



Study on Production of Binderless Particleboard from Rice Straw Mixed with
Banana Pseudostem

ศึกษาการผลิตแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดแบบไร้สารยึดเกาะจากฟางข้าวผสมกับกาบกล้วยน้ำว้า

นางสาวณัฏฐ์นรี	ศโรภาส
นางสาวประพาภรณ์	หวัไจสุทธิ์
นางสาวไศรดา	นรทัต

โครงการทางวัสดุศาสตร์ เป็นส่วนหนึ่งของหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวัสดุศาสตร์
ภาควิสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ปีการศึกษา 2564



Study on Production of Binderless Particleboard from Rice Straw Mixed with
Banana Pseudostem

ศึกษาการผลิตแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดแบบไร้สารยึดเกาะจากฟางข้าวผสมกับกาบกล้วยน้ำว้า

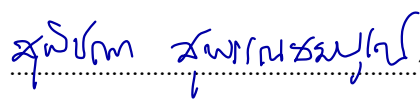
นางสาวณัฏฐ์นรี	ศโรภาส
นางสาวประพาภรณ์	หวัจสุทธิ์
นางสาวไศรดา	นรทัต

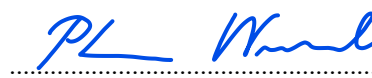
โครงการทางวัสดุศาสตร์ เป็นส่วนหนึ่งของหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวัสดุศาสตร์
ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ปีการศึกษา 2564

ชื่อเรื่อง	ศึกษาการผลิตแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดแบบไร้สารยึดเกาะจากฟางข้าวผสมกับ กากกล้วยน้ำว้า Study on Production of Binderless Particleboard from Rice Straw Mixed with Banana Pseudostem
ชื่อผู้วิจัย	นางสาวณัฐนรี ศโรภาส นางสาวประพาภรณ์ หัวใจสุทธิ นางสาวไศรดา นรทัต
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุพิชฌา สุพรรณสมบูรณ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปณิธาน วนากมล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุรีพรรณ สุพรรณสมบูรณ์

โครงการทางวัสดุศาสตร์นี้ ให้นับเป็นส่วนหนึ่งของหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวัสดุศาสตร์
ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุพิชฌา สุพรรณสมบูรณ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปณิธาน วนากมล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุรีพรรณ สุพรรณสมบูรณ์)

กิตติกรรมประกาศ

โครงการทางวัสดุศาสตร์ฉบับนี้จะเกิดขึ้นไม่ได้หากไม่ได้รับความอนุเคราะห์ การสนับสนุน และการช่วยเหลือจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพิชฌา สุพรรณสมบูรณ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปณิธาน วนากมล และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุริยพรรณ สุพรรณสมบูรณ์ ที่ปรึกษาทางโครงการผู้ที่ให้คำแนะนำตรวจทานจนไปถึงการติดตามความก้าวหน้าในการดำเนินการวิจัยของผู้วิจัย คณาจารย์ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ซึ่งมีส่วนช่วยให้คำแนะนำการดำเนินงานโครงการเป็นไปด้วยดี และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ไตรรัตน์ เนียมสุวรรณ ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ถ่ายทอดวิชาความรู้ทางด้านเทคโนโลยีการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดและแผ่นใยไม้อัดให้แก่ผู้วิจัย ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาของอาจารย์ทุกท่านที่ให้การปรึกษาโครงการวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

บทคัดย่อ

แผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดที่ใช้อยู่ในปัจจุบันถูกผลิตขึ้นด้วยกาวสังเคราะห์ที่มีสารฟอร์มาลดีไฮด์ ซึ่งถือเป็นสารที่มีความเป็นอันตรายต่อสุขภาพและก่อให้เกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นการพัฒนาแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดแบบไร้สารยี้ดเกาะจึงเป็นที่น่าสนใจ โดยสมบัติการยี้ดเกาะจากวัสดุกลีโนเซลลูโลสที่มีอยู่ในวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรได้ถูกนำมาใช้เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดแบบไร้สารยี้ดเกาะโดยใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ได้แก่ ฟางข้าวและกากกล้วยน้ำว้า ซึ่งวัตถุดิบเหล่านี้มีอยู่ปริมาณมาก ปลูกง่าย และเติบโตเร็ว งานวิจัยนี้ศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้ฟางข้าวและกากกล้วยน้ำว้าในการนำมาผลิตเป็นแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดแบบไร้สารยี้ดเกาะ ศึกษาสภาวะการเตรียมที่เหมาะสมสำหรับการผลิตโดยใช้อัตราส่วนของฟางข้าวต่อกากกล้วยน้ำว้า 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 และ 0:100 อุณหภูมิการอัด 140 160 และ 180 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการอัด 10 และ 30 นาที ให้แรงดันในการอัด 5 MPa การศึกษาสมบัติทางกลและทางกายภาพของตัวอย่างขึ้นทดสอบแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ด ประกอบด้วยการทดสอบทางกลเพื่อหาค่าความต้านแรงดัด (MOR) โมดูลัสยืดหยุ่น (MOE) การทดสอบทางกายภาพเพื่อหาความหนาแน่น ปริมาณความชื้น และการพองตัวตามความหนา (TS) รวมถึงมีการวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) จากการทดสอบพบว่า ความเป็นไปได้ในการนำฟางข้าวและกากกล้วยน้ำว้ามาทำการอัดขึ้นรูปด้วยความร้อนเพื่อผลิตเป็นแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ด โดยมีสภาวะการเตรียมที่เหมาะสมที่อัตราส่วนของฟางข้าวต่อกากกล้วยน้ำว้า คือ 0:100 และ อุณหภูมิการอัดร้อนที่เหมาะสม คือ 180 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 นาที โดยสัดส่วนของกากกล้วยน้ำว้าที่มาก อุณหภูมิการอัดสูง และระยะเวลาการอัดที่นานจะทำให้แผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดมีความหนาแน่น สมบัติเชิงกล และการยี้ดติดที่ดี ซึ่งสมบัติดังกล่าวจะลดลงเมื่อสัดส่วนของกากกล้วยน้ำว้าลดลง เนื่องจากกากกล้วยน้ำว้ามีปริมาณของไฮโดรเซลลูโลสและลิกนินที่มากกว่า นอกจากนี้แผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดที่มีสัดส่วนของกากกล้วยน้ำว้า อุณหภูมิการอัด และระยะเวลาการอัดที่สูงจะส่งผลให้ความชื้นของแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดมีค่าต่ำลง ซึ่งมีเพียงแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดที่มีอัตราส่วนของฟางข้าวต่อกากกล้วยน้ำว้า 100:0 ในทุกช่วงอุณหภูมิและระยะเวลาการอัดร้อนที่มีความชื้นอยู่ในระดับที่เหมาะสม

คำสำคัญ: แผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดแบบไร้สารยี้ดเกาะ, ฟางข้าว, กากกล้วยน้ำว้า, วัสดุกลีโนเซลลูโลส

Abstract

The particleboards currently being used are manufactured with synthetic adhesives containing formaldehyde. It is a substance that is harmful to health and has a negative impact on the environment. Therefore, the development of a binderless particleboard is interesting. The adhesion properties of the lignocellulose material in agricultural waste have been used to develop environmentally friendly products. This research aims to develop binderless particleboard using agricultural waste materials such as rice straw and banana pseudostem. These raw materials are abundant, easy to grow and fast growing. This research explored the feasibility of using rice straw and banana pseudostem to produce binderless particleboards. The optimal preparation conditions for production were carried out using the ratio of rice straw to banana pseudostem at 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 and 0:100, pressing temperatures of 140, 160 and 180 °C, compression times of 10 and 30 minutes and pressure of 5 MPa. The mechanical modulus of rupture (MOR) and modulus of elasticity (MOE) and physical properties density moisture content and thickness swelling (TS) of particleboard were investigated. Morphological analysis was studied by scanning electron microscopy (SEM). It was found that it is possible to produce particleboard from rice straw and banana pseudostem. The optimum preparation condition was are with the ratio of rice straw to the banana pseudostem at 0:100 and pressing temperature at 180 °C for 30 minutes. The high percentage of banana pseudostem, high temperature and long compression time resulted in good density, mechanical properties, and adhesion. These properties will decrease when the proportion of the banana pseudostem decreases. due to the higher content of holocellulose and lignin in the banana pseudostem. Binderless particleboard with a high percentage of banana pseudostem, high temperature and compression time will result in lower moisture content of the particleboard. The 100 percent rice straw binderless particleboard in all temperatures and hot-pressing periods provide optimum humidity.

