Phenol formaldehyde)

กาวฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์ เกิดขึ้นจากการที่ฟีนอลโมโนเมอร์ทำปฏิกิริยาควบแน่นกับฟอร์มัลดีไฮด์ ในตำแหน่งออร์โธ หรือ พารา ของวงแหวนเบนซิน และใช้กรดซัลฟิวริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อปรับความเป็นกรด-ด่าง กาวเรซินชนิดนี้จึงแข็งตัวเมื่อได้รับความร้อน แบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่

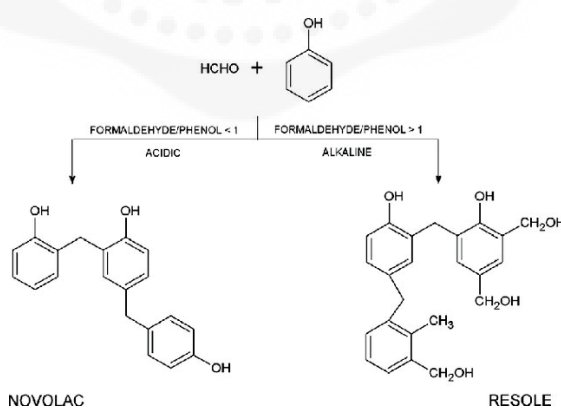
2.7.1 รีโซล (Resole) การสังเคราะห์รีโซลจากปฏิกิริยาระหว่างฟอร์มัลดีไฮด์กับฟีนอลในสารละลายเบส โดยมีสัดส่วนฟอร์มัลดีไฮด์สูง กว่าฟีนอล (ประมาณ 1.5-2:1)

2.7.2 โนวอลแลค (Novolac) การสังเคราะห์โนวอลแลคจากปฏิกิริยาระหว่างฟอร์มัลดีไฮด์กับฟีนอลในสารละลายกรด โดยมีสัดส่วนฟีนอลสูงกว่าฟอร์มัลดีไฮด์ (ประมาณ 1:0.8) [21]



รูปที่ 8 กาวฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์

ภาพจาก : <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/e/e1/NovolakCresol.png/580px-NovolakCresol.png>

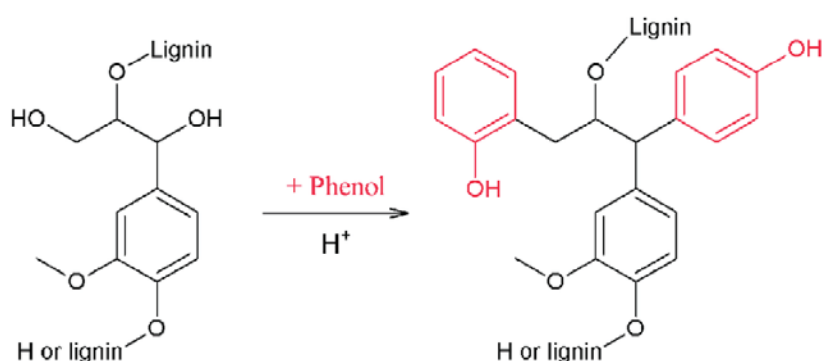


รูปที่ 9 การทำปฏิกิริยาของฟีนอลและฟอร์มัลดีไฮด์

ในรูปแบบของ โนวอลแลคและรีโซล

ภาพจาก : Artur J. et al. October 2018 DOI: 10.5772/intechopen.74822

## 2.8 การแทนที่ฟีนอลด้วยลิกนิน



รูปที่ 10 กลไกการแทนที่ฟีนอลด้วยลิกนิน

ภาพจาก : [https://www.mdpi.com/polymers/polymers-13-](https://www.mdpi.com/polymers/polymers-13-03502/article_deploy/html/images/polymers-13-03502-g001b.png)

[03502/article\\_deploy/html/images/polymers-13-03502-g001b.png](https://www.mdpi.com/polymers/polymers-13-03502/article_deploy/html/images/polymers-13-03502-g001b.png)

สารประกอบฟีนอล เป็นสารตั้งต้นในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ซึ่งสกัดมาจากถ่านหิน และนำมาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ทางปิโตรเคมี รวมถึงนำมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตกาวฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ แนวทางในการใช้วัตถุดิบแทนฟีนอล คือ หาว์ตฤติบที่มีโครงสร้างทางเคมีใกล้เคียงกับฟีนอล โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ลิกนิน ที่เป็นสารประกอบฟีนอลิก เป็นอะโรมาติก รวมถึงเป็นพอลิเมอร์ที่ไม่ชอบน้ำ มีโมเลกุลขนาดใหญ่ ลิกนินมีศักยภาพมากพอที่จะแทนที่ฟีนอล เนื่องจาก มีหน่วยย่อย คือ Sinapyl alcohol, p-Coumaryl alcohol และ Coniferyl alcohol [22-23]

## 2.9 ปาติเกิลบอร์ด (Particleboard)

ผลิตจากการนำชิ้นไม้ หรือวัสดุลิกโนเซลลูโลสถูกย่อยให้มีขนาดต่างๆ รวมกันเป็นแผ่น โดยมีกาวยสังเคราะห์เป็นตัวประสานเชื่อมให้ติดกันภายใต้ความร้อนและแรงดัน ซึ่งสามารถจำแนกชนิดของแผ่นไม้อัด โดยมีการแบ่งตามหลักเกณฑ์ต่างๆ ดังนี้ [24-25]

### 2.9.1 แบ่งตามลักษณะของชิ้นไม้

เป็นการนำลักษณะของชิ้นไม้ที่ใช้ในการผลิตเป็นหลักในการเรียกชื่อแผ่นชิ้นไม้อัด

2.9.1.1 ชิป (Chip) หมายถึง ชิ้นไม้ขนาดสม่ำเสมอ ซึ่งได้จากการตัดด้วยใบมีดที่มีลักษณะคล้ายการสับด้วยขวานในเครื่องสับไม้

2.9.1.2 เกล็ด (Flake) หมายถึง ชิ้นไม้ผลิตขึ้นเป็นพิเศษ มีลักษณะบาง เรียบ และมีเส้นลายไม้ขนานกับผิวของชิ้นไม้ ชิ้นไม้ชนิดนี้ได้จากการตัดของใบมีดไปในทิศทางขนานกับเส้นลายไม้ แต่ทำมุมกับกับแกนของเส้นใยไม้

2.9.1.3 เกล็ดใหญ่ (Wafer) หมายถึง ชิ้นไม้ที่ลักษณะเช่นเดียวกับเกล็ด แต่มีความกว้างและความหนามากกว่า

2.9.1.4 ชีบกบ (Planer shaving) หมายถึง ชิ้นไม้ที่มีรูปร่างเป็นแผ่นขนาดเล็ก มีความหนาไม่เท่ากัน คือ หนาที่ปลายด้านหนึ่ง ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งจะบาง และมีลักษณะเป็นแฉกขนนก และมักจะโค้งงอด้วย ซึ่งได้จากการไสไม้ด้วยเครื่องไสไม้ชนิดหัวตัดหมุน

2.9.1.5 แถบ (Strand) หมายถึง ชิ้นไม้ที่มีลักษณะเช่นเดียวกับเกล็ด แต่มีความยาวมากเมื่อเทียบกับความกว้าง และมีความหนาสม่ำเสมอตลอดความยาวของแถบ

2.9.1.6 แท่ง (Splinter) หมายถึง ชิ้นไม้ที่มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยม เมื่อดูมองทางหน้าตัด และมีความยาวตามแนวเส้น ไม่น้อยกว่า 4 เท่าของความหนา

2.9.1.7 เม็ด (Granule) หมายถึง ชิ้นไม้ที่มีลักษณะคล้ายขี้เลื่อย ซึ่งมีความกว้าง ความยาว และความหนาเกือบเท่ากัน

## 2.9.2 แบ่งตามกระบวนการอัดขึ้นรูป

แบ่งออกเป็น 2 ประเภท

2.9.2.1 ปาติเก็ลบอร์ดที่อัดในทิศทางตั้งฉากกับแผ่น หรือแผ่นขึ้นไม้อัดชนิดราบ (Flat-Platen pressed Particleboard) หมายถึง แผ่นขึ้นไม้อัดที่ได้จากการอัดในเครื่องอัดร้อนที่มีแผ่นอัดขนานกัน ซึ่งมักเป็นเครื่องอัดร้อนที่มีแผ่นโลหะสำหรับอัดหลายแผ่น ข้อสำคัญ ทิศทางของแรงอัดต้องตั้งฉากกับแผ่นราบของแผ่นขึ้นไม้อัด [24]

2.9.2.2 ปาติเก็ลบอร์ดที่อัดในทิศทางขนานกับพื้นราบของแผ่น หรือแผ่นขึ้นไม้อัดชนิดกระทุ้ง (Extruded Particleboard) หมายถึง แผ่นขึ้นไม้อัดที่ใช้กาวเป็นตัวประสาน ซึ่งผลิตโดยวิธีที่ทำให้กาวในขึ้นไม้แข็งตัวในขณะที่ทำการอัดขึ้นไม้ผ่านแบบ หรืออัดในทิศทางขนานกับพื้นราบของแผ่นและเป็นทิศทางตามความยาวของแผ่นขึ้นไม้อัดนั้น [24]

## 2.9.3 แบ่งตามการใช้ประโยชน์

2.9.3.1 แผ่นขึ้นไม้อัดสำหรับทำไม้สี่ หมายถึง แผ่นขึ้นไม้อัดชนิดที่ต้องใช้ไม้บาง กระดาษ พลาสติก หรือวัสดุอื่นทาหน้าก่อนจะนำไปใช้งาน เรียกว่า คอรับอร์ด [24]

2.9.3.2 ปาติเก็ลบอร์ดสำหรับใช้งานภายนอกอาคาร (Exterior Particleboard) มีสมบัติทนต่อสภาวะแวดล้อมสูง

2.9.3.3 ปาติเก็ลบอร์ดสำหรับใช้งานภายในอาคาร (Interior Particleboard) มีสมบัติทนต่อสภาวะแวดล้อมปานกลาง

2.9.3.4 ปาติเก็ลบอร์ดสำหรับใช้ปูรองพื้น (Particleboard floor underlayment) เป็นแผ่นขึ้นไม้อัดที่ผลิต หรือนำไปขัดจนมีความหนาสม่ำเสมอ สำหรับใช้เป็นวัสดุรองพื้น เพื่อให้สามารถใช้วัสดุอื่นปูพื้นได้ระดับและเรียบสม่ำเสมอ [24]

2.9.3.5 ปาติเก็ลบอร์ดสำหรับเก็บเสียง (Acoustical Particleboard) เป็นแผ่นขึ้นไม้อัดประเภทใช้ภายในอาคาร ซึ่งได้ทำการฉลุหรือเจาะรูเป็นแบบต่างๆ สำหรับใช้กรุเพดานและผนัง เพื่อลดการสะท้อนเสียงในห้องลง [24]

## 2.10 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม แผ่นไม้อัดชนิดราบ (มอก.876-2547)

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มีดังนี้

2.10.1 แผ่นขึ้นไม้อัดชนิดอัดราบ (flat pressed (FP) particleboards) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่เป็นแผ่น ทำจากชิ้นไม้ หรือวัสดุลิกโนเซลลูโลส (lignocellulosic material) อัดในเครื่องอัด ร้อนให้ยึดติดกันด้วยกาว ให้ทิศทางของแรงอัดตั้งฉากกับระนาบของแผ่น การทำอาจทำเป็นแผ่นๆหรือทำ ต่อเนื่อง มีความหนาแน่นอยู่ในช่วง  $400 \text{ kg/m}^3$  ถึง  $900 \text{ kg/m}^3$

2.10.2 แผ่นไม้อัดชั้นเดียว หมายถึง แผ่นไม้อัดที่ทำจากชิ้นไม้ที่มีลักษณะและขนาด เหมือนกัน มีส่วนผสมของกาวและสารเติมแต่ง [25]

2.10.3 คุณลักษณะที่ต้องการ ที่เกณฑ์ความหนา 3-6 มิลลิเมตร

ตารางที่ 2 แสดงคุณลักษณะที่ต้องการตามมาตรฐาน

ลำดับที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด
1	ความหนาแน่น ( $\text{mg/m}^3$ )	400-900
2	ปริมาณความชื้น (%)	4-13
3	การพองตัวตามความหนา (%)	12
4	ความต้านทานแรงดัด (MPa)	15
5	มอดุลัสยืดหยุ่น (MPa)	1950
6	ความต้านทานแรงดัดตั้งฉากกับผิวหน้า (MPa)	0.45

## การทบทวนวรรณกรรม

### 1. กาวลิกนินฟอร์มัลดีไฮด์

มีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการใช้การสกัดลิกนิน เพื่อแทนที่ฟีนอล โดยมีนักวิจัยหลายท่านได้ทำการศึกษา ดังนี้

Nihat S. Cetin และ Nilgul Ozmen [26] ได้ศึกษาการสกัดลิกนินออร์กาโนซอลในเรซินฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์ สำหรับการผลิตแผ่นไม้อัดด้านสมบัติทางกลและสมบัติทางกายภาพ และได้รายงานว่าเป็นเรซินฟีนอล-ลิกนิน-ฟอร์มัลดีไฮด์ให้ผลดีกว่าคุณสมบัติทางกลและทางกายภาพการแทนที่ด้วยลิกนินที่ไม่ผ่านการดัดแปลง และมีคุณสมบัติเทียบเท่ากับของบอร์ดที่ยึดติดกับเรซินฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์เชิงพาณิชย์ในบอร์ดที่ยึดติดด้วยเรซินที่มีการแทนที่มากถึง 30% ของฟีนอลโดยฟีนอล-ลิกนิน