Keywords: Binderless Particleboard, Rice Straw, Banana Pseudostem, Lignocellulose Materials

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ	ข
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญรูปภาพ	ช
สารบัญตาราง	ญ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหางานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	4
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไม้ประกอบ (Wood composites)	5
2.1.1 โครงสร้างของแผ่นขึ้นไม้อัด	6
2.1.2 ไม้ปาร์ติเกิลบอร์ด	7
2.1.3 ไม้ปาร์ติเกิลบอร์ดแบบไร้สารยึดเกาะ	7
2.2 วัสดุลิกโนเซลลูโลส (Lignocellulose)	8
2.2.1 เซลลูโลส	9
2.2.2 เฮมิเซลลูโลส	9
2.2.3 ลิกนิน	10
2.3 ต้นข้าว	11
2.3.1 ลักษณะทั่วไปของต้นข้าว	11
2.3.1.1 ลักษณะที่เกี่ยวกับการเจริญเติบโตของต้นข้าว	11
2.3.1.2 ลักษณะที่เกี่ยวกับการขยายพันธุ์ของต้นข้าว	12
2.3.2 ฟางข้าว	13
2.4 ต้นกล้วย	14
2.4.1 ลักษณะทั่วไปของต้นกล้วย	14
2.3.1.1 ลักษณะที่เกี่ยวกับการเจริญเติบโตของต้นกล้วย	15
2.3.1.2 ลักษณะที่เกี่ยวกับการขยายพันธุ์ของต้นกล้วย	16
2.4.2 กาบกล้วย	17
2.5 การปรับสภาพวัตถุดิบ	18

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.1 การปรับสภาพด้วยวิธีทางกายภาพ	19
2.5.2 การปรับสภาพด้วยวิธีทางเคมี	19
2.5.3 การปรับสภาพด้วยวิธีทางชีวภาพ	19
2.5.4 การปรับสภาพด้วยวิธีทางกายภาพร่วมกับเคมี	19
2.6 กระบวนการอัดร้อน	19
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	20
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	
3.1 วัสดุ	22
3.1.1 ฟางข้าว	22
3.1.2 กาบกล้วยน้ำว้า	22
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ	22
3.2.1 อุปกรณ์การเตรียม	22
3.2.2 อุปกรณ์และเครื่องมือในการขึ้นรูป	22
3.2.3 เครื่องมือสำหรับการทดสอบ	23
3.3 การดำเนินการวิจัย	24
3.3.1 การเตรียมและการคัดขนาดของวัสดุ	25
3.3.2 การขึ้นรูปแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดแบบไร้สารยึดเกาะ	25
3.3.3 การทดสอบทางกล	26
3.3.3.1 การทดสอบความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น	26
3.3.4 การทดสอบทางกายภาพ	27
3.3.4.1 การทดสอบความหนาแน่น	27
3.3.4.2 การทดสอบปริมาณความชื้น	28
3.3.4.3 การทดสอบการพองตัวตามความหนา	29
3.3.5 การวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ ส่องกราด	29
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	
4.1 การทดสอบทางกายภาพ	30
4.1.1 ผลของการทดสอบความหนาแน่น	30
4.1.2 ผลของการทดสอบปริมาณความชื้น	33
4.1.3 ผลของการทดสอบการพองตัวตามความหนา	36
4.2 การทดสอบทางกล	40

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.1 ผลของการทดสอบความต้านแรงดัด	40
4.2.2 ผลของการทดสอบมอดุลัสยืดหยุ่น	42
4.2 การวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดแบบไร้สารยึดเกาะ จากฟางข้าวผสมกับกากกล้วยน้ำว้าด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)	44
4.3.1 การเปรียบเทียบตามอัตราส่วนของฟางข้าวต่อกากกล้วยน้ำว้าที่แตกต่างกัน คือ 100:0, 50:50 และ 0:100	44
4.3.2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติที่ทำการขึ้นรูปที่แตกต่างกัน คือ 140, 160, 180 องศาเซลเซียส	45
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย	47
5.1.1 การศึกษาสมบัติทางกายภาพ	47
5.1.2 การศึกษาสมบัติทางกล	47
5.2 ข้อเสนอแนะ	48
บรรณานุกรม	49
ภาคผนวก	54
ประวัติผู้วิจัย	57

สารบัญรูป

หน้า

ภาพประกอบที่ 2.1 แสดงการจำแนกผลิตภัณฑ์ไม้ประเภทต่าง ๆ	6
ภาพประกอบที่ 2.2 แสดงลักษณะการยึดติดของปาร์ติเกิลบอร์ดแบบไร้สารยึดเกาะ	8
ภาพประกอบที่ 2.3 แสดงโครงสร้างของเซลลูโลส	9
ภาพประกอบที่ 2.4 แสดงโครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส	10
ภาพประกอบที่ 2.5 แสดงโครงสร้างของลิกนิน	10
ภาพประกอบที่ 2.6 แสดงลักษณะของต้นข้าว	13
ภาพประกอบที่ 2.7 แสดงลักษณะลำต้นและการแตกกอของกล้วย	15
ภาพประกอบที่ 2.8 แสดงภาพตัดขวางและเส้นใยของต้นกล้วย ใบ และก้านกล้วย	17
ภาพประกอบที่ 2.9 แสดงการปรับสภาพวัสดุลิกโนโลเซลลูโลส	18
ภาพประกอบที่ 3.1 แสดงแผนผังการดำเนินงาน	24
ภาพประกอบที่ 3.2 แสดงการทดสอบความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น	27
ภาพประกอบที่ 3.3 แสดงตำแหน่งที่วัดความกว้าง ความยาว และความหนาของชิ้นทดสอบ	28
ภาพประกอบที่ 3.4 แสดงวิธีการวัดความกว้าง ความยาวของชิ้นทดสอบ	28
ภาพประกอบที่ 4.1 แสดงความหนาแน่นของฟางข้าวต่อกาบกล้วยน้ำว่าที่อัตราส่วน 100:0	31
ภาพประกอบที่ 4.2 แสดงความหนาแน่นของฟางข้าวต่อกาบกล้วยน้ำว่าที่อัตราส่วน 0:100	31
ภาพประกอบที่ 4.3 แสดงความหนาแน่นของฟางข้าวต่อกาบกล้วยน้ำว่าที่อัตราส่วน (ก) 100:0 (ข) 75:25 (ค) 50:50 (ง) 25:75 (จ) 0:100	32
ภาพประกอบที่ 4.4 แสดงปริมาณความชื้นของฟางข้าวต่อกาบกล้วยน้ำว่าที่อัตราส่วน 100:0	34
ภาพประกอบที่ 4.5 แสดงปริมาณความชื้นของฟางข้าวต่อกาบกล้วยน้ำว่าที่อัตราส่วน 0:100	34
ภาพประกอบที่ 4.6 แสดงปริมาณความชื้นของฟางข้าวต่อกาบกล้วยน้ำว่าที่อัตราส่วน (ก) 100:0 (ข) 75:25 (ค) 50:50 (ง) 25:75 (จ) 0:100	35
ภาพประกอบที่ 4.7 แสดงการพองตัวตามความหนาของฟางข้าวต่อกาบกล้วยน้ำว่าที่อัตราส่วน 100:0	37
ภาพประกอบที่ 4.8 แสดงการพองตัวตามความหนาของฟางข้าวต่อกาบกล้วยน้ำว่าที่อัตราส่วน 0:100	37
ภาพประกอบที่ 4.9 แสดงการพองตัวตามความหนาของฟางข้าวต่อกาบกล้วยน้ำว่าที่อัตราส่วน (ก) 100:0 (ข) 75:25 (ค) 50:50 (ง) 25:75 (จ) 0:100	39
ภาพประกอบที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบความต้านแรงดัดกับอัตราส่วนของฟางข้าวต่อกาบกล้วย น้ำว่าที่แตกต่างกัน ได้แก่ 100:0, 75:25, 50:50, 25:75, 0:100	40
ภาพประกอบที่ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบความต้านแรงดัด โดยมีการขึ้นรูปด้วยวิธีอัดร้อนที่อุณหภูมิ และระยะเวลาในการอัดที่แตกต่างกัน	41

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

ภาพประกอบที่ 4.12 แสดงการเปรียบเทียบมอดุลัสยืดหยุ่นกับอัตราส่วนของฟางข้าวต่อ	
กาบกล้วยน้ำว่าที่ต่างกัน ได้แก่ 100:0, 75:25, 50:50, 25:75, 0:100	42
ภาพประกอบที่ 4.13 แสดงการเปรียบเทียบมอดุลัสยืดหยุ่น โดยมีการขึ้นรูปด้วยวิธีอัดร้อนที่อุณหภูมิ	
และระยะเวลาในการอัดที่ต่างกัน	43
ภาพประกอบที่ 4.14 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของฟางข้าวต่อกาบกล้วยน้ำว่าที่อัตราส่วนต่างกัน	
(ก) 100:0 (ข) 0:100 (ค) 50:50 โดยทำการอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส	
เป็นเวลา 30 นาที	44
ภาพประกอบที่ 4.15 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของฟางข้าวต่อกาบกล้วยน้ำว่า โดยทำการขึ้นรูปที่	
อุณหภูมิ (ก) 140 องศาเซลเซียส (ข) 160 องศาเซลเซียส (ค) 180 องศาเซลเซียส	46

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงรายละเอียดข้าวนาปีและข้าวนาปรังรวมทั้งประเทศตั้งแต่ปี 2560-2562	10
ตารางที่ 2.2 แสดงองค์ประกอบหลักของฟางข้าวและฟางข้าวสาลีเมื่อเปรียบเทียบกับไม้สปรูซ	13
ตารางที่ 2.3 แสดงลักษณะทางเคมีของกาบใบ ใบ และก้านใบ	17
ตารางที่ 3.1 แสดงส่วนผสม อุณหภูมิ แร่ธาตุ ระยะเวลาอัด และการปรับสภาพสำหรับการทดสอบ	24

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาทางานวิจัย

ปัจจุบันปาร์ติเกิลบอร์ดชนิดอัดราบ (Flat Pressed Particleboards) ถือเป็นวัสดุตัวหนึ่งที่กำลังได้รับความนิยมในการใช้งานเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีราคาถูกและมีน้ำหนักเบา ซึ่งส่วนใหญ่มักจะนิยมใช้กาวสังเคราะห์ในการเชื่อมประสานกันระหว่างชิ้นไม้ โดยพบว่ามีการใช้กาวสังเคราะห์ในการผลิตแผ่นชิ้นไม้อัดจำนวนมากซึ่งคิดเป็น 32% ของต้นทุนการผลิต ซึ่งกาวสังเคราะห์ที่นิยมใช้งาน เช่น ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ (Urea Formaldehyde) ฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ (Phenol Formaldehyde) หรือเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์ (Melamine Formaldehyde) เป็นต้น [1] อย่างไรก็ตามสารฟอร์มัลดีไฮด์นั้นถือเป็นสารที่มีความอันตรายซึ่งถ้าหากร่างกายได้รับสารนี้เป็นระยะเวลานานอาจก่อให้เกิดโรคมะเร็งได้ [2] อีกทั้งยังส่งผลเสียต่อปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก ดังนั้นการแผ่นผลิตปาร์ติเกิลบอร์ดแบบไร้สารยึดเกาะนั้นถือเป็นทางเลือกหนึ่งที่มีความน่าสนใจในการช่วยลดปัญหาของกาวสังเคราะห์ที่มีความเป็นอันตราย นอกจากนี้ยังสามารถช่วยลดต้นทุนการผลิตได้อีกด้วย [3]

วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรประเภทลิกโนเซลลูโลสถือเป็นวัสดุประเภทหนึ่งที่สามารถนำมาผลิตเป็นแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดแบบไร้สารยึดเกาะได้ เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีที่ประกอบอยู่ในวัสดุ ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน โดยจากการศึกษาในงานวิจัยต่าง ๆ พบว่าสามารถเกิดการยึดติดได้ด้วยตนเอง [4,8] ซึ่งกลไกการยึดติดด้วยตนเองสามารถเกิดได้จากขั้นตอนการปรับสภาพวัตถุดิบและขั้นตอนการอัดร้อน [5] สามารถอธิบายได้จากเมื่อวัตถุดิบอยู่ภายใต้ความร้อน แรงดัน ระยะเวลา และตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรด จะทำให้เกิดการกระตุ้นปฏิกิริยาส่งผลทำให้น้ำตาลบางส่วนถูกคายออกมาพร้อมกับการคายน้ำ จากนั้นจะเกิดการสร้างเฟอร์ฟูรัล (Furfural) จากเพนโทสและไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟูรัล (Hydroxymethylfurfural) จากเฮกโซส โดยมีการคาดการณ์ว่าเมื่อวัตถุดิบถูกนำไปอัดร้อนจะทำให้เกิดการทำให้ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสร่วมกับเฮมิเซลลูโลสส่งผลให้เกิดการสลายตัวได้บางส่วน เนื่องจากเฮมิเซลลูโลสมีความคงตัวทางความร้อนต่ำกว่าเซลลูโลสและลิกนินจึงเกิดการสลายตัวได้ง่ายกว่า [6] ซึ่งเมื่อเฟอร์ฟูรัลเกิดการรวมตัวกับลิกนินจะทำให้บอร์ดสามารถเกิดการยึดติดด้วยตนเองได้ [7] อีกทั้งการปรับสภาพวัตถุดิบ เช่น การอบไอน้ำจะช่วยปรับปรุงสมบัติทางกลและสมบัติการกายภาพ ส่งผลให้วัสดุมีความความแข็งแรงเพิ่มขึ้นและมีการดูดซึมน้ำที่ลดลงจึงช่วยลดการพองตัวของบอร์ด [8] นอกจากนี้การปรับสภาพวัตถุดิบยังช่วยให้ลิกนินเกิดการอ่อนตัวและย้ายไปอยู่บริเวณผนังเซลล์ส่งผลให้เมื่อถูกอัดร้อนจะทำให้สามารถเกิดกระจายตัวที่ดีขึ้น [9] ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการใช้วัสดุลิกโนเซลลูโลสจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเพื่อนำมาผลิตเป็นแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดแบบไร้สารยึดเกาะ

ประเทศไทยถือว่าเป็นประเทศที่มีการทำการเกษตรกันมาอย่างยาวนานจนถึงปัจจุบัน ซึ่งถือได้ว่าเป็นแหล่งอยู่อาศัยที่มีความสำคัญอย่างมากสำหรับประชากรภายในประเทศและทางด้านการส่งออกสินค้า โดยพื้นที่ทางการเกษตรส่วนใหญ่ ได้แก่ นาข้าว พืชไร่ สวนผลไม้และไม้ยืนต้น สวนผัก และทางการเกษตร

อื่น ๆ และจากการสำรวจพื้นที่สำหรับการใช้ประโยชน์ทางด้านการเกษตรที่ราชอาณาจักรไทยประจำปี พ.ศ. 2562 พบว่ามีพื้นที่จำนวนทั้งสิ้น 149,252,451 ไร่ โดยแบ่งเป็นพื้นที่นาข้าวจำนวน 68,722,388 ไร่ พืชไร่จำนวน 30,736,029 ไร่ สวนผลไม้และไม้ยืนต้นจำนวน 36,936,484 ไร่ สวนผักจำนวน 1,402,143 ไร่ และทางด้านการเกษตรอื่น ๆ มีจำนวน 11,455,407 ไร่ [10] โดยหลังจากฤดูการเก็บเกี่ยวผลผลิตนั้นพบว่า มีเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว แกลบ กากอ้อย ชังข้าวโพด เป็นต้น ซึ่งถือเป็นวัสดุทางเลือกที่สามารถนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ที่ก่อให้เกิดผลดีกับสิ่งแวดล้อม โดยวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีเส้นใยธรรมชาติ เช่น ป่าน ปอ ปอกระเจา ป่านศรนารายณ์ ปอแก้ว มะพร้าว นุ่น กล้วย และอื่น ๆ ถูกจัดเป็นวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลส (Lignocellulose) ที่มีองค์ประกอบพื้นฐาน 3 ชนิด ได้แก่ เซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) และลิกนิน (Lignin) ซึ่งมีการอยู่ร่วมกันบริเวณผนังเซลล์ของพืช [11-12] ทำให้เส้นใยนั้นมีสมบัติที่แข็งแรง ทนทาน และมีความยืดหยุ่น เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยสังเคราะห์พบว่า เส้นใยจากธรรมชาติมีข้อดีมากมาย เช่น สามารถเกิดการย่อยสลายได้ทางชีวภาพ และมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม [13-14]

จากการค้นคว้าพบว่า จำนวนพื้นที่ของนาข้าวส่งผลทำให้ผลผลิตของข้าวที่ได้ในแต่ละปีมีจำนวนมาก หลังจากเก็บเกี่ยวจึงทำให้มีฟางข้าวเหลือทิ้งในนาเฉลี่ยปีละ 27 ล้านตัน [15] ซึ่งถือได้ว่ามีปริมาณที่ค่อนข้างมาก อีกทั้งยังพบว่าเกษตรกรมีการกำจัดฟางข้าวอย่างไม่ถูกวิธีนั่นคือการเผาทำลาย นอกจากนี้จากการศึกษาสถิติจุดความร้อนสะสม ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคมถึง 31 พฤษภาคม พ.ศ. 2563 จะเห็นได้ว่าพื้นที่การเกษตรมีจุดความร้อนสะสมอยู่ที่ 36,557 จุด ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการเผาทำลายเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีมากเป็นอันดับที่ 3 ของประเทศ [16] โดยการเผาตอซังข้าวนี้ส่งผลทำให้โครงสร้างของดินเกิดการเปลี่ยนแปลง มีการสูญเสียไนโตรเจน สูญเสียธาตุสำคัญที่จำเป็นต่อพืช อีกทั้งการเผาฟางข้าวยังส่งผลเสียต่อชั้นบรรยากาศเนื่องจากการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ก่อให้เกิดปัญหาภาวะเรือนกระจกและเกิดฝุ่นละอองขนาดเล็กหรือ PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานที่กำหนด โดยฟางข้าวนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น ๆ ได้ เช่น ใช้เป็นอาหารหยาบสำหรับเลี้ยงโค ใช้ทำปุ๋ยหมัก หรือทำเยื่อกระดาษ นอกจากนี้เส้นใยจากต้นข้าวยังสามารถนำมาใช้ประโยชน์เพื่อเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ได้เช่นเดียวกันกับเส้นใยธรรมชาติประเภทอื่น ๆ [15] โดยฟางข้าวที่เป็นเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมีลักษณะพื้นฐานวิทยาประกอบไปด้วยส่วนของใบ ลำต้น และช่อดอก [17] ซึ่งมีการจัดอยู่ในวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลส โดยในส่วนประกอบของโครงสร้างของฟางข้าวนี้จะมีประโยชน์สำหรับการใช้งานเป็นแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ด [18]

ต้นกล้วยจัดเป็นวัสดุลิกโนเซลลูโลสที่อยู่ในวงศ์ Musaceae [19] และประเทศไทยนั้นได้มีการเพาะปลูกกล้วยหลากหลายพันธุ์ซึ่งหนึ่งในนั้นก็กล้วยน้ำว้า โดยกล้วยน้ำว้าถือเป็นกล้วยที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ทุกส่วนตั้งแต่ผล ดอก ใบ ลำต้น และราก มีองค์ประกอบที่สำคัญของแร่ธาตุหลากหลายชนิด ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต แคลเซียม โปรตีน เหล็ก โพแทสเซียม แมกนีเซียม ไขมัน และวิตามินต่าง ๆ อีกทั้งยังพบสารจำพวกแทนนิน เพคติน และกลุ่มสเตียรอยด์อยู่ในผลดิบ นอกจากนี้กล้วยยังถือเป็นพืชที่สามารถปลูกได้ง่าย มีวิธีการเพาะปลูกไม่ยุ่งยาก และมีการเจริญเติบโตที่รวดเร็ว โดยในปี 2562 พบว่าการปลูกกล้วยน้ำว้าประมาณ 455,929 ไร่ และผลผลิตที่ได้ คือ 622,240 ตัน [20] จากการเก็บเกี่ยวผลผลิตนั้นพบว่าส่วนใหญ่เรา

ใช้ประโยชน์จากกล้วยไปกับการบริโภค จึงทำให้เกิดการเลื้อยทั้งของเศษขยะชีวภาพที่มาจากลำต้นกล้วย เนื่องจากกล้วยแต่ละต้นสามารถออกผลผลิตได้เพียงเครือเดียว หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตแล้วลำต้นกล้วยจะถูกตัดทิ้งเพื่อให้ต้นใหม่งอกขึ้นมาจึงทำให้เศษขยะชีวภาพนั้นถูกกำจัดอย่างไม่ถูกวิธีด้วยการทิ้งลงสู่แม่น้ำ ลำคลอง ซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหาก๊าซเรือนกระจกหรือปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ ตามมาได้ [21-22]