Nihat S. Cetin และ Nilgul Ozmen [27] ได้ทำการศึกษาการแทนที่ของฟีนอล โดยใช้การสกัดลิกนินออร์กาโนซอลที่ 10,20,30 และ40% ในโคพอลิเมอร์ โดยการทำให้ลิกนินละลาย โดยการทดสอบแรงดึงของแถบที่เคลือบด้วยเรซิน พบว่า ที่การแทนที่ฟีนอลโดยใช้ลิกนินออร์แกโนซอลที่ 30% แสดงให้เห็นว่า คุณสมบัติของเรซินลิกนินที่ดัดแปลงนั้น ดีเท่ากับคุณสมบัติของเรซินฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ และการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพไม่ว่าจะเป็น IB, MOR และ MOE คุณสมบัติการป้องกันความชื้นและการดูดซึมน้ำของแผ่นไม้อัดที่ยึดติดกับเรซินลิกนินฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์ ให้ผลลัพธ์ที่เทียบเท่ากับแผ่นไม้อัดที่มีเรซินฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์

M. A. KHAN และ S. M. ASHRAF [28] ได้รายงานว่าเป็นพอลิเมอร์ที่หมุนเวียนได้มากเป็นอันดับสองรองจากเซลลูโลส เป็นสารยึดเกาะตามธรรมชาติสำหรับไม้ ประกอบด้วยทั้งหมู่อะลิฟาติกและอะโรมาติกไฮดรอกซิล ซึ่งสามารถใช้เป็นแหล่งทำปฏิกิริยาสำหรับการดัดแปลงทางเคมี การสกัดลิกนินโดยอัลคาไล มีการตัดสายโซ่และการสร้างกลุ่มฟีนอลมากขึ้น ในระหว่างการทำอัลคาไลลิกนินโมเลกุลใหญ่จะถูกละลายจากการแตกแยกของพันธะอัลคิลอีเทอร์ ส่งผลให้กลุ่มอะโรมาติกไฮดรอกซิลของลิกนินเพิ่มขึ้น ปัจจัยทั้งหมดเหล่านี้อาจส่งผลให้การใช้ลิกนินเป็นโมโนเมอร์ในการเตรียมกาวติดไม้ และได้ศึกษาการพัฒนาการติดไม้โดยใช้ลิกนินจากกากกาแฟ โดยใช้การแทนที่ฟีนอลด้วย กากกาแฟ ที่ 10, 25, 35, 50 และ 60 wt% พบว่า ที่ 50wt% ที่สกัดด้วยอัลคาไล สามารถแทนที่ฟีนอล และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้ไม้ได้ เมื่อเปรียบเทียบกับกาวฟีนอลทั่วไปที่ศึกษา โดยมีแรงยึดติดและแรงเฉือนที่ดีกว่า

Masoumeh Ghorbani และคณะ [29] ได้ศึกษาผลของการแทนที่ฟีนอล โดยการใช้ลิกนิน ใน ลิกนิน-ฟีนอลพอร์มัลดีไฮด์รีโซล มีการแทนที่ฟีนอลที่ 20 และ 40 wt% พบว่า ลิกนินที่สกัดจากคราฟท์ ลิกนินต้นสน มีแนวโน้มที่ดีที่สุด โดยการแทนที่ฟีนอลที่ 20% เพราะเมื่อเปรียบเทียบแล้ว มีความคล้ายกับ กาวฟีนอลพอร์มัลดีไฮด์ และผ่านมาตรฐาน EN 302-1

Somayyeh Kalami และคณะ [30] ได้ศึกษาการสังเคราะห์กาวลิกนินฟีนอลพอร์มัลดีไฮด์ โดยใช้ลิกนินแทนที่ 100% โดยลิกนินที่นำมาจะยังไม่ผ่านการ modify ซึ่งอาจทำให้เกิดปฏิกิริยากับฟีนอล ได้ดีกว่า แล้วนำมาเปรียบเทียบกับกาวฟีนอลพอร์มัลดีไฮด์ ผลการทดสอบ shear strength พบว่าผ่าน มาตรฐาน และนำมาเปรียบเทียบกับกาวลิกนินคอมเมอเซียล เมื่ออยู่ในสภาวะเดียวกัน ทั้งสภาวะการอัด อุณหภูมิ และเวลา พบว่า มีค่าที่ใกล้เคียงกัน

Yu Chen และคณะ [31] ได้ศึกษาการนำนาโนลิกนินเข้าไปแทนที่ฟีนอล และทำปฏิกิริยากับ พอร์มัลดีไฮด์ เพื่อสังเคราะห์นาโนลิกนินฟีนอลพอร์มัลดีไฮด์เรซิน ซึ่งจะนำนาโนลิกนินเข้าไปแทนที่ที่ 0, 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 wt% จากผลพบว่า การนำนาโนลิกนินเข้าไปแทนที่ฟีนอล 30% มีแนวโน้ม ที่ดีที่สุด โดยมีค่า bonding strength ดีที่สุด รวมถึงลดการปล่อยพอร์มัลดีไฮด์ได้มากที่สุด

## 2. การผลิตปาติเกิ้ลบอร์ดจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

มีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการผลิตปาติเกิ้ลบอร์ดจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร โดยมีนักวิจัย หลายท่านได้ทำการศึกษา ดังนี้

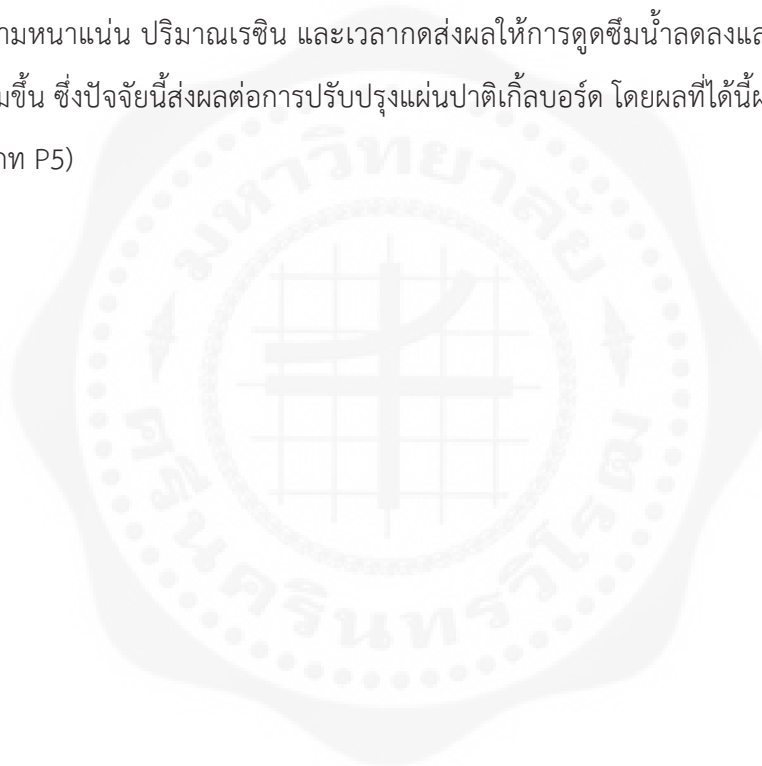
Mohd Arif Fikri Mohamad Adnan และคณะ [32] ได้ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและ ทางกลของปาติเกิ้ลบอร์ดที่ทำจากต้นปาล์มน้ำมัน โดยมีกาวฟีนอลพอร์มัลดีไฮด์เป็นตัวประสาน และ กำหนดปริมาณเรซินที่ 11% ใช้ความหนาต่างกันสองแบบ คือ 12 และ 16 mm ขนาดอนุภาคที่ใช้ศึกษา คือ 1 และ 2 mm พบว่า ผลการทดสอบหา MOR และ MOE ที่ความหนา 16 mm และขนาดอนุภาค 1 mm ผ่านมาตรฐาน EN 310

Asfarizal Saad และคณะ [8] ได้ศึกษาผลกระทบของความยาวเส้นใยปาล์ม ส่วนละลายปาล์ม เปล่า (OPEFB) ต่อคุณสมบัติเฉพาะของแผ่นไม้อัด โดยใช้ความยาวตั้งแต่ 0.1 ถึง 8 cm ใช้กาวยูเรียฟอรัลมาลติไฮด์ที่ความเข้มข้น 12 wt% โดยให้เส้นใยและกาวผสมกันอย่างสม่ำเสมอ กดเย็นเป็นเวลา 15 นาที และกดร้อนที่อุณหภูมิ 130 °C เป็นเวลา 15 และ 20 นาที จากนั้นจึงระบายความร้อน คุณสมบัติที่ใช้ในการศึกษา คือ ความหนาแน่น, ปริมาณความชื้น และ Modulus of Rupture (MOR), Modulus of Elasticity (MOE) ที่ทดสอบร่วมกับ bending และ Internal bonding (IB) ผลการทดสอบพบว่า ความยาวเส้นใยไม่มีผลต่อ ความหนาแน่น และปริมาณความชื้น ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน SNI 03-2105-2006 และ JIS A 5908-2003 แต่ความยาวเส้นใยมีผลต่อ MOR, MOE และ IB ซึ่งมีแนวโน้มลดลง เมื่อความยาวเส้นใยเพิ่มขึ้น

Chen Chiang Tay และคณะ [33] ได้ศึกษาการขึ้นรูปปาติเกิ้ลบอร์ดจากของเหลือจากสาकु โดยใช้กาวฟีนอลฟอรัลมาลติไฮด์ (PF) และยูเรียฟอรัลมาลติไฮด์ (UF) สำหรับการผลิตแผ่นไม้อัดเป็น ตัวเสริมแรง การผลิตและการทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน JIS A 5908 แผ่นไม้อัดชั้นเดียวที่ใช้นุภาค สาकुถูกขึ้นรูปที่ความหนาแน่น 600 kg/m<sup>3</sup> โดยใช้อัตราส่วนระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์ที่ 90/10, 85/15 และ 80/20 ที่มีเมทริกซ์สองชนิดต่างกันถูกนำมาใช้ในการผลิต ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าตัวอย่างที่มี น้ำหนักและเมทริกซ์ต่างกัน มีอิทธิพลอย่างมากต่อคุณสมบัติทางกล เช่น MOR, MOE, โมดูลัสของ Young, ความต้านทานแรงดึง, แรงกระแทก, การทดสอบสกรู และการยึดเกาะภายใน ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณเรซินมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการดูดซึมน้ำ และความพองตัวหลังแช่น้ำ PF/สาकुปาติเกิ้ลบอร์ดที่มี 15 wt% ตรงตามข้อกำหนด M-1 และ ทั้งสาकुปาติเกิ้ลบอร์ด PF และ UF ที่มี 20 wt% ตรงตาม มาตรฐาน MS ของ American National Standard A208.1-2009 สำหรับแผ่นไม้อัดไม้และบรรจุ วัสดุประสงค์ทางการค้า มีเพียงสาकुปาติเกิ้ลบอร์ด UF ที่มี 10 wt% และ 15 wt% ที่ตรงตามข้อกำหนด M-2 สำหรับวัสดุประสงค์ทางอุตสาหกรรม ข้อได้เปรียบหลักของสาकुปาติเกิ้ลบอร์ด UF/PF ที่เหนือกว่าไม้ เนื้อแข็งหรือไม้อัด คือ ต้นทุนต่ำมาก การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าอนุภาคสาकुสามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการ ผลิตแผ่นไม้อัดได้

### 3. การผลิตปาติเกิ้ลบอร์ดจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ผสมกับกาวลิกนิน-ฟอร์มัลดีไฮด์

Viviane Teixeira Iwakiri และคณะ [34] ได้ศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้ลิกนิน-ฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์เรซินในการผลิตแผ่นไม้อัดโครงสร้าง *Mimosa scabrella* Benth (bracatinga) หรือ ผักกระเฉด โดยแผ่นไม้ถูกผลิตขึ้นด้วยมวลจำเพาะที่ระบุ 0.75 และ 0.95 g/cm<sup>3</sup>, 10% และ 12% ของ เรซินฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์และลิกนิน-ฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์ โดยใช้เวลากด 10 และ 12 นาที โดยได้นำไป ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทางกล คือ มวลจำเพาะ อัตราส่วนการอัด การดูดซึมน้ำ และความ พองตัวหลังจาก แช่น้ำ 2 และ 24 ชั่วโมง การดัดตั้งฉาก ตามมาตรฐาน EN 312 (ประเภท P5) โดยพบว่า การเพิ่มความหนาแน่น ปริมาณเรซิน และเวลากดส่งผลให้การดูดซึมน้ำลดลงและความหนาของแผ่น กระจกานเพิ่มขึ้น ซึ่งปัจจัยนี้ส่งผลต่อการปรับปรุงแผ่นปาติเกิ้ลบอร์ด โดยผลที่ได้นี้ผ่านตามมาตรฐาน EN 312 (ประเภท P5)