จากการศึกษาของ Y. Kurokochi และ M. Sato [17] พบว่าการผลิตบอร์ดแบบไร้สารยึดเกาะจากฟางข้าวสามารถช่วยให้มีประสิทธิภาพการยึดติดของอนุภาคได้ดีกว่าบอร์ดที่ผลิตจากฟางข้าวผสมกับกาวสังเคราะห์ เนื่องจากฟางข้าวมีสารคล้ายขี้ผึ้งเคลือบอยู่จึงทำให้กาวสังเคราะห์ไม่สามารถซึมลงเข้าสู่ผิวได้ดีนัก เพราะกาวสังเคราะห์มีน้ำเป็นส่วนประกอบจึงทำให้มีความเข้ากันได้ไม่ดีกับสารคล้ายขี้ผึ้งในฟางข้าวที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ ต่อมาได้มีการศึกษาถึงการปรับปรุงพื้นระภายในของบอร์ดแบบไร้สารยึดเกาะที่ทำจากฟางข้าวพบว่าเมื่อลดขนาดอนุภาคให้มีความละเอียดขึ้นในระดับไมโครเมตรจะทำให้ไตรโครม (Trichomes) และส่วนที่ยื่นออกมาบนผิวหน้าชั้นนอก (Epidermis) มีจำนวนลดลงจึงส่งผลให้มีความทนทานต่อน้ำและมีค่าพื้นระภายในเพิ่มสูงขึ้น [18]

จากการศึกษาของ Papadopoulos [23] พบว่ามีความเป็นไปได้ที่จะผลิตปาร์ติเกิลบอร์ดขึ้นเดี่ยวจากต้นกล้วยรวมกับการสังเคราะห์แต่ยังคงมีปัญหาในเรื่องของการพองตัวตามความหนา และจากการศึกษาของ W.N.A.W. Nadhari และคณะ [8] พบว่าเมื่อนำเศษขยะชีวภาพจากต้นกล้วยมาผ่านการอบไอน้ำเพื่อฆ่าเชื้อก่อนนั้น สามารถผลิตปาร์ติเกิลบอร์ดแบบไร้สารยึดเกาะได้ อีกทั้งการอบไอน้ำยังเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับการช่วยปรับปรุงสมบัติทางกลและทางกายภาพของต้นกล้วยให้ดียิ่งขึ้น

จากสถิติผลผลิตทางการเกษตรและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า ในปัจจุบันมีการให้ความสำคัญกับการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาแปรรูปเพื่อพัฒนาให้เกิดผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งทางด้านอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ จากข้อมูลและงานวิจัยดังกล่าว ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาสมบัติทางกลและสมบัติทางกายภาพของปาร์ติเกิลบอร์ดชนิดอัดราบแบบไร้สารยึดเกาะที่ผลิตจากฟางข้าวผสมกับกากกล้วยน้ำว่าในสภาวะที่เหมาะสม โดยมีการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาทำการทดลองเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ความที่มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม มีต้นทุนต่ำ สามารถช่วยลดปัญหาทางด้านมลพิษ อีกทั้งยังเป็นการสร้างรายได้ให้แก่เกษตรกร นอกจากนี้ผลจากการศึกษาอาจนำไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาภาวะการเตรียมที่เหมาะสมสำหรับการผลิตปาร์ติเกิลบอร์ดชนิดอัดราบแบบไร้สารยึดเกาะจากฟางข้าวผสมกากกล้วยน้ำว้า
2. เพื่อศึกษาสมบัติทางกลและสมบัติทางกายภาพของปาร์ติเกิลบอร์ดชนิดอัดราบแบบไร้สารยึดเกาะที่ผลิตจากฟางข้าวผสมกากกล้วยน้ำว้า
3. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำฟางข้าวผสมกากกล้วยน้ำว้ามาผลิตเป็นปาร์ติเกิลบอร์ดชนิดอัดราบแบบไร้สารยึดเกาะ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ผลิตปาร์ติเกิลบอร์ดชนิดอัดราบแบบไร้สารยึดเกาะจากฟางข้าวผสมกากกล้วยน้ำว้าในภาวะการเตรียมที่เหมาะสม เช่น อัตราส่วนของวัตถุดิบ อุณหภูมิการอัดร้อน ระยะเวลาของการอัดร้อน เป็นต้น
2. ทดสอบสมบัติทางกล (ความต้านแรงดัด โมดูลัสยืดหยุ่น) ทดสอบสมบัติทางกายภาพ (ความหนาแน่นและความชื้น การพองตัวตามความหนา) และการวิเคราะห์ผลของตัวอย่างที่ได้จากการผลิตปาร์ติเกิลบอร์ดชนิดอัดราบแบบไร้สารยึดเกาะที่ผลิตจากฟางข้าวผสมกากกล้วยน้ำว้าตามมาตรฐาน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อทราบถึงภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตปาร์ติเกิลบอร์ดชนิดอัดราบแบบไร้สารยึดเกาะจากฟางข้าวผสมกากกล้วยน้ำว้า
2. เพื่อทราบถึงสมบัติทางกลและสมบัติทางกายภาพของปาร์ติเกิลบอร์ดชนิดอัดราบแบบไร้สารยึดเกาะที่ผลิตจากฟางข้าวผสมกากกล้วยน้ำว้า
3. เพื่อเป็นแนวทางสำหรับการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร
4. เพื่อเป็นแนวทางในการลดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการย่อยสลายของปาร์ติเกิลบอร์ดที่มีส่วนผสมของกาวสังเคราะห์

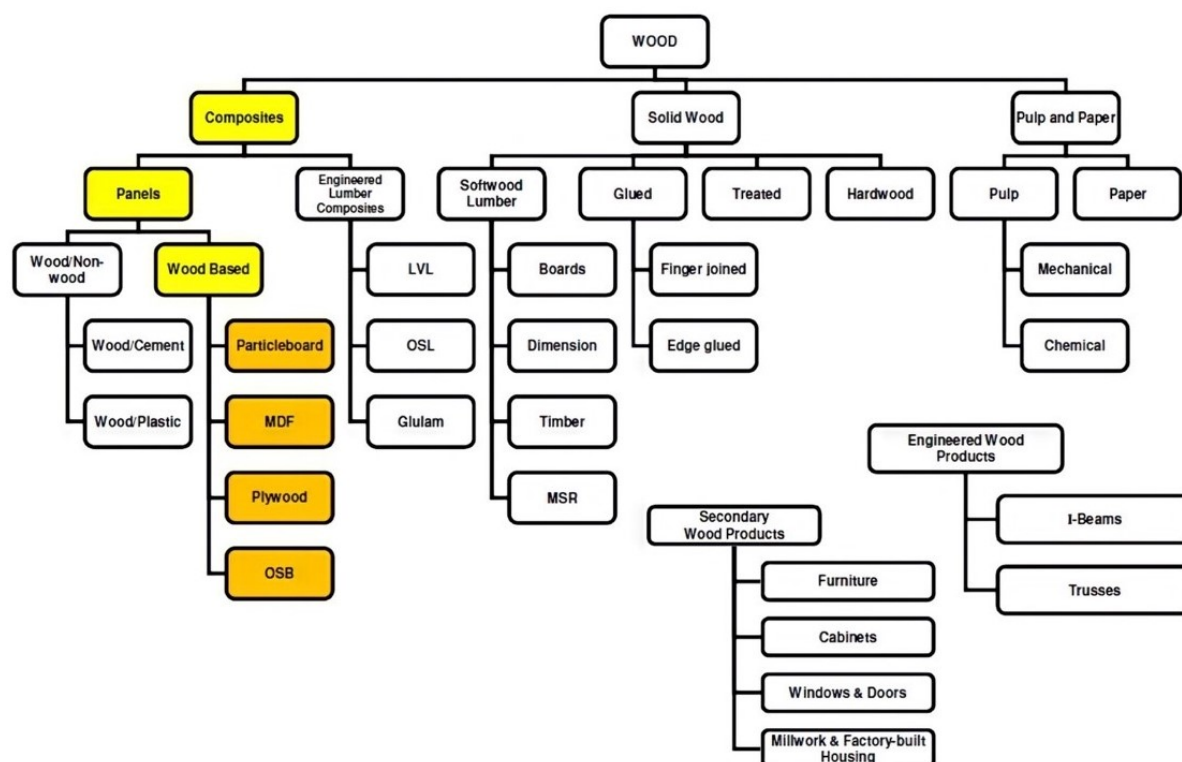
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไม้ประกอบ (Wood Composites) [24-25]

ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันผลิตภัณฑ์จากไม้ได้รับความนิยมในการใช้งานเป็นอย่างมาก ซึ่งจากสถานการณ์ทางด้านป่าไม้และข้อกำหนดต่าง ๆ จึงมีการพัฒนาประเภทของไม้ประกอบ ขึ้นมาซึ่งถูกจัดเป็นวัสดุไม้ประเภทหนึ่ง โดยเฉพาะทางด้านอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ที่นิยมในการใช้ไม้ประกอบนำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ เนื่องจากสามารถทดแทนการใช้ไม้จริง หาง่าย ราคาถูก และมีน้ำหนักเบา อีกทั้งไม้ประกอบยังสามารถนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรบางชนิดมาผลิตได้ สำหรับผลิตภัณฑ์ที่นิยมนำมาผลิตคือ วัสดุแผ่น หรือ Panels จำพวก Wood based ได้แก่ Particleboard, Medium Density Fiberboard (MDF), Plywood และ Oriented Strand Board (OSB) เป็นต้น ดังภาพประกอบที่ 2.1