### บทที่ 3

## วิธีการดำเนินงานวิจัย

การวิจัย เรื่องการผลิตปาติเกลือบอร์ดจากใยปาล์ม โดยใช้กาวลิกนินฟอร์มัลดีไฮด์เป็นตัวประสาน เป็นการสกัดลิกนินจากกะลาปาล์ม เพื่อใช้แทนที่ฟีนอล ในกาวฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ เพื่อลดอันตรายจากสารประกอบฟีนอล และเพื่อให้มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

โดยแบ่งขั้นตอน คือ การสกัดลิกนินจากกะลาปาล์ม การสังเคราะห์กาวลิกนินฟอร์มัลดีไฮด์ การขึ้นรูปปาติเกลือบอร์ด การวัดขนาด การวัดความหนาแน่น การวัดความชื้น การวัดการพองตัวตามความหนา การวัดความต้านทานแรงดัดและมอดูลัสยืดหยุ่น การวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีด้วย FT-IR

#### 3.1 อุปกรณ์ เครื่องมือ และสารเคมีที่ใช้

##### 3.1.1 วัสดุดิบ

วัสดุดิบชีวมวลที่ใช้ คือ กะลาปาล์ม และเส้นใยทะเลลายปาล์ม

##### 3.1.2 สารเคมีที่ใช้

1. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
2. ลิกนินเชิงพาณิชย์ (Alkali Lignin)
3. ฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde)
4. ฟีนอล (Phenol)
5. กรดไฮโดรคลอริก (HCl)

##### 3.1.3 อุปกรณ์

1. ปีกเกอร์
2. ขวดแก้วดูแรน
3. หลอดหยด
4. ปีเปต
5. หลอดทดลอง

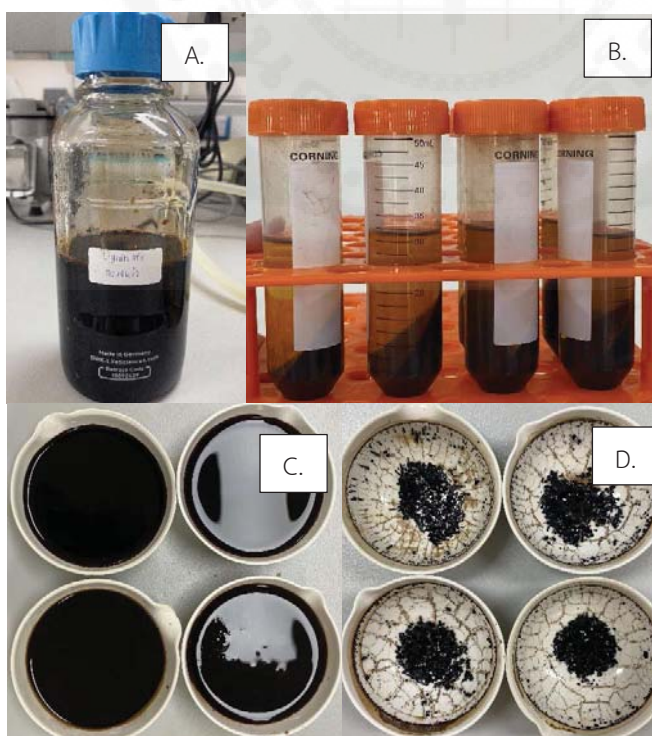
6. ถ้วยตวงสาร
7. ขวดก้นกลม 2 คอ ( Flask 2 neck )
8. ที่กรองแก้ว
9. แม่แบบโลหะ

#### 3.1.4 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. Fourier-transform infrared spectroscopy (FT-IR)
2. UV-Vis spectroscopy
3. เครื่องอัดรีด
4. Universal Testing Machine (UTM)
5. เครื่องบด
6. เครื่องปั่นเหวี่ยงตกตะกอน
7. หม้อนึ่งฆ่าเชื้อความดันสูง
8. เตาอบ
9. เครื่องวัดค่า pH
10. ไมโครมิเตอร์
11. เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์
12. เครื่องชั่งน้ำหนัก
13. เครื่องกรองสุญญากาศ
14. ตู้ดูดความชื้น (Desiccator)

### 3.2 การสกัดลิกนิน

1. นำกะลาปาล์มมาบดให้ละเอียดเป็นผง แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
2. เตรียมโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 7.5 % w/w
3. ใช้ผงกะลาปาล์มที่บดไว้ ต่อ NaOH ที่อัตราส่วน 1 : 10 โดยใช้กะลาปาล์ม 1.25 g ต่อ NaOH 125 ml เทใส่ลงในขวด
4. นำวัตถุดิบที่เตรียมไว้ในข้อที่ 3 ไปใส่ในหม้อนึ่งฆ่าเชื้อความดันสูง ที่อุณหภูมิ 120 °C เป็นระยะเวลา 90 นาที เพื่อเป็นการสกัดลิกนินออกจากกะลาปาล์ม
5. เมื่อครบระยะเวลาที่กำหนด นำออกจากหม้อนึ่งฆ่าเชื้อความดันสูง กรองน้ำดำด้วยที่กรองสุญญากาศ
6. ตกตะกอนลิกนินด้วยกรดไฮโดรคลอริก (HCl) โดยค่อยๆหยดลงไปใต้น้ำดำที่กรองแล้วจนมีค่า pH เหลือ 2
7. นำน้ำดำที่ผ่านการตกตะกอนด้วยกรดแล้ว ไปใส่เครื่องปั่นเหวี่ยงตกตะกอน ด้วยความเร็ว 4000 รอบ 5 นาที เพื่อให้ น้ำดำตกตะกอนเหลือเพียงแต่ลิกนินจากกะลาปาล์ม
8. นำลิกนินที่ผ่านการตกตะกอนแล้วไปอบที่ 60 °C เป็นเวลา 3 วัน แล้วนำมาบดเป็นผง เพื่อนำไปสังเคราะห์กาว และดูปริมาณของแข็งที่เหลือ



รูปที่ 11 แสดงขั้นตอนการสกัดลิกนิน

A คือ ลิกนินสกัดที่กรองแล้ว

B คือ การตกตะกอนลิกนินหลังcentrifuge

C คือ ลิกนินที่ตกตะกอนแล้ว

D คือ ลิกนินที่ผ่านการอบแห้งแล้ว

### 3.3 การวิเคราะห์หาปริมาณลิกนินด้วยเทคนิค UV-Vis Spectroscopy

#### 3.3.1 การสร้างกราฟมาตรฐานลิกนิน

1. ชั่ง Alkali Lignin 0.0014 กรัม
2. เตรียม NaOH 0.1 M 10 ml และนำ Alkali lignin มาละลายใน NaOH
3. เตรียมสารละลายในสัดส่วนจากตารางที่ 3 ลงในคิวเวต (Cuvette)
4. นำตัวอย่างไปวัด UV ที่ความยาวคลื่น 280 นาโนเมตร
5. นำค่าดูดกลืนแสง และความเข้มข้นของสารมาตรฐานลิกนิน มาเขียนกราฟมาตรฐาน และหาค่าความชัน เพื่อใช้วิเคราะห์ปริมาณลิกนินที่สกัดจากกะลาปาล์ม

#### ตารางที่ 3 สัดส่วนสารละลายที่ใช้ในการสร้างกราฟมาตรฐาน

ความเข้มข้นของลิกนิน (g/L)	สารละลาย NaOH และ Lignin (ไมโครลิตร)	สารละลาย NaOH (ไมโครลิตร)
0.140	1000	0
0.070	500	500
0.035	250	750
0.018	125	875

#### 3.3.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารลิกนินที่สกัดจากกะลาปาล์ม

1. นำผงลิกนินที่ได้มาละลายใน NaOH 0.1 M ในสัดส่วน 0.014 g ต่อ NaOH 10 ml
2. ทำตามขั้นตอนในข้อ 3.3.1
3. นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ในแต่ละตัวอย่างไปเทียบกับกราฟมาตรฐาน และหาปริมาณลิกนิน



รูปที่ 12 เครื่อง UV-Vis Spectroscopy

### 3.4 การสังเคราะห์กาวลิกนินฟอร์มัลดีไฮด์

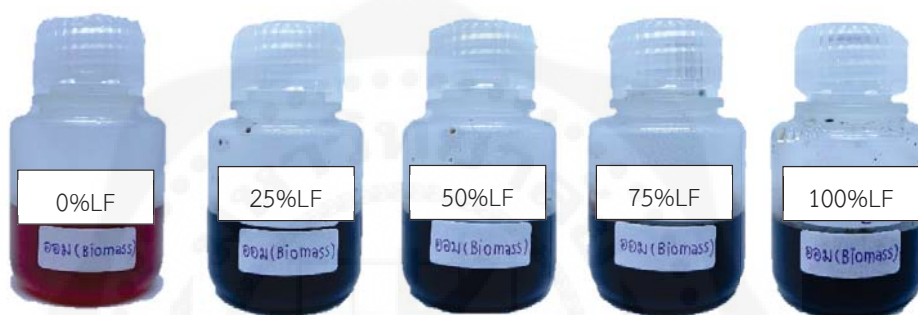
1. เตรียมสารละลาย NaOH 1 M ปริมาณ 10.5 ml
2. เตรียมฟีนอล ตามสัดส่วนจากตารางที่ 2
3. เตรียมผง Lignin ที่สกัดจากกะลาปาล์ม ตามสัดส่วนจากตารางที่ 4
4. เตรียมสารฟอร์มัลดีไฮด์ ปริมาณ 4 ml
5. นำ NaOH 1 M ที่ตวงไว้ เติมฟีนอล และผง Lignin ที่ชั่งไว้ตามสัดส่วนต่างๆ มาผสมกันในหลอดทดลอง จนเป็นเนื้อเดียวกัน และนำไปใส่ในขวดก้นกลม 2 คอ
6. นำสารละลายที่เตรียมไว้ เข้าเครื่องกวนแม่เหล็ก เพื่อ Stirred ด้วยความเร็ว 250 rpm โดยเริ่มที่อุณหภูมิ 65°C เมื่ออุณหภูมิถึงกำหนด ให้ปรับอุณหภูมิขึ้นเป็น 80 °C โดยระหว่างอุณหภูมิกำลังปรับขึ้น ให้หยดสารฟอร์มัลดีไฮด์ทีละ 0.4 ml ทุก 1 นาทีจนครบถึงอุณหภูมิ 80°C และเริ่มจับเวลา 1 ชั่วโมง
7. พักให้กาวเย็นตัวลงและนำไปแช่ในตู้เย็น



รูปที่ 13 แสดงการสังเคราะห์กาวลิกนินฟอร์มัลดีไฮด์

ตารางที่ 4 แสดงสัดส่วนของการแทนที่ฟีนอลในกาวลิกนินฟอร์มัลดีไฮด์

Ratio	ปริมาณลิกนิน (g)	ปริมาณฟีนอล (g)
0% LF	0	2.500
25% LF	0.625	1.875
50% LF	1.250	1.250
75% LF	1.875	0.625
100% LF	2.500	0



รูปที่ 14 กาวลิกนินฟอร์มัลดีไฮด์ในการแทนที่ที่อัตราส่วนต่างๆ

### 3.5 การขึ้นรูปแม่แบบแผ่นปาติเกิลบอร์ด

- เตรียมใยปาล์ม โดยนำใยปาล์มที่ได้มาล้างน้ำสะอาด เพื่อล้างเศษดิน ฝุ่น และแมลงออก นำไปอบที่ 105 °C เป็นเวลา 1 วัน และนำใยปาล์มที่แห้งแล้วมาบดตัดให้มีขนาดเส้นใยไม่เกิน 1 เซนติเมตร
- นำเส้นใยปาล์มที่บดเรียบร้อยแล้วไปชั่งน้ำหนัก และพ่นสเปรย์กาวที่สังเคราะห์เรียบร้อยแล้ว ลงบนเส้นใยปาล์มที่เตรียมไว้ โดยมีปริมาณ Resin content 10% โดยมวล
- นำเส้นใยปาล์มที่ผ่านการสเปรย์กาวแล้วใส่ในแม่แบบ และนำเข้าเครื่องอัด โดยอุณหภูมิในการอัดร้อน คือ 180 °C โดยจะอัด 3 ครั้ง ดังนี้
  - ครั้งที่ 1 ใช้ความดัน 4 MPa เป็นเวลา 2 นาที
  - ครั้งที่ 2 ใช้ความดัน 2 MPa เป็นเวลา 2 นาที
  - ครั้งที่ 3 ใช้ความดัน 1 MPa เป็นเวลา 2 นาที



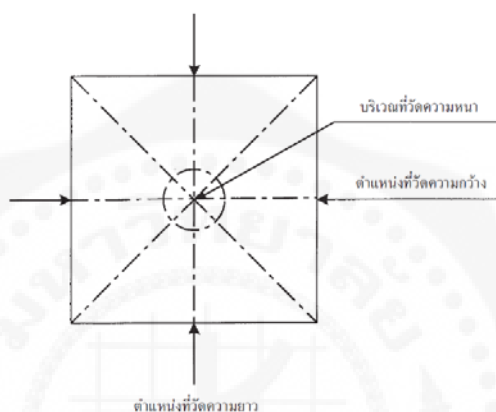
รูปที่ 15 เครื่องอัดปาติเกิ้ลบอร์ด



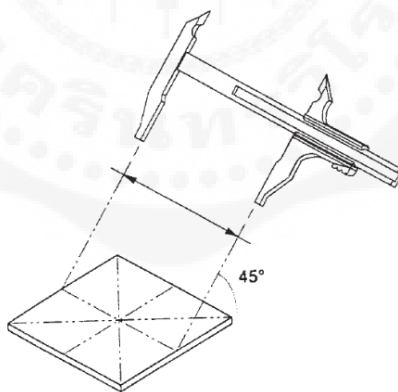
รูปที่ 16 ปาติเกิ้ลบอร์ดจากใยปาล์มที่ใช้กาวลิกนินฟอร์มัลดีไฮด์  
ที่สัดส่วนต่างๆเป็นตัวอย่าง

### 3.6 การวัดขนาดปาดิเกลบอร์ด

1. นำชิ้นงานมาตั้งน้ำบนหน้า
2. วัดความหนาที่จุดกึ่งกลางของชิ้นงาน ดังรูปที่ 17 โดยใช้ไมโครมิเตอร์
3. วัดความกว้างและความยาวที่แนวกึ่งกลางของชิ้นงาน บริเวณขอบชิ้นงาน โดยใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์ วางเครื่องมือให้ทำมุมกับแนวระนาบของชิ้นงาน ประมาณ  $45^\circ$  ดังรูปที่ 18



รูปที่ 17 แสดงตำแหน่งที่วัดความกว้าง ความยาว และความหนาของชิ้นงาน [25]



รูปที่ 18 แสดงวิธีการวัดความกว้าง และความยาว [25]

### 3.7 การวัดความหนาแน่นของปาดิเกลบอร์ด

1. นำชิ้นงานมาชั่งน้ำหนัก
2. วัดความกว้าง ความยาว และความหนา โดยใช้เครื่องมือในข้อที่ 3.6
3. รายงานผลความหนาแน่น และความหนานแน่นเฉลี่ย โดยคำนวณความหนาแน่นโดยใช้สูตร

$$\text{ความหนาแน่น กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร} = \frac{m}{v} \times 10^6$$

เมื่อ  $m$  คือ มวลของชิ้นงาน (กรัม)

$v$  คือ ปริมาตรของชิ้นงาน (ลูกบาศก์มิลลิเมตร)

### 3.8 การวัดปริมาณความชื้นของปาดิเกลบอร์ด

1. ชั่งน้ำหนักของชิ้นงาน เป็นน้ำหนักชิ้นงานก่อนอบ
2. อบชิ้นงานที่อุณหภูมิ  $103 \pm 2$  องศาเซลเซียส
3. นำชิ้นงานที่อบแล้วไปตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในตู้ดูดความชื้น
4. นำชิ้นงานมาชั่งน้ำหนักอีกครั้ง เป็นน้ำหนักชิ้นงานหลังอบ
5. รายงานผล โดยคำนวณหาค่าปริมาณความชื้น และค่าเฉลี่ย โดยใช้สูตร

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

เมื่อ  $m_1$  คือ มวลชิ้นงานก่อนอบ (กรัม)

$m_2$  คือ มวลชิ้นงานหลังอบ (กรัม)

### 3.9 การวัดการพองตัวตามความหนา

1. ทำเครื่องหมาย และวัดความหนาตามจุด เป็นความหนาก่อนแช่น้ำ
2. นำชิ้นงานไปแช่ในน้ำที่อุณหภูมิ  $20 \pm 2$  องศาเซลเซียส โดยตั้งชิ้นงานให้ตั้งฉากกับระดับผิวน้ำ ให้ขอบบนอยู่ใต้ผิวน้ำ 25 มิลลิเมตร แต่ละชิ้นงานต้องห่างจากกัน และต้องห่างจากผนังและก้นภาชนะที่ใส่ ไม่น้อยกว่า 10 มิลลิเมตร
3. เมื่อแช่ชิ้นงานครบ 1 ชั่วโมง รีบนำชิ้นงานมาซับน้ำที่ผิวออกให้หมดด้วยผ้าหมาด
4. ปลอ่ยชิ้นงานทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องอีก 1 ชั่วโมง โดยที่ขอบด้านใดด้านหนึ่งอยู่บนแผ่นวัสดุที่ไม่ดูดซึมน้ำ
5. รายงานผล โดยคำนวณหาค่าการพองตัวตามความหนา จากสูตร

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

เมื่อ  $t_1$  คือ ความหนาของชิ้นงานก่อนแช่น้ำ (มิลลิเมตร)

$t_2$  คือ ความหนาของชิ้นงานหลังแช่น้ำ (มิลลิเมตร)

### 3.10 การวัดความต้านทานแรงดึง และมอดูลัสยืดหยุ่น

เตรียมชิ้นงานขนาด กว้าง 60 มิลลิเมตร ยาว 75 มิลลิเมตร และหนา 3 มิลลิเมตร นำไปทดสอบด้วยเครื่อง Universal Testing Machine (UTM 5 TONS) ตามมาตรฐาน ASTM D 790

### 3.11 การวิเคราะห์ทางองค์ประกอบทางเคมีด้วย FT-IR

1. เตรียมกะลาปาล์ม ลิกนินเชิงพาณิชย์ และลิกนินที่สกัดจากกะลาปาล์ม ตัวอย่างละ 1 กรัม แยกใส่ถุงซิปล็อค
2. นำไปวิเคราะห์ทางองค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่องมือ Fourier Transform Infrared Spectrometer (FT-IR)

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและอภิปรายผล

#### 4.1 การสกัดลิกนินจากกะลาปาล์ม

จากการสกัดลิกนินจากกะลาปาล์ม โดยการ Autoclave ที่อุณหภูมิ 120 °C เป็นเวลา 90 นาที และนำไปตกตะกอนด้วย HCl จนค่า pH = 2 นำไป Centrifuge ที่ 4000 รอบ 5 นาที และนำมาอบที่ 60 °C เป็นเวลา 3 วัน ทำให้ทราบค่า Crude Lignin Yield และ Lignin Yield ดังนี้

##### 4.1.1 Crude Lignin Yield

จากพงสารสกัดลิกนิน สามารถคำนวณหา Crude Lignin Yield ได้จากสมการ

$$\text{Crude Lignin Yield} = \frac{\text{น้ำหนักลิกนินหลังอบแห้ง (g)}}{\text{ปริมาณกะลาปาล์มที่ใช้ (g)}} \times 100$$

พบว่าในการสกัดลิกนินจากกะลาปาล์มที่ 25 g จะได้ลิกนินหลังอบแห้ง 2.85 g คิดเป็น Crude Lignin Yield เท่ากับ 11.4 %

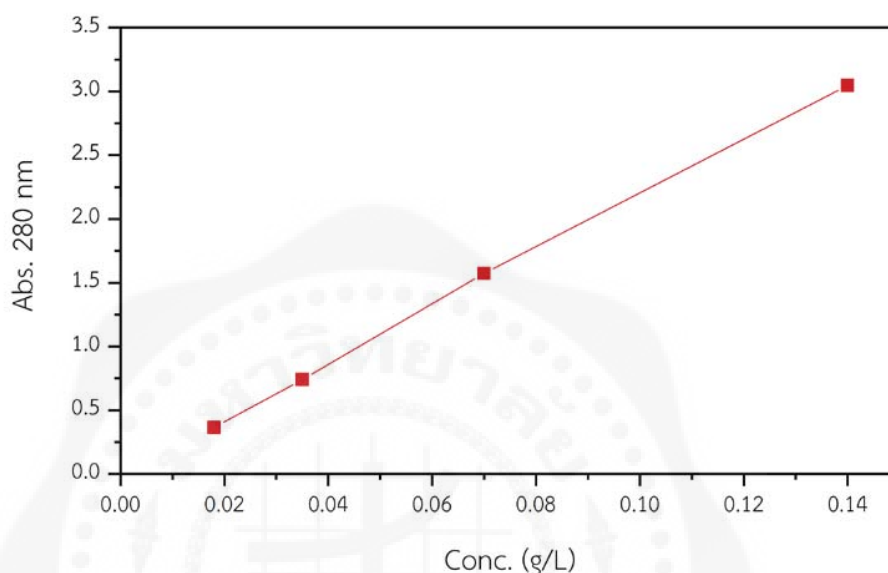
##### 4.1.2 การสร้างกราฟมาตรฐานลิกนิน

ในการสร้างกราฟมาตรฐานลิกนิน โดยใช้ลิกนินที่สกัดจากกะลาปาล์ม ทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 280 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-Vis Spectroscopy โดยใช้ลิกนินเชิงพาณิชย์ (Alkali Lignin) เป็นสารมาตรฐาน

ตารางที่ 5 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานลิกนิน

ความเข้มข้นของลิกนิน (g/L)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 280 นาโนเมตร
0.140	3.045
0.070	1.574
0.035	0.740
0.018	0.365

จากตารางที่ 5 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานลิกนินที่ความยาวคลื่น 280 นาโนเมตร สามารถนำไปสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานลิกนินได้ ดังรูปที่ 19



รูปที่ 19 แสดงกราฟมาตรฐานลิกนิน

ซึ่งจากกราฟเส้นตรง จะทำให้ได้สมการที่สามารถนำไปคำนวณ Lignin Yield ได้ ดังนี้

$$[\text{Abs}] = (\text{ความเข้มข้นของลิกนิน}/0.14) \times 100$$

#### 4.1.3 Lignin Yield

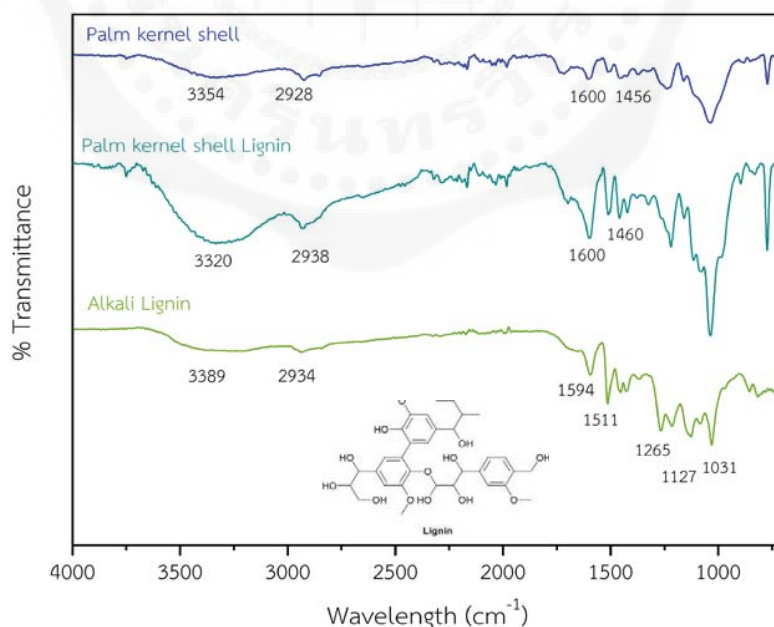
จากการสร้างกราฟมาตรฐานลิกนินแล้ว จะสามารถทำการวิเคราะห์หาปริมาณลิกนินจากกะลาปาล์มเทียบกับกราฟมาตรฐานลิกนินได้ ซึ่งจะได้ปริมาณลิกนินดังนี้

ตารางที่ 6 ปริมาณลิกนินที่สกัดจากกะลาปาล์ม

ครั้งที่	ความเข้มข้น (g/L)	สารสกัดลิกนิน (%(w/w))	ค่าเฉลี่ย (%(w/w))
1	0.136	97.14	78.09
2	0.098	70.00	
3	0.094	67.14	

#### 4.1.4 ผลการตรวจสอบเอกลักษณ์ของลิกนิน ด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier transform infrared spectrometer: FT-IR)

จากการสกัดลิกนินที่ได้จากกะลาปาล์มแล้วจึงนำมาตรวจสอบเอกลักษณ์ด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FT-IR) ในช่วงความยาวคลื่น 700-4000  $\text{cm}^{-1}$  เพื่อตรวจสอบหาหมู่ฟังก์ชันที่เกิดขึ้นหลังจากการสกัดลิกนินให้บริสุทธิ์ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และตกตะกอนด้วยกรดไฮโดรคลอริก นอกจากนี้ยังมีการตรวจสอบเอกลักษณ์ของกะลาปาล์มและลิกนินเชิงพาณิชย์ เพื่อเปรียบเทียบกับลิกนินที่สกัดจากกะลาปาล์ม แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของลิกนิน ตรวจพบช่วงการดูดกลืนของหมู่ฟังก์ชันหลักของลิกนินในช่วงความยาวคลื่น 3389  $\text{cm}^{-1}$  ซึ่งมีความสอดคล้องกับการสั่นแบบยืดหด (Stretching vibration) ของหมู่ไฮดรอกซิล (O-H group) และพีคการดูดกลืนที่ 2934  $\text{cm}^{-1}$  สอดคล้องกับการสั่นยืดหดไม่สมมาตร (Asymmetrically stretching vibration) ของหมู่เมทิล (C-H band) พบพีคการดูดกลืนในช่วง 1600, 1594, 1511, 1460  $\text{cm}^{-1}$  ซึ่งสอดคล้องกับการสั่นของหมู่อะโรมาติก (Aromatic vibration) และพบพีคการดูดกลืนในช่วง 1265, 1127, 1031  $\text{cm}^{-1}$  ซึ่งสอดคล้องกับการยืดหดของพันธะ C-O-C ซึ่งสอดคล้องกับตารางที่ 7 และแสดงให้เห็นโครงสร้างของลิกนินที่ประกอบด้วย สารประกอบฟีนอลิก มีโครงสร้างเป็นวงอะโรมาติก และหมู่ไฮดรอกซิล