แผ่นไม้ประกอบ คือ แผ่นไม้ที่ถูกผลิตขึ้นจากวัสดุจำพวกไม้ที่มีขนาดแตกต่างกัน โดยมีเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินเป็นองค์ประกอบหลัก จากนั้นถูกนำมาตัดเป็นชิ้นขนาดเล็กแล้วรวมกันให้เป็นแผ่น โดยใช้ตัวประสานอินทรีย์เพื่อให้เกิดการเชื่อมติดกัน เช่น กาวสังเคราะห์ (Synthetic Resin) ซึ่งกระบวนการยึดเกาะของวัสดุจะมีการทำภายใต้ความร้อนและการกดอัดร้อน อีกทั้งยังสามารถเพิ่มสารเติมแต่งอื่นผสมลงไป ในแผ่นเพื่อให้เกิดสมบัติพิเศษเพิ่มเติมได้ นอกจากนี้แล้วยังมีการใช้เศษวัสดุเหลือใช้จากธรรมชาติอื่น ๆ เพื่อนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัด เช่น ชานอ้อย (Bagasse) ฟางข้าว (Cereal-Straws) ต้นฝ้าย (Cotton Stalks) ต้นป่านและปอ (Flax and Hemp Shives) และข้อผลลำต้น ก้านใบของปาล์มน้ำมัน (Oil Palm Residues) เป็นต้น



ภาพประกอบที่ 2.1 แสดงการจำแนกผลิตภัณฑ์ไม้ประเภทต่าง ๆ [25]

2.1.1 โครงสร้างของแผ่นขึ้นไม้อัด

ลักษณะโครงสร้างของแผ่นขึ้นไม้อัดสามารถแบ่งตามลักษณะการกระจายตัวของชิ้นไม้ทางด้านความหนาออกเป็น 4 รูปแบบ [25-26] ดังนี้

1. แผ่นขึ้นไม้อัดชั้นเดียว (Single Layer Particleboard) คือ แผ่นขึ้นไม้อัดที่ทำจากชิ้นไม้ที่มีลักษณะและมีขนาดที่เหมือนกัน มีส่วนผสมของกาวและสารเติมแต่งที่มีความเหมือนกันตลอดความหนาของแผ่น

2. แผ่นขึ้นไม้อัดสามชั้น (Three Layer Particleboard) คือ แผ่นขึ้นไม้อัดที่แบ่งตามลักษณะของชิ้นไม้เป็น 3 ชั้น ความหนาของแผ่นซึ่งในแต่ละชั้นจะประกอบด้วยชิ้นไม้ที่มีลักษณะและความหนา ตลอดจนส่วนผสมของกาวที่มีความเหมือนกัน โดยปกติจะใช้ชิ้นไม้ที่มีขนาดเล็กและบางเป็นชั้นผิวหน้าและของชั้นไส้นิยมใช้ชิ้นไม้ที่มีความหยาบและใหญ่กว่า ชิ้นไม้ที่ใช้ทำชั้นไส้อาจเป็นชนิดที่ต่างกับชิ้นไม้ที่ใช้ทำชั้นผิวหน้าและชั้นหลัง ในส่วนของปริมาณกาวที่ใช้ผสมในชั้นผิวหน้าและชั้นหลังมักมีมากกว่าในชั้นไส้เพื่อให้โครงสร้างเกิดความสมดุลกัน ได้ผิวที่แข็งแรงและมีความแน่นขึ้น

3. แผ่นขึ้นไม้อัดหลายชั้น (Multi-Layer Particleboard) มีลักษณะและวิธีการเหมือนแผ่นขึ้นไม้อัด 3 ชั้น เพียงแต่มีจำนวนของที่ชั้นมากกว่า

4. แผ่นขึ้นไม้อัดแบบลดหลั่น (Graduated Particleboard) คือ แผ่นขึ้นไม้อัดที่ทำจากชิ้นไม้ที่มีขนาดและลักษณะแตกต่างกัน โดยโครงสร้างของแผ่นจะประกอบด้วยชิ้นไม้ขนาดใหญ่และหยาบ

กว่าอยู่บริเวณตรงแนวกกลางตลอดความหนาของแผ่น และชิ้นไม้จะมีขนาดที่ลดหลั่นลง โดยมีขนาดและความละเอียดน้อยลงที่ผิวทั้ง 2 ด้านโดยไม่มีการแบ่งชั้นที่แน่นอน

2.1.2 ไม้ปาร์ติเกิลบอร์ด (Particleboard) [26]

ไม้ปาร์ติเกิลเกิดจากการผลิตแผ่นไม้ที่มีวัสดุลิกโนเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลัก โดยมีการนำชิ้นไม้ เศษไม้ หรือขี้เลื่อยมาผสมกับสารยึดเกาะ จากนั้นทำการอัดด้วยเครื่องอัดร้อนที่มีการให้ทิศทางของแรงอัดตั้งฉากกับระนาบของแผ่นไม้ ซึ่งส่วนใหญ่จะมีการเรียงตัวของชิ้นไม้ในแนวนอนขนานกับระนาบของแผ่น นอกจากนี้ทางด้านลักษณะของโครงสร้างของแผ่นไม้อาจเป็นแบบชั้นเดียวสามชั้น หรือชิ้นไม้ขนาดลดหลั่น ซึ่งจะมีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 400-900 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยชิ้นไม้ที่ใช้อาจมีลักษณะของรูปทรงแตกต่างกัน เช่น

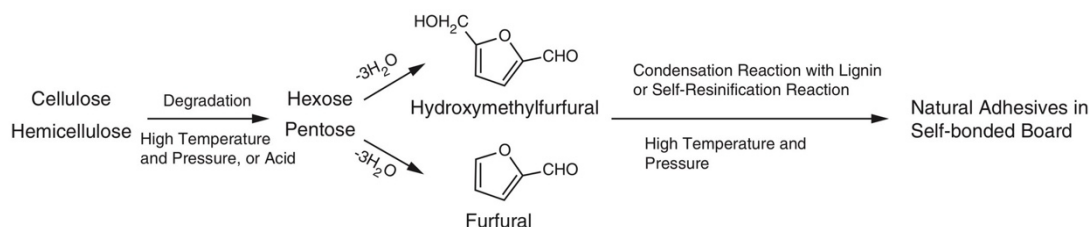
- เกล็ด (Flake) คือ ชิ้นไม้บาง มีทิศทางของเส้นไม้ขนานกับผิวไม้ ได้จากการใช้ใบมีดตัดขนานกับแนวเส้นไม้ และตั้งฉากกับแนวแกนของเส้นใย
- เกล็ดใหญ่ (Wafer) คือ ชิ้นไม้ที่มีลักษณะเช่นเดียวกับเกล็ด แต่มีความกว้างและความหนามากกว่า
- แถบ (Strand) คือ ชิ้นไม้ที่มีลักษณะเช่นเดียวกับเกล็ด แต่มีความยาวเมื่อเทียบกับความกว้างที่มากกว่าและมีความสม่ำเสมอตลอดตามความยาวของแถบ
- ชักบ (Planer Shaving) คือ ชิ้นไม้ที่มีรูปร่างเป็นแผ่นขนาดเล็กมีความหนาไม่เท่ากันคือมีความหนาที่ปลายด้านหนึ่ง ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งจะมีความบาง มีลักษณะเหมือนแฉกของขนนก มักจะโค้งงอ ซึ่งได้จากการไสไม้ด้วยเครื่องไสไม้ชนิดหัวตัดหมุน (Rotary Cutter Head)
- เส้นไม้หรือฝอยไม้ (Wood Wool or Excelsiors) คือ เส้นไม้หรือฝอยไม้ที่มีความหนาและคดงอไปตามความยาว
- แท่ง (Splinter or Silver) คือ ชิ้นไม้ที่มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมเมื่อมองทางหน้าตัด มีความยาวตามเส้นไม้น้อยกว่า 4 เท่าของความหนา
- เม็ด (Granule) หมายถึง ชิ้นไม้ที่มีลักษณะคล้ายขี้เลื่อยซึ่งมีความกว้างความยาวและความหนาเกือบเท่ากัน

2.1.3 ไม้ปาร์ติเกิลแบบไร้สารยึดเกาะ (Binderless particleboard) [7,27-28]

ไม้ปาร์ติเกิลแบบไร้สารยึดเกาะถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาของปาร์ติเกิลบอร์ดแบบธรรมดา เนื่องจากแผ่นชิ้นไม้อัดที่มีการใช้งานอยู่ในปัจจุบันมีการใช้กาวยสังเคราะห์ที่มีส่วนผสมของสารเคมีจำพวกฟอรัลดีไฮด์ ซึ่งอาจก่อให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพและความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

โดยวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรถูกจัดเป็นวัสดุที่มีองค์ประกอบทางเคมีจำพวกเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน เป็นองค์ประกอบหลักประเภทหนึ่งที่สามารถเกิดการยึดติดภายในตนเองได้

กลไกในการยึดติดด้วยตนเอง (Self-bonding) ขึ้นกับองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุลิกโนเซลลูโลส โดยเมื่อวัตถุดิบได้รับความร้อนและแรงดันจะเกิดการกระตุ้นทำให้มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและทางกายภาพ ซึ่งทางเคมีสามารถเกิดปฏิกิริยาได้ 2 ส่วน ได้แก่ ระยะเวลาไฮโดรไลซิสและระยะเวลาควบแน่นของลิกนิน ดังภาพประกอบที่ 2.2 ขั้นแรกระยะเวลาไฮโดรไลซิส คือ เมื่อวัตถุดิบได้รับความร้อนและแรงดันจะทำให้กรดอินทรีย์ เช่น กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก และน้ำตาลบางชนิดเกิดการคายออกมาพร้อมกับความชื้น จากนั้นกรดอินทรีย์ที่คายออกมาก่อนหน้าจะเกิดการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับเฮมิเซลลูโลสอีกครั้งส่งผลให้เฮมิเซลลูโลสเกิดการสูญเสียความชื้น ซึ่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่เกิดขึ้นส่งผลให้เกิดการย่อยสลายกลายเป็นคาร์โบไฮเดรต ประเภทน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (Monosaccharide) ได้แก่ น้ำตาลเพนโทสและน้ำตาลเฮกโซส จากนั้นเมื่อมีการสูญเสียความชื้นจะทำให้น้ำตาลเกิดการแห้งกลายเป็นเฟอร์ฟูรัล (Furfural) และไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟูรัล (Hydroxymethylfurfural) ตามลำดับ ส่วนขั้นที่สองระยะเวลาควบแน่นของลิกนิน คือ ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นช้ากว่าระยะเวลาไฮโดรไลซิส โดยจะถูกกระตุ้นอีกครั้งด้วยความร้อนและแรงดันจึงทำให้ลิกนินเกิดการรวมตัวกับเฟอร์ฟูรัลส่งผลให้เกิดการยึดติดภายในตนเอง