รูปที่ 20 แสดงผล FTIR ของกะลาปาล์ม ลิกนินจากกะลาปาล์ม และอัลคาไลลิกนินเชิงพาณิชย์

ตารางที่ 7 แสดงช่วงดูดกลืนตามหมู่ฟังก์ชันหลักของลิกนิน

ความยาวคลื่น ( $\text{cm}^{-1}$ )	การสั่นของพันธะ
3389	O-H Stretching
2934	C-H Stretching
1594	Aromatic Vibration
1511	Aromatic Vibration
1265	C-C & C-O Stretch
1127	C-O-C Stretching
1031	C-O-C Stretching

ซึ่งจากงานวิจัยของ Jiongjiong Li และคณะ [35] ได้ทำการศึกษาการเตรียมเรซินฟีนอลที่มีลิกนิน โดยใช้อัลคาไลลิกนิน (AL) ซึ่งถูก depolymerize โดยสารละลายน้ำ NaOH/ยูเรีย ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและมีต้นทุนต่ำ ซึ่งได้ทำการศึกษาผลของ FTIR พบว่า มีความสอดคล้องกับงานวิจัย โดยจะพบว่ามีพีคในช่วง  $3341\text{-}3351\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งสอดคล้องกับวงอะโรมาติก และหมู่เอเลิฟาทิกใน O-H group พบพีคที่  $2929\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งสอดคล้องกับการสั่นยืดหดไม่สมมาตร (Asymmetrically stretching vibration) ของหมู่เมทิล (C-H band) ในช่วง  $1600, 1516, 1417\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งสอดคล้องกับการสั่นของวงอะโรมาติกของหมู่ฟีนิลโพรเพน และในช่วง  $1114\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งสอดคล้องกับการสั่นของพันธะ C-O ในแอลกอฮอล์และหมู่อีเทอร์

## 4.2 การสังเคราะห์กาวลิกนินฟอร์มัลดีไฮด์

ในส่วนนี้จะขอแสดงผลเฉพาะกาวลิกนินฟอร์มัลดีไฮด์ที่สกัดจากกะลาปาล์ม โดยมีผลดังต่อไปนี้

### 4.2.1 ค่า pH ของกาว

ตารางที่ 8 แสดงค่า pH ของกาวลิกนินฟอร์มัลดีไฮด์

ชนิดของกาว	ค่า pH
0% LF	9.96
25% LF	9.93
50% LF	10.06
75% LF	10.14
100% LF	9.76

### 4.2.2 ค่าความหนาแน่นของกาว

ตารางที่ 9 แสดงค่าความหนาแน่นของกาวลิกนินฟอร์มัลดีไฮด์

ชนิดของกาว	ค่าความหนาแน่น (g/mL)
0% LF	1.076 ± 0.004
25% LF	1.086 ± 0.014
50% LF	1.097 ± 0.003
75% LF	1.099 ± 0.003
100% LF	1.373 ± 0.006

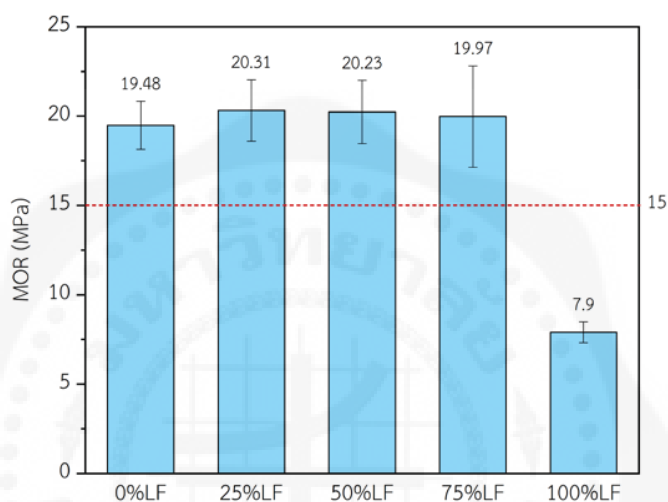
จากผลของ ค่า pH ของกาว ในตารางที่ 8 พบว่า การเติมลิกนินที่สกัดจากกะลาปาล์มเข้าไปไม่ได้ส่งผลให้มีค่า pH เปลี่ยนไปจากเดิมมากนัก และผลของความหนาแน่นของกาว ในตารางที่ 9 พบว่า เมื่อเพิ่มสัดส่วนปริมาณลิกนินที่เข้าไปแทนที่ฟีนอล จะทำให้ความหนาแน่นของกาวเพิ่มขึ้น

### 4.3 การขึ้นรูปปาติเกลือบอร์ด

ในส่วนจะขอแสดงผลการขึ้นรูปปาติเกลือบอร์ดจากใยปาล์มที่ใช้กาวลิกนินฟอร์มัลดีไฮด์ที่สกัดจากกะลาปาล์ม โดยมีผลดังต่อไปนี้

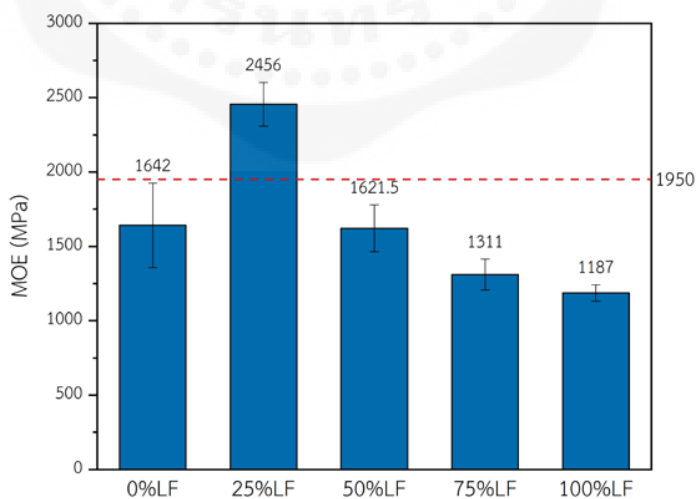
#### 4.3.1 สมบัติทางกลของปาติเกลือบอร์ด

##### 4.3.1.1 ความต้านทานแรงดัด (Modulus of Rupture : MOR)



รูปที่ 21 แสดงค่าความต้านทานแรงดัดของปาติเกลือบอร์ด

##### 4.3.1.2 มอดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity : MOE)

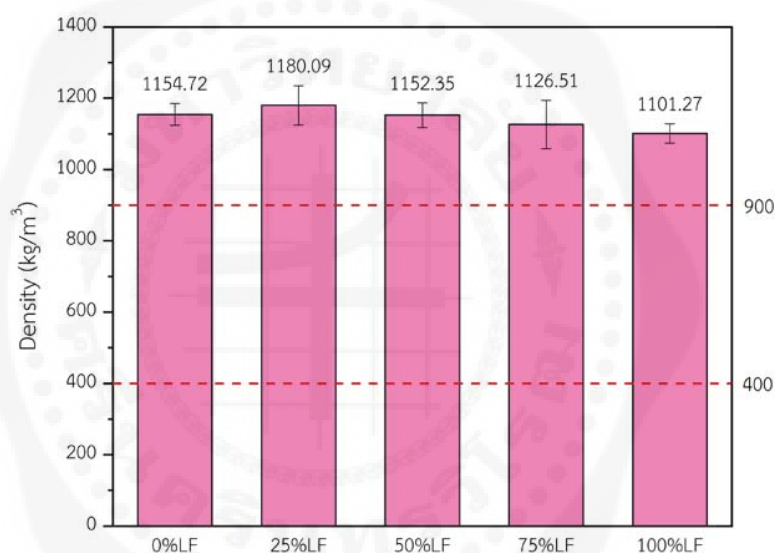


รูปที่ 22 แสดงค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของปาติเกลือบอร์ด

จากรูปที่ 21 และ 22 แสดงผลของค่า MOR และ MOE ของปาติเกลือบอร์ดตามลำดับ จะเห็นว่า ปาติเกลือบอร์ดที่ใช้สัดส่วน 25% กาวลิกนินฟอร์มัลดีไฮด์ที่มีค่า MOR เฉลี่ยที่สูงที่สุด เท่ากับ 20.31 MPa และมีค่า MOE เฉลี่ยที่สูงที่สุด เท่ากับ 2456 MPa ซึ่งผ่านตามมาตรฐาน มอก. 876-2547 แผ่นไม้อัดชนิดราบ

#### 4.3.2 สมบัติทางกายภาพของปาติเกลือบอร์ด

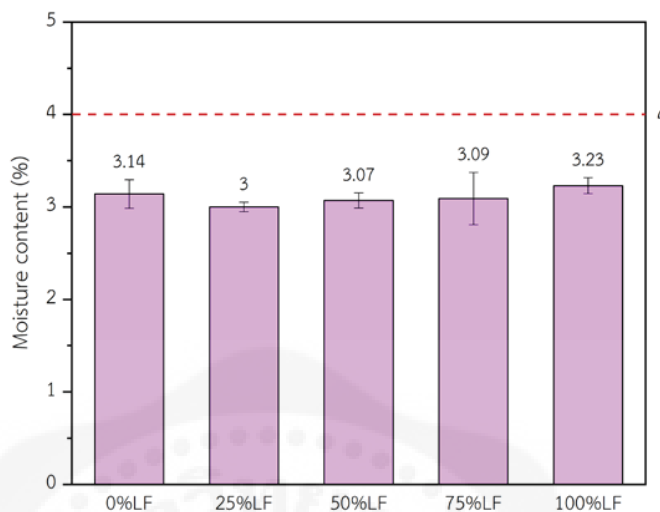
##### 4.3.2.1 ความหนาแน่นของปาติเกลือบอร์ด (Density)



รูปที่ 23 แสดงค่าความหนาแน่นของปาติเกลือบอร์ด

จากผลความหนาแน่นเฉลี่ยที่แสดงในรูป 23 พบว่า ปาติเกลือบอร์ดมีค่าความหนาแน่นที่ใกล้เคียงกัน แต่มีความหนาแน่นมากกว่าช่วงมาตรฐานมอก. 876-2547 ซึ่งกำหนดให้ปาติเกลือบอร์ดมีความหนาแน่นในช่วง 400-900 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร ซึ่งถือว่าไม่ผ่านมาตรฐานทุกแผ่น

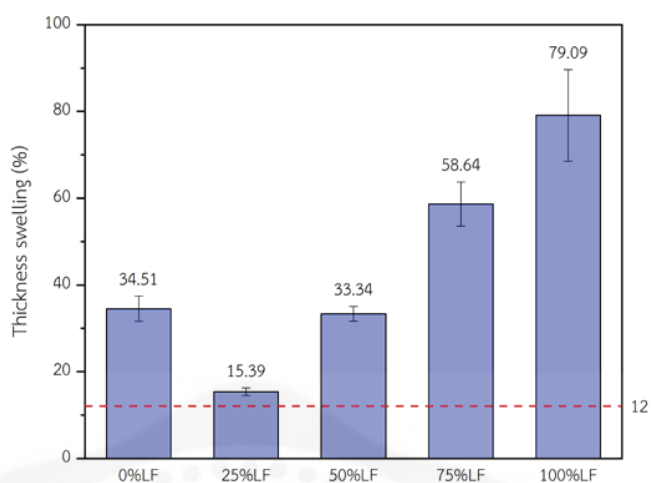
#### 4.3.2.2 ปริมาณความชื้นของปาติเกลบอร์ด (Moisture Content)



รูปที่ 24 แสดงค่าปริมาณความชื้นของปาติเกลบอร์ด

จากผลปริมาณความชื้นในปาติเกลบอร์ดที่แสดงในรูปที่ 24 พบว่า มีค่าที่ใกล้เคียงกัน จากมาตรฐาน มอก.876-2547 กำหนดร้อยละของปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 4-13% จะเห็นได้ว่าร้อยละความชื้นของปาติเกลบอร์ดทั้งหมด มีค่าต่ำกว่า 4% ซึ่งถือว่าต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด จึงไม่ผ่านมาตรฐาน แต่เมื่อเทียบกับมาตรฐาน American National Standards Institute (ANSI) A208.1-2009 ซึ่งตามกำหนดมาตรฐานคือ ไม่เกิน 10% ปาติเกลบอร์ดนี้จึงผ่านมาตรฐาน

#### 4.3.2.3 การพองตัวตามความหนาของปาติเกลือบอร์ด (Thickness swelling)



รูปที่ 25 แสดงค่าการพองตัวตามความหนาของปาติเกลือบอร์ด

จากผลของการพองตัวตามความหนาของปาติเกลือบอร์ดที่แสดงในรูปที่ 25 พบว่าปาติเกลือบอร์ดทุกแผ่นมีค่ามากกว่ามาตรฐานมอก.876-2547 กำหนด ซึ่งตามกำหนดจะต้องไม่เกิน 12% ซึ่งปาติเกลือบอร์ดทุกแผ่นไม่ผ่านมาตรฐาน แต่จะสังเกตเห็นได้ว่าใน ปาติเกลือบอร์ดที่ใช้ กาว 25% ลิกนินฟอร์มัลดีไฮด์ มีค่าน้อยที่สุด และมีค่าใกล้เคียงมาตรฐาน

#### 4.3.3 สรุปผล : การขึ้นรูปปาติเกลือบอร์ดจากใยปาล์มโดยใช้กาวลิกนินฟอร์มัลดีไฮด์ที่สกัดจากกะลาปาล์ม

จากผลของกาวลิกนินฟอร์มัลดีไฮด์ที่สกัดจากกะลาปาล์ม พบว่า ในการแทนที่ฟีนอลด้วยลิกนินที่ 25% ให้ผลที่ดีที่สุด การขึ้นรูปปาติเกลือบอร์ดมีค่า MOR และ MOE ซึ่ง ผ่านมาตรฐาน แต่ในสมบัติทางกายภาพ ความหนาแน่น ปริมาณความชื้น และการพองตัวตามความหนา ยังไม่ผ่านมาตรฐานมอก.876-2547 แต่ในผลการพองตัวตามความหนา ผลที่ต่ำที่สุด และมีค่าใกล้เคียงกับมาตรฐานมากที่สุด

ดังนั้นเราจึงเลือกศึกษา 25% ลิกนินฟอร์มัลดีไฮด์ โดยเปรียบเทียบระหว่างลิกนินจากกะลาปาล์มและลิกนินเชิงพาณิชย์

#### 4.4 การเปรียบเทียบระหว่างลิกนินจากกะลาปาล์มและลิกนินเชิงพาณิชย์

โดยในการศึกษาจะเปรียบเทียบการขึ้นรูปปาดิเกิ้ลบอร์ดจากใยปาล์ม โดยใช้กาวลิกนินฟอร์มัลดีไฮด์ที่สกัดจากกะลาปาล์มและลิกนินเชิงพาณิชย์ในอัตราส่วนที่เท่ากัน คือ 25% ซึ่งเป็นผลที่ดีที่สุดของลิกนินจากกะลาปาล์ม

##### 4.4.1 ค่า pH ของกาว

**ตารางที่ 10** แสดงค่า pH ของกาวลิกนินฟอร์มัลดีไฮด์ระหว่างลิกนินจากกะลาปาล์มและลิกนินเชิงพาณิชย์

ชนิดของกาว	ค่า pH
25% LF	9.93
25% ALF	9.95

ผลจากตารางที่ 10 พบว่า ค่า pH ของกาวทั้ง 2 ชนิดมีค่าที่ใกล้เคียงกัน แสดงว่าลิกนินต่างกันไม่ส่งผลต่อค่า pH ของกาว

##### 4.4.2 ค่าความหนาแน่นของกาว

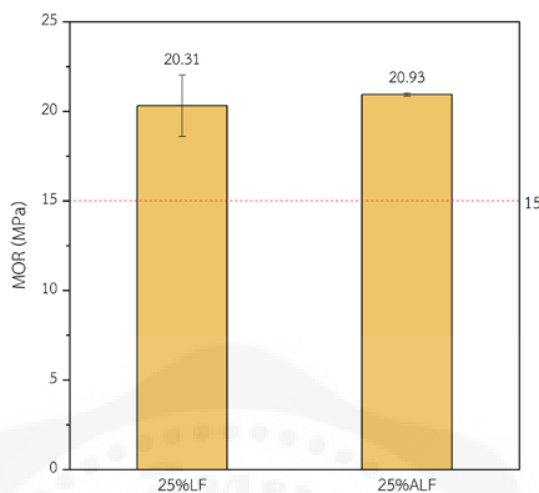
**ตารางที่ 11** แสดงความหนาแน่นของกาวลิกนินฟอร์มัลดีไฮด์ระหว่างลิกนินจากกะลาปาล์มและลิกนินเชิงพาณิชย์

ชนิดของกาว	ความหนาแน่นของกาว (g/mL)
25% LF	1.086 ± 0.014
25% ALF	1.088 ± 0.004

ผลจากตารางที่ 11 พบว่า ค่าความหนาแน่นของกาวทั้ง 2 ชนิด มีค่าที่ใกล้เคียงกัน แสดงว่า ลิกนินต่างกันไม่ส่งผลต่อค่าความหนาแน่นของกาว

#### 4.4.3 สมบัติทางกลของปาติเกลือบอร์ด

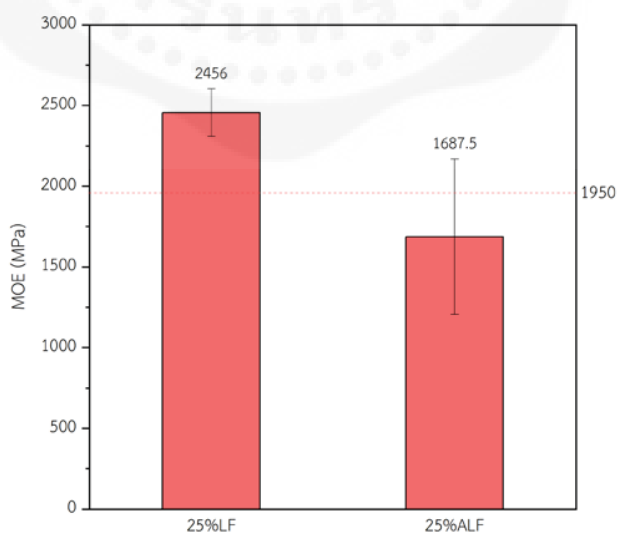
##### 4.4.3.1 ความต้านทานแรงดัด (Modulus of Rupture : MOR)



รูปที่ 26 แสดงค่าความต้านทานแรงดัดระหว่างกาว 25% ลิกนินฟอร์มัลดีไฮด์ ที่สกัดจาก กะลาปาล์ม และลิกนินเชิงพาณิชย์

จากรูปที่ 26 พบว่าค่า MOR ของปาติเกลือบอร์ดที่ใช้กาว 25% ลิกนินฟอร์มัลดีไฮด์จากลิกนินเชิงพาณิชย์ (25%ALF) โดยมีค่าเฉลี่ย 20.93 MPa ซึ่งให้ค่าที่มากกว่าลิกนินที่สกัดจาก กะลาปาล์ม (25%LF) เพียงเล็กน้อย โดยปาติเกลือบอร์ดจากกาวทั้ง 2 ชนิด ผ่านมาตรฐานมอก. 876-2547

##### 4.4.3.2 มอดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity : MOE)

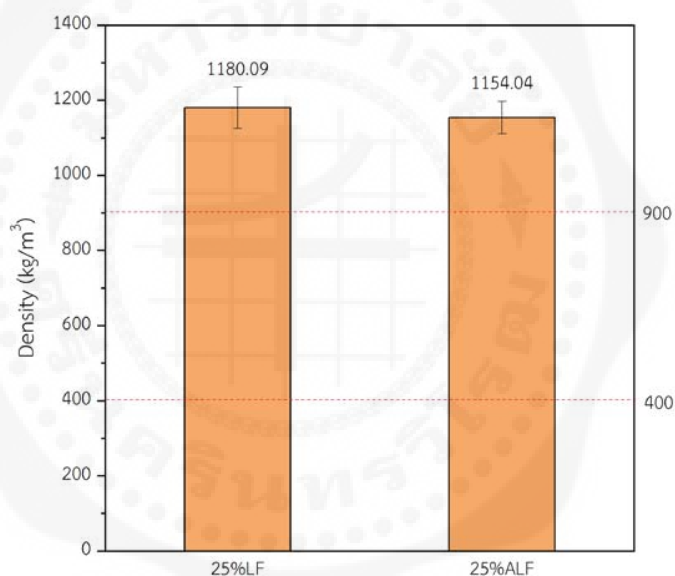


รูปที่ 27 แสดงค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นระหว่างกาว 25% ลิกนินฟอร์มัลดีไฮด์ ที่สกัดจากกะลาปาล์ม และลิกนินเชิงพาณิชย์

จากรูปที่ 27 พบว่าค่า MOE ของปาติเกลือบอร์ดที่ใช้กาว 25 % ลิกนินฟอร์มัลดีไฮด์จากลิกนินที่สกัดจากกะลาปาล์ม (25%LF) โดยมีค่าเฉลี่ย 2456 MPa และผ่านตามมาตรฐานมอก. 876-2547 ซึ่งให้ค่ามากกว่าปาติเกลือบอร์ดที่ใช้กาว 25% ลิกนินฟอร์มัลดีไฮด์จากลิกนินเชิงพาณิชย์ (25%ALF) ซึ่งกาวชนิดนี้ให้ค่า MOE เฉลี่ยที่ 1687.5 MPa มีค่าที่ต่ำกว่ามาตรฐาน จึงไม่ผ่านมาตรฐาน

#### 4.4.4 สมบัติทางกายภาพของปาติเกลือบอร์ด

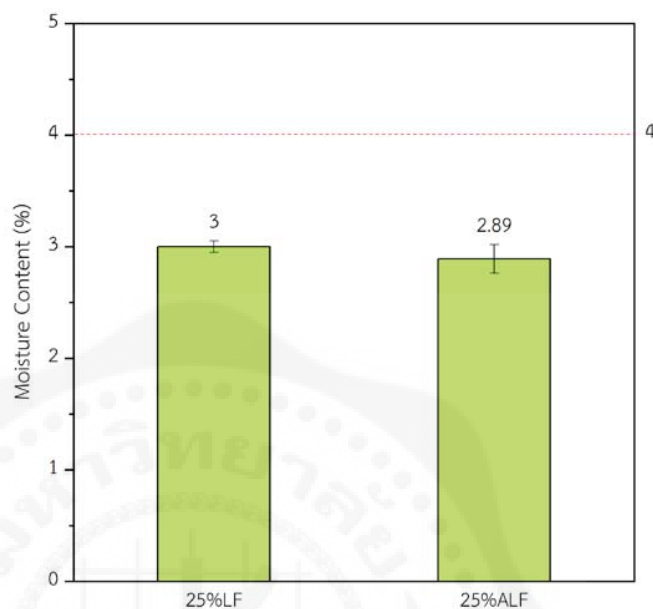
##### 4.4.4.1 ความหนาแน่นของปาติเกลือบอร์ด



รูปที่ 28 แสดงค่าความหนาแน่นของปาติเกลือบอร์ดระหว่างกาว 25% ลิกนินฟอร์มัลดีไฮด์ที่สกัดจากกะลาปาล์ม และลิกนินเชิงพาณิชย์

จากผลความหนาแน่นเฉลี่ยที่แสดงในรูปที่ 28 พบว่า ปาติเกลือบอร์ดมีค่าความหนาแน่นที่ใกล้เคียงกัน แต่มีความหนาแน่นมากกว่าช่วงมาตรฐานมอก. 876-2547 ซึ่งกำหนดให้ปาติเกลือบอร์ดมีความหนาแน่นในช่วง 400-900 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร ซึ่งถือว่าปาติเกลือบอร์ดจากกาวทั้ง 2 ชนิด ไม่ผ่านมาตรฐาน

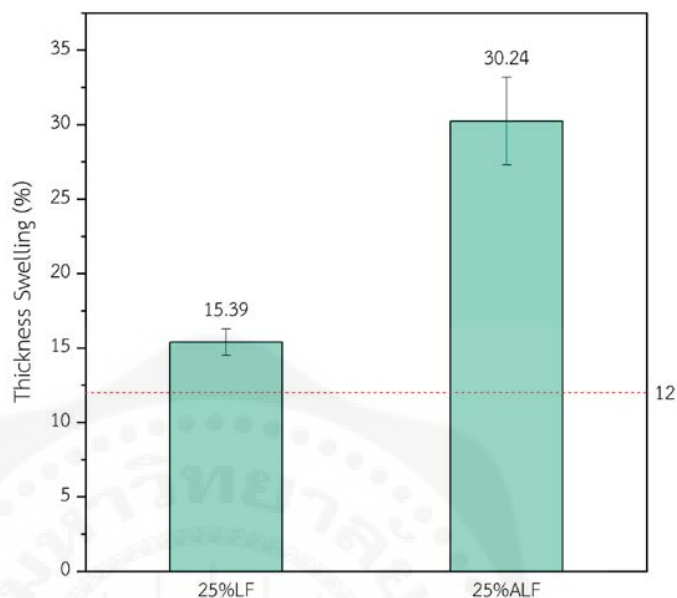
#### 4.4.4.2 ปริมาณความชื้นของปาดิเกลบอร์ต (Moisture Content)



รูปที่ 29 แสดงค่าปริมาณความชื้นของปาดิเกลบอร์ตระหว่างกาว 25% ลิกนินฟอร์มัลดีไฮด์ ที่สกัดจากกะลาปาล์ม และลิกนินเชิงพาณิชย์

จากผลปริมาณความชื้นในปาดิเกลบอร์ตที่แสดงในรูปที่ 29 พบว่า มีค่าที่ใกล้เคียงกัน จากมาตรฐาน มอก.876-2547 กำหนดร้อยละของปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 4-13% จะเห็นได้ว่าร้อยละความชื้นของปาดิเกลบอร์ตจากกาวทั้ง 2 ชนิด มีค่าต่ำกว่า 4% ซึ่งถือว่าต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด จึงไม่ผ่านมาตรฐาน

#### 4.4.4.3 การพองตัวตามความหนาของปาติเกลือบอร์ด (Thickness Swelling)



รูปที่ 30 แสดงค่าการพองตัวตามความหนาของปาติเกลือบอร์ดระหว่างกาว 25% ลิกนินพอร์มัลดีไฮด์ ที่สกัดจากกะลาปาล์ม และลิกนินเชิงพาณิชย์