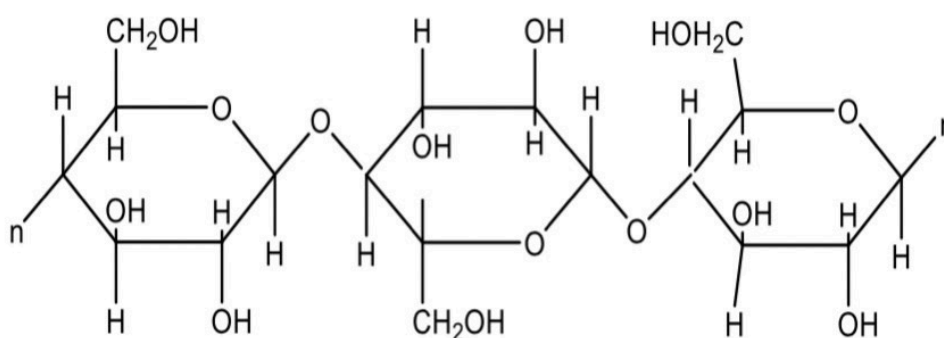
ภาพประกอบที่ 2.2 แสดงลักษณะการยึดติดของปาร์ติเกิลบอร์ดแบบไร้สารยึดเกาะ [7]

2.2 วัสดุลิกโนเซลลูโลส (Lignocellulose) [29-31]

วัสดุเหลือใช้จากการเกษตร เช่น ฟางข้าว กาบกล้วย แกลบ ชังข้าวโพด เป็นต้น ถูกจัดอยู่ในประเภทของวัสดุลิกโนเซลลูโลส ประกอบด้วยเซลลูโลส 35-55% เฮมิเซลลูโลส 25-40% และลิกนิน 15-25% เป็นองค์ประกอบหลัก แต่ละวัตถุดิบจะมีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันซึ่งจะขึ้นกับประเภทของวัสดุ รวมถึงแหล่งที่มาของเส้นใย

2.2.1 เซลลูโลส

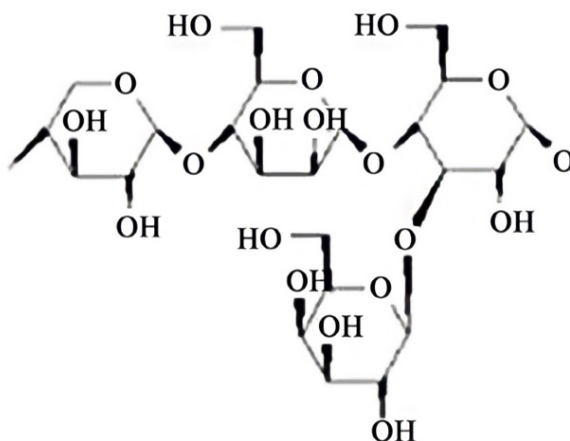
เซลลูโลส มีสูตรโมเลกุล คือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ ประกอบด้วยกลุ่มคาร์โบไฮเดรต ประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharide) ชนิดโฮโมพอลิแซ็กคาไรด์ (Homopolysaccharide) มีโครงสร้างประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคส (D-glucose) เชื่อมต่อกันด้วยพันธะเบต้า 1,4-ไกลโคซิดิก (β -1,4-Glycosidic Bond) ดังภาพประกอบที่ 2.3 ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นตรง ไม่มีกิ่งก้าน และมีความเป็นผลึกสูง จึงทำให้มีความแข็งแรง พบมากที่บริเวณผนังเซลล์พืช โดยเซลลูโลสจะมีความคงตัวทางความร้อนสูงมากกว่าลิกนินและเฮมิเซลลูโลส อีกทั้งเซลลูโลสไม่สามารถละลายในน้ำได้



ภาพประกอบที่ 2.3 แสดงโครงสร้างของเซลลูโลส [45]

2.2.2 เฮมิเซลลูโลส

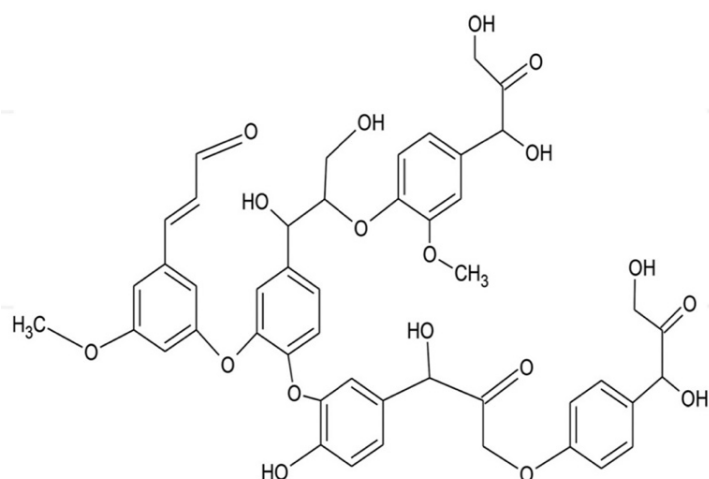
เฮมิเซลลูโลส มีสูตรโมเลกุล คือ $(C_6H_{12}O_5)_{2n}$ ดังภาพประกอบที่ 2.4 พบมากเป็นอันดับ 2 รองจากเซลลูโลส มีโครงสร้างแบบอสัณฐานเชื่อมต่อกันเป็นสายยาวและมีกิ่งก้าน จัดอยู่ในประเภทเฮเทอโรพอลิแซ็กคาไรด์ (Hetero-polysaccharide) ที่ประกอบด้วยน้ำตาลเพนโทสที่มีคาร์บอน 5 อะตอม ได้แก่ ไซโลส อาราบิโนส และน้ำตาลเฮกโซสที่มีคาร์บอน 6 อะตอม ได้แก่ แมนโนส กลูโคส และกาแลคโตส ซึ่งมีสมบัติชอบน้ำ โดยเฮมิเซลลูโลสมีความแข็งแรงน้อยกว่าเซลลูโลส นอกจากนี้ยังมีความคงตัวทางความร้อนต่ำกว่าเซลลูโลสจึงทำให้เกิดเสื่อมสภาพได้ง่ายโดยเฉพาะระหว่างการอัดขึ้นรูปหรือการอัดรีดที่เป็นกระบวนการที่ใช้ความร้อน [6]



ภาพประกอบที่ 2.4 แสดงโครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส [46]

2.2.3 ลิกนิน

ลิกนิน มีสูตรโมเลกุล คือ $C_{10}H_{12}O_4$ ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมประสานจึงทำให้ไม่สามารถเกิดการเชื่อมติดด้วยตัวเองภายในโครงสร้าง โดยลิกนินจัดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนอะโรมาติกที่มีเรซินแบบอสัณฐานประเภทฟีนอลโพรเพนอยู่บริเวณช่องว่างระหว่างตรงกลางของเส้นใยพอลิแซ็กคาไรด์ ซึ่งส่วนใหญ่มักพบอยู่บริเวณตรงกลางแผ่นไม้ของเซลล์ไม้ มี 3 ชนิด ได้แก่ p-coumaryl alcohol, coniferyl alcohol และ sinapyl alcohol ดังภาพประกอบที่ 2.5 มีสมบัติที่ช่วยทำให้ไม้มีความแข็งแรง ทนทาน และไม่ละลายน้ำ นอกจากนี้ลิกนินยังมีสมบัติเทอร์โมพลาสติกสามารถเกิดการหลอมตัวได้ที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 110 องศาเซลเซียส



ภาพประกอบที่ 2.5 แสดงโครงสร้างของลิกนิน [47]

จากสถิติผลผลิตทางการเกษตรที่ผ่านมาพบว่า ในแต่ละปีมีวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก เนื่องจากวัสดุเหล่านี้มีการกำจัดอย่างไม่ถูกวิธีและอาจก่อให้เกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร 2 ชนิด ได้แก่ ฟางข้าวและกากบักล้วยน้ำว่า เพื่อนำมาผลิตเป็นแผ่นปาร์ติเกิลแบบไร้สารยึดเกาะ โดยจะมีการกล่าวถึงรายละเอียดในหัวข้อที่ 2.3 และ 2.4 ตามลำดับ

2.3 ต้นข้าว

ข้าวถือเป็นอาหารหลักของคนไทยที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตมาอย่างยาวนาน ซึ่งคนไทยส่วนใหญ่นิยมบริโภคข้าวกันเป็นประจำทุกวันเนื่องจากข้าวถือเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่มีสำคัญสำหรับการให้พลังงานและให้ความอบอุ่นแก่ร่างกาย นอกจากนี้ยังเป็นอาหารที่มีคุณประโยชน์มากมายไม่ว่าจะเป็นมีสารต้านอนุมูลอิสระที่ช่วยชะลอความแก่ชรา ช่วยเสริมสร้างในการเจริญเติบโตของร่างกาย และช่วยป้องกันการเกิดโรคความจำเสื่อม เป็นต้น โดยประเทศไทยถือเป็นประเทศแห่งเกษตรกรรมที่มีการปลูกข้าวกันเป็นจำนวนมากเฉลี่ยปีละ 60-70 ล้านไร่ และได้ผลผลิตมากถึงปีละ 30 ล้านตัน ดังตารางที่ 2.1 ซึ่งข้าวที่นิยมปลูก ได้แก่ ข้าวเจ้า และข้าวเหนียว

ตารางที่ 2.1 แสดงรายละเอียดข้าวนาปีและข้าวนาปรังรวมทั้งประเทศตั้งแต่ปี 2560-2562 [32]