จากผลของการพองตัวตามความหนาของปาติเกลือบอร์ดที่แสดงในรูปที่ 30 พบว่าปาติเกลือบอร์ดทุกแผ่นมีค่ามากกว่ามาตรฐานมอก.876-2547 กำหนด ซึ่งตามกำหนดจะต้องไม่เกิน 12% ซึ่งปาติเกลือบอร์ดจากกาวทั้ง 2 ชนิด ไม่ผ่านมาตรฐาน แต่จะสังเกตเห็นได้ว่าในปาติเกลือบอร์ดที่ใช้กาว 25% ลิกนินพอร์มัลดีไฮด์ที่สกัดจากกะลาปาล์ม (25% LF) มีค่าเฉลี่ย 15.39% มีค่าที่ใกล้เคียงกับมาตรฐาน ซึ่งมีค่าน้อยกว่าปาติเกลือบอร์ดที่ใช้กาว 25% ลิกนินพอร์มัลดีไฮด์จากลิกนินเชิงพาณิชย์ ซึ่งกาวชนิดนี้มีค่าเฉลี่ย 30.24% ซึ่งสูงกว่ามาตรฐานมาก

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

ผลของงานวิจัยนี้สามารถใช้ลิกนินที่สกัดจากกะลาปาล์มแทนที่ฟีนอลได้ 25% ซึ่งผลการทดลองจากงานวิจัยนี้ คือ สมบัติทางกล ได้แก่ ค่าเฉลี่ย MOR เท่ากับ 20.31 MPa และมีค่าเฉลี่ย MOE เท่ากับ 2,456 MPa ซึ่งผ่านมาตรฐานมอก. 876-2547 สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่นเฉลี่ย เท่ากับ 1180.09 kg/m<sup>3</sup> ปริมาณความชื้นเฉลี่ย 3% และการพองตัวตามความหนา 15.39 % ซึ่งไม่ผ่านมาตรฐาน แต่ค่าการพองตัวตามความหนา มีค่าที่ใกล้เคียงกับมาตรฐาน โดยเมื่อเปรียบเทียบกับลิกนินเชิงพาณิชย์ ให้ผลที่ดีกว่า เนื่องจาก ผ่านมาตรฐานเพียงค่า MOR เท่านั้น แสดงว่า การแทนที่ฟีนอลด้วยลิกนินที่สกัดจากกะลาปาล์ม สามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้กับกาวลิกนินฟอร์มัลดีไฮด์ได้ และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับกาวลิกนินฟอร์มัลดีไฮด์ที่ไม่มีการแทนที่เลย (0% LF) ก็ให้ผลที่ดีกว่าเช่นกัน ดังนั้น ในงานวิจัยนี้ เป็นการนำชีวมวลจากอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน ทั้งกะลาปาล์มมาสกัดลิกนินเพื่อแทนที่ฟีนอล ในกาวลิกนินฟอร์มัลดีไฮด์ และเส้นใยปาล์ม สามารถนำมาขึ้นรูปปาดิเกิ้ลบอร์ดได้

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาต่อ มีดังนี้

1. ควรมีการศึกษาความหนืดของกาวลิกนินฟอร์มัลดีไฮด์ในแต่ละสัดส่วน
2. ควรมีการศึกษาค่า Tensile shear strength ตามมาตรฐานกาว เพื่อศึกษาความแข็งแรงของกาวเบื้องต้นก่อนนำมาใช้งานกับเส้นใยที่เราจะใช้ศึกษา
3. ควรมีเครื่องพ่นสเปรย์กาวที่แม่นยำ หรือมีวิธีการที่แม่นยำมากกว่านี้ เพื่อให้กาวที่พ่นลงบนเส้นใยมีการกระจายตัวอย่างทั่วถึง ลดการเกาะกลุ่มกันของกาวและเส้นใย รวมถึงทำให้เราได้ผลที่แม่นยำ ลดข้อผิดพลาดกับชิ้นงาน

## บรรณานุกรม

- [ 1 ] N. Jarunjaruphat and S. Acharry, **The particleboard manufacturing from agricultural waste.** The Journal of KMUTNB, Vol. 28 No. 2, pp. 469–476, Apr.–Jun. 2018 (in Thai).
- [ 2 ] Kanidta Chairattanawan and Natphasuth Patthirasinsiri. **Emission Source Impact and Problem Solving and Management on PM 2.5 in the Northern part of Thailand.** Journal of the Association of Researchers, Vol. 25 No. 1, pp.461-474, Jan.-Apr. 2020 (in Thai).
- [ 3 ] Phakkawat Thongsaeng, Sudjit Karuchit and Prapat Pongkriatkul. **Source Apportionment of Particulate Matter Size Less Than 2.5 Micron in Nakhon Ratchasima City by PMF Model.** KKU RESEARCH JOURNAL (GRADUATE STUDIES), Vol.19 No.4, pp.100-110, Oct.-Dec. 2019 (in Thai).
- [ 4 ] Pollution Control Department. **โครงการศึกษาแหล่งกำเนิดและแนวทางการจัดการฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล.** Ministry of Natural Resources and Environment; 2020 [cited 2021 May 17]. Available from : <https://www.pcd.go.th/airandsound/โครงการศึกษาแหล่งกำเนิด/>
- [ 5 ] Thanaphum Laithaisong and Supakorn Tultrairatana. **Acute effect of pm2.5 from biomass burning on asthma-related hospital visits in Mae Sot, Tak province of Thailand: A time-series study.** Institute of Occupational and Environment Medicine, Nopparat Rajathanee Hospital, Vol. 10 No. 1, pp.36-48, Jan.-Apr. 2020 (in Thai).

- [ 6 ] Theerapong Borirak. **The Crisis Lessons from PM 2.5 Air Pollution.** EAU HERITAGE JOURNAL Science and Technology, Vol. 13 No. 3, pp.44-58, Sep.-Dec. 2019 (in Thai).
- [ 7 ] Office of Agricultural Economics. **ปาล์มน้ำมันปี2564.** คณะกรรมการพัฒนาคุณภาพข้อมูลด้านการเกษตร; 2021 [cited 2021 May 17]. Available from: [http://www.oae.go.th/assets/portals/1/fileups/forecastdata/files/forecast/situation/8S\\_PL.pdf](http://www.oae.go.th/assets/portals/1/fileups/forecastdata/files/forecast/situation/8S_PL.pdf)
- [ 8 ] Asfarizal Saad, Anwar Kasim, Gunawarman and Santosa. **Effect Of Fiber Length Of The Oil Palm Empty Fruit Bunch On Manufacture Particle Board With Urea Formaldehyde Adhesive Toward The Characteristics.** INTERNATIONAL JOURNAL OF SCIENTIFIC & TECHNOLOGY RESEARCH VOLUME 7, ISSUE 11, NOVEMBER 2018
- [ 9 ] Bancha Ratneetoo. **Effect of organic materials, by-products from palm oil mill as a soil improvement material on growth and yield of kale.** KHON KAEN AGRICULTURE JOURNAL SUPPL. 1: (2021)
- [ 10 ] Pakamas choosit and Kittipong Suweero. **The Phenol Resin Production of Ceiling T-Bar of Physic-nut.** Journal of Technical Education Development, Vol 98 No 2 (2016): progress of Center for the Advancement of test persons by profession. KMUTNB; 119 ; 0857-5452
- [ 11 ] Maloney TM. **Modern particleboard and dry process manufacturing.** San Francisco: Miller Freeman Inc.; 1993
- [ 12 ] Pawadee Methacanon , Voratham Oonjittichai . **การลิกนิน-ไคโตซาน: กาวที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม.** ปทุมธานี : สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ; 2549.

- [ 13 ] Bangon Changsap. **The near dangers : formaldehyde / formalin.** Division of Biological Science, Faculty of Science and Technology, Huachiew Chalermprakiet University, Samutprakarn. 2015 (in Thai).
- [ 14 ] อรุณี ศุภสินสาธิต. (2555). **พลังงานจากชีวมวลที่มีลิกโนเซลลูโลสสูง.** วารสารสิ่งแวดล้อม, ปีที่ 16 (เล่มที่ 2), 36-43.
- [ 15 ] Wipawan Kingkaew. **Optimization of Lignin Production from Agricultural Waste.** Department of Chemical Engineering. Kasetsart University, Bangkok. 2020 (in Thai)
- [ 16 ] Supranee Kaewpirom and Siridech Boonsang. **Green Composite from Poly(lactic acid) and Pineapple Leave Fiber.** Faculty of Science, Burapa University, Chonburi. 2014 (in Thai)
- [ 17 ] Vipaporn Na Thalang, Kulvadee Trongpanich and Saruda Lohana. **Nutritional values and cytotoxicity of palm press fiber from palm oil mills.** Institute of Food Research and Product Development, Kasetsart University, Bangkok.
- [ 18 ] Hamzah N, Tokimatsu K, Yoshikawa K. **Solid Fuel from Oil Palm Biomass Residues and Municipal Solid Waste by Hydrothermal Treatment for Electrical Power Generation in Malaysia: A Review.** Sustainability. 2019; 11(4):1060. <https://doi.org/10.3390/su11041060>
- [19] ฟีนอล. (2565, มีนาคม). ใน วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. สืบค้นเมื่อ 1 เมษายน 2565, จาก <https://th.wikipedia.org/wiki/ฟีนอล>
- [20] สุรินทร์ อยู่ยง. (2559). **ฟอร์มาลีน-ฟอร์มาลดีไฮด์.** ภาควิชาเภสัชเคมี คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. สืบค้นจาก <https://pharmacy.mahidol.ac.th/th/knowledge/article/322/ฟอร์มาลีน-ฟอร์มาลดีไฮด์>. (Online)

- [ 21 ] Rubber Intelligence Unit. **กาารสำหรับงานไม้**. [สืบค้นจาก:  
[http://rubber.oie.go.th/box/ELib\\_Document/4933/%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A7%E0%B8%AA%E0%B8%B3%E0%B8%AB%E0%B8%A3%E0%B8%B1%E0%B8%9A%E0%B8%87%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B9%84%E0%B8%A1%E0%B9%89.pdf](http://rubber.oie.go.th/box/ELib_Document/4933/%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A7%E0%B8%AA%E0%B8%B3%E0%B8%AB%E0%B8%A3%E0%B8%B1%E0%B8%9A%E0%B8%87%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B9%84%E0%B8%A1%E0%B9%89.pdf) (Online).
- [ 22 ] Muhammad Nor Arifin Yaakob, Rasidi Roslan, Nurjannah Salim and Sarani Zakaria. **Comparison of Phenol-Formaldehyde and Lignin-Formaldehyde Resin Adhesives for Wood Application**. Materials Science Forum. Vol. 1025, pp 307-311. (2021)
- [ 23 ] Hamed Younesi-Kordkheili and Antonio Pizzi. **A Comparison among Lignin Modification Methods on the Properties of Lignin-Phenol-Formaldehyde Resin as Wood Adhesive**. Polymers 2021, 13(20), 3502; <https://doi.org/10.3390/polym13203502>
- [ 24 ] Trairat Neimsuwan. **Manufacturing of Particleboard and Fiberboard Technology**. Faculty of Forestry. Department of Forest Products. Kasetsart University, Bangkok (Thailand). (2021)
- [ 25 ] **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.876-2547 (Thai Industrial Standard). แผ่นขึ้นไม้อัดชนิดราบ Flat pressed Particleboard. 2547;121:1-2.**
- [ 26 ] Nihat SÇetin and Nilgöl Özmen. **Use of organosolv lignin in phenol-formaldehyde resins for particleboard production: II. Particleboard production and properties**. International Journal of Adhesion and Adhesives, Volume 22, Issue 6, 2002, Pages 481-486

- [ 27 ] Nihat SÇetin and Nilgöl Özmen. **Studies on Lignin-Based Adhesives for Particleboard Panels.** Journal of Agriculture and Forestry, Turk Tarim ve Ormancilik Dergisi/Turkish 27(3):183-189 (2003).
- [ 28 ] M. A. Khan and S. M. Ashraf. **Development and characterization of a lignin-phenol-formaldehyde wood adhesive using coffee bean shell.** Journal of Adhesion Science and Technology, Volume 19, Issue 6, 2005, Pages 493-509.
- [ 29 ] Masoumeh Ghorbani, Falk Liebner, Hendrikus W. G. van Herwijnen, Lorenz Pfungen, Maria Krahofer, Enkhjargal Budjav and Johannes Konnerth **Lignin Phenol Formaldehyde Resoles: The Impact of Lignin Type on Adhesive Properties.** BioResources 11(3), 6727-6741.
- [ 30 ] Somayyeh Kalami, Maryam Arefmanesh, Emma Master and Mojgan Nejad. **Replacing 100% of phenol in phenolic adhesive formulations with lignin.** J. APPL. POLYM. SCI. 2017, DOI: 10.1002/APP.45124
- [ 31 ] Yu Chen, Xiaowu Gong, Gaoshan Yang, Qin Li and Na Zhou. **Preparation and characterization of a nanolignin phenol formaldehyde resin by replacing phenol partially with lignin nanoparticles.** RSC Adv., 2019, 9, 29255–29262
- [ 32 ] Mohd Arif Fikri Mohamad Adnan et a'. Mohd Arif Fikri Mohamad. **Studies on Lignin- Based Adhesives for Particleboard Panels.** Applied Mechanics and Materials Vol 372 (2013) pp 101-103