รายการ/ปี	ข้าวนาปี		ข้าวนาปรัง	
	เนื้อที่ปลูก (ล้านไร่)	ผลผลิต (ล้านตัน)	เนื้อที่ปลูก (ล้านไร่)	ผลผลิต (ล้านตัน)
2560/61	59.220	24.934	10.456	6.620
2561/62	59.980	25.178	12.006	7.964
2562/63	61.197	24.064	10.995	7.170

2.3.1 ลักษณะทั่วไปของต้นข้าว [33-35]

ข้าว (Rice) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Oryza sativa* อยู่ในวงศ์ Poaceae หรือ Gramineae ถูกจัดเป็นพืชล้มลุกที่มีลักษณะเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวที่สามารถนำเมล็ดมารับประทานได้ สามารถแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ ดังภาพประกอบที่ 2.6 ดังนี้

2.3.1.1 ลักษณะที่เกี่ยวกับการเจริญเติบโตของต้นข้าว

1. ราก (Root) คือ ส่วนที่อยู่บริเวณใต้ชั้นผิวดิน ทำหน้าที่ดูดซึมน้ำและธาตุอาหารเพื่อช่วยในการเจริญเติบโต นอกจากนี้ยังมีหน้าที่ช่วยยึดลำต้นไว้กับดินเพื่อไม่ให้เกิดการล้ม สำหรับต้นข้าวจะไม่มีรากแก้ว (Tap Root) ที่มีลักษณะเป็นรากขนาดใหญ่ที่ใช้ในการทรงตัว แต่จะมีรากฝอย (Fibrous Root) ซึ่งเป็นรากชนิดพิเศษที่มีลักษณะเป็นเส้นขนาดเล็กแตกแขนงออกมาจากโคนต้นใต้ชั้นผิวดิน

2. ลำต้น (Culm) คือ ส่วนของต้นข้าวที่อยู่เหนือชั้นผิวดิน มีลักษณะเป็นโพรงอยู่บริเวณด้านใน ซึ่งจะประกอบด้วยข้อ (Nodes) และปล้อง (Internodes) โดยเมื่อแบ่งลำต้น

ออกเป็นข้อ ๆ จะมีส่วนของปล้องอยู่บริเวณตรงกลางระหว่างข้อ และแต่ละข้อจะมีตาเพียงหนึ่งตาเท่านั้นเมื่อแตกออกจะกลายเป็นหน่อ ซึ่งในระยะแรกของการเจริญเติบโตและขณะที่ข้าวตั้งท้องลำต้นของข้าวจะมีลักษณะเป็นลำต้นสั้น เนื่องจากมีข้ออยู่ใกล้ชิดกันจนเกินไปจึงทำให้มองไม่เห็นปล้อง อย่างไรก็ตามสิ่งที่มองเห็นในระยะแรกถือเป็นส่วนของใบและกาบใบที่มาหุ้มลำต้นเท่านั้นยังไม่ใช่ลำต้นที่แท้จริง จนกระทั่งเริ่มเข้าสู่ระยะที่ข้าวตั้งท้องและมีการออกรวงข้าวจึงจะสามารถมองเห็นปล้องที่มีการยืดออกจากลำต้นได้อย่างชัดเจนจึงจะถือเป็นลำต้นที่แท้จริงของต้นข้าว

3. ใบ (Leaf) คือ ส่วนที่แตกแขนงออกจากลำต้น ซึ่งจะประกอบด้วยกาบใบและแผ่นใบ ทำหน้าที่ในการสังเคราะห์แสงเพื่อเปลี่ยนแร่ธาตุ น้ำ อาหาร และคาร์บอนไดออกไซด์ให้กลายเป็นแป้งสำหรับนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและการสร้างเมล็ดของต้นข้าว โดยกาบใบเป็นส่วนด้านล่างของข้อใบที่อยู่ติดกับข้อของลำต้น เมื่อเจริญเติบโตจะมีการเรียงตัวแบบฟันปลา ซึ่งจะทำให้หน้าที่ห่อหุ้มลำต้นของข้าวไว้และแต่ละข้อจะมีกาบใบเพียงหนึ่งใบเท่านั้น ส่วนแผ่นใบเป็นส่วนที่อยู่ด้านบนของข้อใบ มีลักษณะเป็นใบทรงแคบ แบน ส่วนปลายมีความเรียวและยาว นอกจากนี้บริเวณข้อของใบที่อยู่ระหว่างกาบใบและแผ่นใบจะมีซี่งกันแมลง (Auricles) และเยื่อเกี่ยวพัน (Ligule) ประกอบอยู่ด้วย ส่วนใบสุดท้ายที่อยู่ด้านบนสุดกับรวงข้าวจะเรียกว่า ใบธง

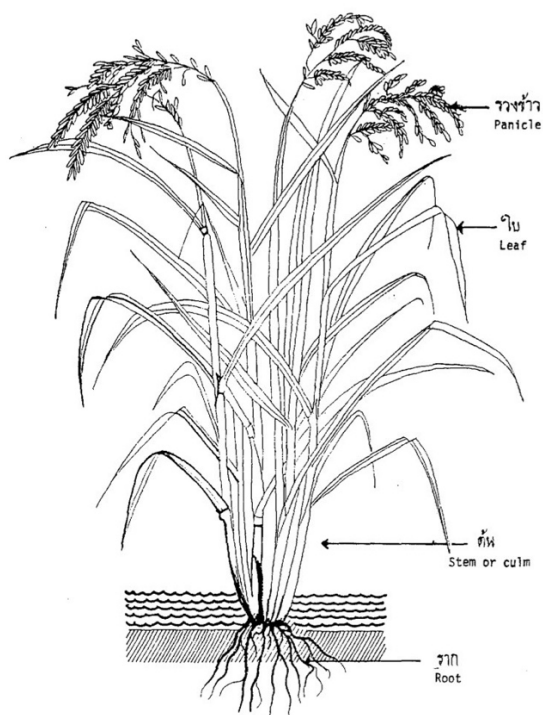
2.3.1.2 ลักษณะที่เกี่ยวข้องกับการขยายพันธุ์ของต้นข้าว

ต้นข้าวเกิดจากการขยายพันธุ์ด้วยเมล็ดที่เกิดจากการผสมพันธุ์ระหว่างเกสรตัวผู้และเกสรตัวเมีย สามารถเกิดขึ้นเองได้ในธรรมชาติโดยไม่จำเป็นต้องอาศัยแมลงเป็นตัวกลางในการผสมพันธุ์

1) รวงข้าว (Panicle) คือ ส่วนของช่อดอกของต้นข้าว (Inflorescence) ที่อยู่ติดกับข้อของปล้องอันสุดท้าย และระหว่างข้ออันสุดท้ายของปล้องติดกับข้อต่อของใบธงเรียกว่า คอรวง

2) ดอกข้าว (Spikelet) คือ ดอกสมบูรณ์เพศที่มีทั้งเกสรตัวผู้และเกสรตัวเมียอยู่ในดอกเดียวกัน ภายนอกของดอกจะประกอบด้วยกลีบดอกใหญ่ (Lemma) และกลีบดอกเล็ก (Palea) ส่วนภายในจะประกอบด้วยเกสรตัวผู้จำนวน 6 อัน ซึ่งแต่ละอันจะมีละอองเรณูอยู่ภายใน นอกจากนี้ยังมีเกสรเพศเมียจำนวน 2 อัน มีลักษณะเป็นขนสีขาว

3) เมล็ดข้าว (Grain) คือ ส่วนที่อยู่ภายในดอกข้าว เกิดขึ้นเมื่อเกสรตัวผู้มีการปล่อยละอองเรณูออกมาและตกลงยังเกสรตัวเมีย จากนั้นจะเกิดการผสมพันธุ์ภายในรังไข่และเจริญเติบโตจนกลายเป็นเมล็ดข้าว



ภาพประกอบที่ 2.6 แสดงลักษณะของต้นข้าว [33]

2.3.2 ฟางข้าว (Rice straw)

ฟางข้าวจัดเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่ได้หลังจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตของการปลูกข้าวในแต่ละรอบ ซึ่งมีลักษณะเป็นลำต้นแห้งที่ได้หลังจากกระบวนการนวดข้าวที่มีการนำเมล็ดออกแล้ว ฟางข้าวจัดเป็นวัสดุลิกโนเซลลูโลสที่มีเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินเป็นองค์ประกอบหลัก อีกทั้งยังมีสารประกอบอินทรีย์ เช่น เถ้า ซิลิกา เป็นองค์ประกอบไปด้วย [36] ดังตารางที่ 2.2 โดยหลังจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตเกษตรกรมักมีการนำฟางข้าวไปใช้ประโยชน์ในหลากหลายด้าน เช่น การเลี้ยงสัตว์ ทำปุ๋ย วัสดุคลุมดิน หรือใช้สำหรับการเพาะเลี้ยงเห็ดฟาง เป็นต้น อย่างไรก็ตามฟางข้าวเหลืออยู่ยังคงมีปริมาณมากและไม่สามารถหาทางกำจัดได้ ดังนั้นเกษตรกรส่วนใหญ่จึงมีการแก้ปัญหาโดยเลือกวิธีที่ง่ายและมีความสะดวกมากที่สุด นั่นก็คือ การนำฟางข้าวที่เหลืออยู่ไปเผาทิ้งในทุ่งโล่ง อย่างไรก็ตามแม้วิธีนี้จะเป็นการช่วยลดจำนวนฟางข้าวแต่การเผาในทุ่งโล่งก็ยังคงก่อให้เกิดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อม ได้แก่ การปลดปล่อยมลพิษสู่อากาศที่อาจนำไปสู่ปัญหา PM 2.5 ซึ่งในปัจจุบันคิดเป็น 24.6-37.8% จากแหล่งกำเนิดฝุ่นทั้งหมด [37] นอกจากนี้อาจส่งผลกระทบต่อปัญหาทางด้านสุขภาพของผู้คนที่ได้รับมลพิษเป็นระยะเวลานาน ดังนั้นการเผาฟางข้าวยังคงเป็นปัญหาหนึ่งที่ต้องได้รับการแก้ไขเป็นอย่างมาก