- [ 33 ] Chen Chiang Tay, Sinin Hamdan and Mohd Shahril B. Osman. **Properties of Sago Particleboards Resinated with UF and PF Resin.** Hindawi Publishing Corporation Advances in Materials Science and Engineering Volume 2016, Article ID 5323890, 12 pages. <http://dx.doi.org/10.1155/2016/5323890>
- [ 34 ] Viviane Teixeira Iwakiri, Rosilani Trianoski, Dalton Luiz Razera, Setsuo Iwakiri and Liago Souza da Rosa. **Production of Structural Particleboard of Mimosa Scabrella Benth With Lignin Phenol-formaldehyde Resin.** Floresta e Ambiente 2019; 26(3): e20171006 <https://doi.org/10.1590/2179-8087.100617>
- [ 35 ] Jiongjong Li, Jizhi Zhang, Shifeng Zhang, Qiang Gao, Jianzhang Li, Wei Zhang. **Alkali lignin depolymerization under eco-friendly and cost-effective NaOH/ urea aqueous solution for fast curing bio-based phenolic resin.** Industrial Crops & Products 120 (2018) 25–33. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.04.027>



ภาคผนวก ก  
ตารางข้อมูลการทดลองอื่นๆ

1. การสังเคราะห์กาวลิกนินฟอร์มัลดีไฮด์

ตารางภาคผนวกที่ 1 แสดงความหนาแน่นของกาวลิกนินฟอร์มัลดีไฮด์

กาว	ครั้งที่	ความหนาแน่น (g/mL)	เฉลี่ย	sd	%error
0%LF	1	1.0714	1.0756	0.004	0.34
	2	1.0782			
	3	1.0773			
25%LF	1	1.0705	1.0856	0.014	1.26
	2	1.0972			
	3	1.0892			
50%LF	1	1.0940	1.0972	0.003	0.26
	2	1.0995			
	3	1.0982			
75%LF	1	1.095	1.0988	0.003	0.30
	2	1.1005			
	3	1.1009			
100%LF	1	1.3773	1.3732	0.006	0.47
	2	1.3658			
	3	1.3732			
25%ALF	1	1.0925	1.0884	0.004	0.33
	2	1.0866			
	3	1.0861			

## 2. การขึ้นรูปปาติเกิลบอร์ด

### 2.1 ความหนาแน่นของปาติเกิลบอร์ด

ตารางภาคผนวก 2 แสดงความหนาแน่นของปาติเกิลบอร์ด

กาว	ครั้งที่	ความหนาแน่น (kg/m <sup>3</sup> )	เฉลี่ย	sd	%error
0%LF	1	1122.90	<b>1154.72</b>	30.52	2.64
	2	1157.49			
	3	1183.76			
25%LF	1	1116.50	<b>1180.09</b>	55.08	4.67
	2	1213.23			
	3	1210.53			
50%LF	1	1113.80	<b>1152.35</b>	34.09	2.96
	2	1164.75			
	3	1178.50			
75%LF	1	1060.80	<b>1126.51</b>	67.76	6.01
	2	1196.14			
	3	1122.59			
100%LF	1	1114.44	<b>1101.27</b>	27.03	2.45
	2	1119.19			
	3	1070.18			
25%ALF	1	1196.69	<b>1154.04</b>	43.13	3.74
	2	1110.44			
	3	1155.00			

## 2.2 ค่าความต้านแรงดัด (Modulus of Rupture : MOR)

## ตารางภาคผนวก 3 แสดงความต้านทานแรงดัดของปาติเกิลบอร์ด

กาว	ครั้งที่	MOR (MPa)	เฉลี่ย	sd	%error
0%LF	1	21.03	19.48	1.35	6.91
	2	18.61			
	3	18.80			
25%LF	1	21.52	19.13	2.37	12.39
	2	19.09			
	3	16.78			
50%LF	1	21.48	19.09	2.34	12.27
	2	18.98			
	3	16.80			
75%LF	1	21.97	17.08	5.39	31.56
	2	17.96			
	3	11.30			
100%LF	1	14.03	9.94	3.56	35.83
	2	8.31			
	3	7.49			
25%ALF	1	24.72	22.19	2.19	9.86
	2	20.99			
	3	20.87			

หมายเหตุ : ค่า MOR นี้ ไม่ได้ตัดแผ่นไม้ที่มีค่า error

## 2.3 ค่ามอดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity : MOE)

ตารางภาคผนวก 4 แสดงมอดูลัสยืดหยุ่นของปาติเกิลบอร์ด

กาว	ครั้งที่	MOE (MPa)	เฉลี่ย	sd	%error
0%LF	1	1441	1981.33	621.16	31.35
	2	1843			
	3	2660			
25%LF	1	2560	2235.00	396.66	17.75
	2	1793			
	3	2352			
50%LF	1	2579	1940.67	563.95	29.06
	2	1510			
	3	1733			
75%LF	1	1384	1579.67	471.04	29.82
	2	2117			
	3	1238			
100%LF	1	1148	1036.33	263.86	25.46
	2	1226			
	3	735			
25%ALF	1	2028	2244.00	1022.26	45.56
	2	1347			
	3	3357			

หมายเหตุ : ค่า MOE นี้ ไม่ได้ตัดแผ่นไม้ที่มีค่า error

## 2.4 ปริมาณความชื้น (Moisture Content)

## ตารางภาคผนวก 5 แสดงปริมาณความชื้นของปาติเกลือบอร์ด

กาว	ครั้งที่	น้ำหนัก ก่อนอบ	น้ำหนัก หลังอบ	MC (%)	เฉลี่ย	sd	%error
0%LF	1	16.22	15.73	3.13	3.14	0.16	4.95
	2	16.80	16.27	3.29			
	3	16.75	16.26	2.98			
25%LF	1	16.58	16.09	3.03	3.12	0.21	6.79
	2	16.87	16.33	3.36			
	3	16.56	16.09	2.96			
50%LF	1	16.74	16.23	3.13	2.91	0.28	9.69
	2	16.80	16.31	3.01			
	3	16.58	16.16	2.59			
75%LF	1	17.82	17.35	2.73	2.97	0.29	9.72
	2	16.86	16.32	3.29			
	3	16.74	16.27	2.89			
100%LF	1	16.86	16.33	3.29	3.07	0.27	8.90
	2	16.69	16.25	2.76			
	3	16.58	16.07	3.16			
25%ALF	1	16.69	16.23	2.80	2.71	0.31	11.58
	2	16.60	16.22	2.37			
	3	16.65	16.16	2.98			

หมายเหตุ : ค่าปริมาณความชื้นนี้ ไม่ได้ตัดแผ่นไม้ที่มีค่า error

## 2.5 การพองตัวตามความหนา (Thickness Swelling)

ตารางภาคผนวก 6 แสดงความหนาก่อนแช่น้ำและหลังแช่น้ำ

กาว	ครั้งที่	ความหนาก่อนแช่น้ำ				ความหนาหลังแช่น้ำ			
		X1	X2	X3	เฉลี่ย	X1	X2	X3	เฉลี่ย
0%LF	1.1	3.255	3.157	3.081	3.164	4.672	4.497	4.405	4.525
	1.2	3.115	3.036	2.957	3.036	4.460	3.710	3.657	3.942
	2.1	3.138	3.215	3.271	3.208	3.626	4.060	4.586	4.091
	2.2	3.152	3.199	3.247	3.199	4.385	4.430	4.376	4.397
	3.1	3.062	3.111	3.167	3.113	4.112	4.173	4.222	4.169
	3.2	3.096	3.136	3.196	3.143	3.449	3.627	3.587	3.554
25%LF	1.1	3.287	3.346	3.405	3.346	4.764	4.709	4.969	4.814
	1.2	3.183	3.226	3.290	3.233	3.824	3.537	3.830	3.730
	2.1	3.049	3.112	3.145	3.102	3.343	3.397	3.838	3.526
	2.2	3.014	3.086	3.173	3.091	3.717	3.402	3.625	3.581
	3.1	3.060	3.035	3.007	3.034	3.625	3.633	3.364	3.541
	3.2	3.047	3.009	2.958	3.005	3.442	3.391	3.562	3.465
50%LF	1.1	3.133	3.198	3.266	3.199	3.889	3.991	4.623	4.168
	1.2	3.222	3.275	3.361	3.286	4.415	3.916	4.918	4.416
	2.1	3.210	3.156	3.129	3.165	4.512	4.374	4.212	4.366
	2.2	3.194	3.163	3.131	3.163	4.186	4.039	3.800	4.008
	3.1	3.137	3.048	3.000	3.062	4.443	4.034	3.871	4.116
	3.2	3.132	3.075	3.016	3.074	4.236	4.178	4.143	4.186
75%LF	1.1	3.764	3.652	3.609	3.675	6.121	5.805	5.925	5.950
	1.2	3.702	3.615	3.551	3.623	6.271	5.724	5.676	5.890
	2.1	3.033	3.124	3.091	3.091	3.858	3.879	3.917	3.885
	2.2	3.068	3.125	3.123	3.123	3.967	4.165	4.417	4.183
	3.1	3.276	3.294	3.358	3.309	4.862	4.794	4.739	4.798
	3.2	3.176	3.212	3.255	3.214	5.623	5.208	5.113	5.315
100%LF	1.1	3.343	3.332	3.368	3.348	6.353	6.237	6.321	6.304
	1.2	3.287	3.329	3.380	3.332	6.583	6.351	6.796	6.577
	2.1	3.268	3.326	3.374	3.323	5.808	5.465	5.842	5.699
	2.2	3.213	3.293	3.332	3.279	5.160	5.861	5.879	5.633
	3.1	3.455	3.556	3.527	3.513	6.919	6.083	6.653	6.552
	3.2	3.405	3.418	3.463	3.429	6.556	6.143	6.493	6.397
25%ALF	1.1	3.090	3.061	3.026	3.059	3.614	3.604	3.818	3.679
	1.2	3.126	3.085	3.064	3.092	3.586	3.44	3.423	3.483
	2.1	3.298	3.349	3.361	3.336	5.080	4.908	4.646	4.878
	2.2	3.222	3.247	3.264	3.244	3.943	3.807	3.737	3.829
	3.1	3.180	3.267	3.337	3.261	4.005	4.473	4.386	4.288
	3.2	3.040	3.081	3.148	3.090	4.298	3.663	3.594	3.852

ตารางภาคผนวก 7 แสดงการพองตัวตามความหนาของปาติเกิลบอร์ด

กาว	ครั้งที่	ความหนา ก่อนแช่น้ำ	ความหนา หลังแช่น้ำ	MC (%)	เฉลี่ย	sd	%error
0%LF	1	3.10	4.23	36.56	30.83	6.71	21.76
	2	3.20	4.24	32.47			
	3	3.13	3.86	23.45			
25%LF	1	3.29	4.27	29.87	20.22	8.38	41.47
	2	3.10	3.55	14.76			
	3	3.02	3.50	16.01			
50%LF	1	3.24	4.29	32.37	33.34	1.70	5.09
	2	3.16	4.19	32.34			
	3	3.07	4.15	35.29			
75%LF	1	3.65	5.92	62.25	49.04	17.01	34.70
	2	3.11	4.03	29.84			
	3	3.26	5.06	55.02			
100%LF	1	3.34	6.44	92.83	83.68	10.88	13.00
	2	3.30	5.67	71.65			
	3	3.47	6.47	86.55			
25%ALF	1	3.08	3.58	16.44	25.64	8.23	32.11
	2	3.29	4.35	32.32			
	3	3.18	4.07	28.16			

หมายเหตุ : ค่าการพองตัวตามความหนานี้ ไม่ได้ตัดแผ่นไม้ที่มีค่า error



ภาคผนวก ข  
รูปการทดลองอื่นๆ

ภาคผนวก ข  
รูปการทดลองอื่นๆ



รูปภาคผนวก 1 แสดงการบดกะลาปาล์ม



รูปภาคผนวก 3 ผงกะลาปาล์ม หลังผ่านการบดและอบแล้ว



รูปภาคผนวก 4 แสดงการ Autoclave กะลาปาล์ม



รูปภาคผนวก 5 แสดงการกรองสุญญากาศ



รูปภาคผนวก 5 แสดงการตักตะกอนลิกนินด้วยกรดไฮโดรคลอริก



รูปภาคผนวก 6 แสดงสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

a.) Alkali lignin b.) Phenol crystalline c.) Formaldehyde solution



รูปภาพผนวก 7 แสดงการตัดบดเส้นใยปาล์ม



รูปภาพผนวก 6 แสดงเส้นใยปาล์มที่ผ่านการอบและตัดบดแล้ว



รูปภาคผนวก 8 แสดงปาดิเกล็ลบอร์คทุกแผ่นหลังจากอัดร็อน



รูปภาพผนวก 10 แสดงการเตรียมตัวอย่างเพื่อหาปริมาณความชื้น



รูปภาพผนวก 11 แสดงการเตรียมตัวอย่างเพื่อหาการพองตัวของดินตามความหนา



รูปภาพผนวก 9 แสดงตัวอย่างหลังแช่น้ำเป็นเวลา 1 ชั่วโมง  
และซับน้ำออกทิ้งไว้อีก 1 ชั่วโมง

## ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	สุชานันท์ สุขศรี
วัน เดือน ปี เกิด	11 กุมภาพันธ์ 2543
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษา	พ.ศ. 2560 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสตรีวิทยา๒ ในพระราชูปถัมภ์สมเด็จพระศรีนครินทราบรมราชชนนี กรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2564 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