ตารางที่ 2.2 แสดงองค์ประกอบหลักของฟางข้าวและฟางข้าวสาลีเมื่อเปรียบเทียบกับไม้สปรูซ [36]

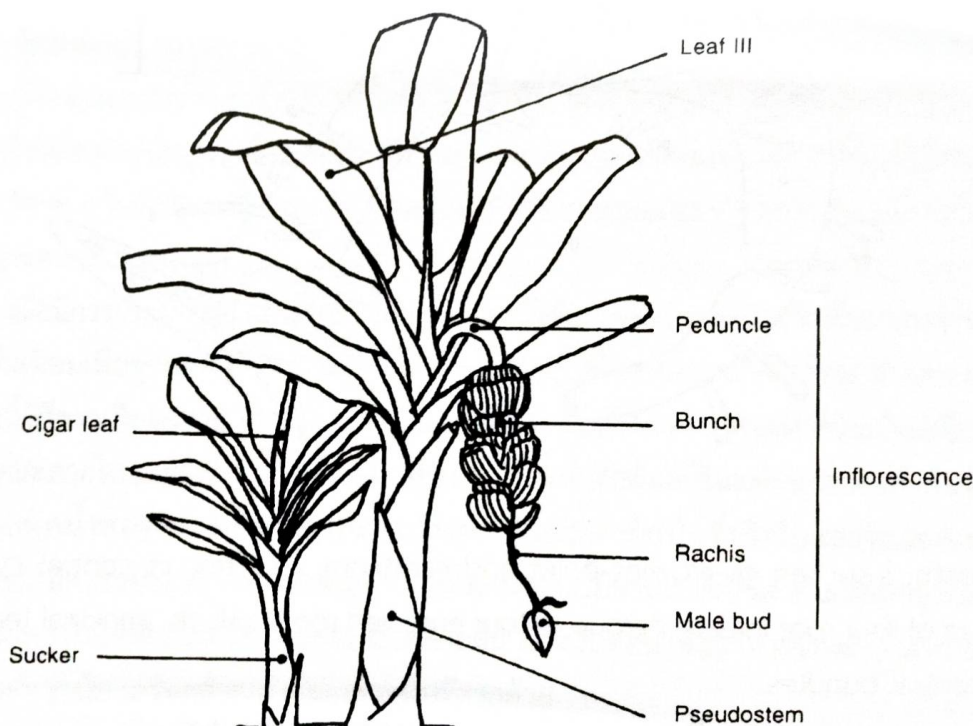
วัสดุ	ซีลีง (%)	เฮมิเซลลูโลส (%)	เซลลูโลส (%)	ลิกนิน (%)	เถ้า (%)	ซิลิกา (%)
ฟางข้าว	3.72	35.50	39.63	13.92	12.51	9.68
ฟางข้าวสาลี	1.65	34.03	38.09	14.13	6.38	3.19
ไม้	1.47	23.40	54.09	30.15	0.24	-

2.4 ต้นกล้วย

กล้วยถือเป็นไม้ผลที่ผูกพันกับคนไทยและอยู่คู่เมืองไทยมาช้านาน ตั้งแต่วัยเยาว์ไปจนถึงวัยที่เติบโตเป็นผู้ใหญ่ โดยกล้วยไม่ใช่แค่เป็นผลไม้ที่เอาไว้รับประทานเพียงอย่างเดียว ส่วนประกอบของลำต้นก็สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เช่น ปลีกกล้วยตากมาทำเป็นอาหาร หยวกกล้วยนิยมนำมาทำเป็นอาหารสำหรับหมู ไบนิยมมากในการทำกระทังใส่อาหาร ด้านความเชื่อและประเพณีนิยมใช้ใบทำเป็นบายศรีในงานมงคล ของเล่นในวัยเด็ก อาทิ ปั่นก้านกล้วย และม้าก้านกล้วย แม้กระทั่งบทเพลงกล่อมเด็ก สุภาชิต ล้วนมีการนำกล้วยเข้ามาใช้ร่วมด้วยเสมอ

2.4.1 ลักษณะทั่วไปของต้นกล้วย [38]

กล้วย (Banana) ชื่อทางวิทยาศาสตร์ *Musa sapientum* Linn. อยู่ในวงศ์ Musaceae เป็นไม้ล้มลุกขนาดใหญ่ลำต้นสูงมีอายุหลายปี ไม่มีเนื้อไม้ และออกผลครั้งเดียว (Monocarpic) ลำต้นจริงของกล้วยอยู่ใต้ดินเรียกว่า เหง้า (Rhizome) บริเวณเหง้าจะประกอบไปด้วยตา (bud) ที่อยู่ด้านข้างซึ่งจะเจริญเติบโตกลายเป็นหน่อ (Sucker) ส่วนนี้เมื่อเจริญเติบโตจะกลายเป็นลำต้นซึ่งประกอบไปด้วย กาบใบ ก้านใบ ใบกล้วย บริเวณที่อยู่เหนือพื้นผิวดินหรือมองเห็นด้วยตา เรียกว่า ลำต้นเทียม (Pseudostem) ซึ่งองค์ประกอบของต้นกล้วยแสดงดังภาพประกอบที่ 2.7



ภาพประกอบที่ 2.7 แสดงลักษณะลำต้นและการแตกกอของกล้วย [38]

2.4.1.1 ลักษณะที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของต้นกล้วย [39]

1) ลำต้นใต้ดิน (Rhizome) คือ ลำต้นจริงของกล้วยหรือที่โดยทั่วไปเรียกว่า เหง้ากล้วย ซึ่งมีรากและตาเกิดในบริเวณนี้มีท่อน้ำเลี้ยงเป็นตัวเชื่อมระหว่าง Central Cylinder และส่วนที่ล้อมรอบของ Cortex เนื้อเยื่อของลำต้นจริงนั้นมีส่วนประกอบของเซลพาราเนไคมาซึ่งมีแบ่งอยู่ภายในใช้สำหรับการขยายพันธุ์ของกล้วยที่เหมาะสม [38] โดยจากการที่ตาพัฒนากลายเป็นหน่อ หน่อกล้วยมี 4 ประเภท ได้แก่ หน่ออ่อน (Peepers) หน่อใบแคบหรือหน่อใบดาบ (Sword Suckers) หน่อใบกว้าง (Water Suckers) และหน่อแก่ (Miden Suckers)

2) ลำต้นเทียม (Pseudostem) คือ ลำต้นที่เกิดจากการซ้อนทับของกาบใบอยู่บริเวณเหนือพื้นผิวดินเป็นที่สามารถมองเห็นได้ มีลักษณะลำต้นตรง รูปทรงกระบอก เกิดจากกาบใบเรียงตัวซ้อนทับกันซึ่งมีแกนกลางลำต้นเรียกว่า หยวก เป็นแหล่งท่อน้ำเลี้ยงเต็มไปด้วยน้ำยางทั่วบริเวณทุกส่วน ใบเลี้ยงเดี่ยว กาบใบสีเขียวอ่อนและสีน้ำตาลบางส่วนบริเวณขอบ

3) ใบ (Leaf) ประกอบด้วยเส้นใบโดยใบทั้งสองข้างจะมาบรรจบกันที่เส้นกลางใบ ลักษณะของเส้นกลางใบด้านจะเป็นร่องด้านล่างจะนูนมีสีเขียว รูปร่างของใบที่ยาวและมีขอบใบที่ขนานกัน มีความเงาในบางครั้งมีนวลหรือไขเกาะที่ใบ ฐานทั้งสองข้างของใบไม่เท่ากัน

ขนาดของใบขึ้นอยู่กับพันธุ์และการเพาะปลูก แผ่นใบที่แก่เมื่อนำไปพับจะแตกง่ายกว่าแผ่นใบที่อ่อน ใบสุดท้ายเรียกว่า ใบธง

4) ช่อดอก (Inflorescence) / ปลี (Mele Bud) ประกอบไปด้วยช่อดอกย่อย มีกาบดอกหรือใบประดับ (Bract) ลักษณะรูปไข่สีแดงหรือสีม่วงรองรับไว้

ปลีกล้วยประกอบไปด้วยดอกเพศผู้อยู่ส่วนตอนบน ดอกเพศเมียอยู่บริเวณส่วนล่างสุด และดอกสมบูรณ์หรือที่เรียกว่า ดอกกระเทย ซึ่งอยู่ระหว่างกลางดอกเพศผู้และดอกเพศเมียอาจจะมีหรือไม่มีก็ได้ ดอกเพศเมียสามารถเจริญเติบโตกลายเป็นผลได้โดยไม่ต้องปฏิสนธิกับเกสรเพศผู้ ทำให้ผลที่ได้ไม่มีเมล็ด ดอกสมบูรณ์ได้ผลที่สั้น ดอกเพศผู้หรือที่เรียกว่า หัวปลี นิยมตัดออก เนื่องจากหากปล่อยให้เกสรเพศผู้ปฏิสนธิกับเกสรเพศเมียจะทำให้ผลผลิตที่ได้มีเมล็ดและโตไม่เต็มที่

5) การจำแนกชนิดของกล้วย จัดอยู่ในวงศ์ Musaceae มี 3 สกุล ได้แก่

5.1) Ensete หรือกล้วยโหนด นิยมปลูกเป็นไม้ประดับ ไม่แตกหน่อ มีการขยายพันธุ์ด้วยเมล็ดและหลังจากออกเมล็ดแล้วต้นจะตาย บางชนิดใช้เป็นแป้นตัวอย่างของกล้วยชนิดนี้ เช่น กล้วยนวลหรือกล้วยโหนด คือ E. Glaucom กล้วยพา 2 ชนิด คือ E. Superpum และ E. Ventricosum

5.2) Musa มีการแตกกอแตกหน่อ นิยมปลูกเพื่อผลผลิต เช่น กล้วยน้ำว้า กล้วยไข่และกล้วยหอม นอกจากนี้ยังมีชนิดที่สามารถเป็นไม้ประดับได้ เช่น กล้วยร้อยหวี กล้วยนาก และกล้วยต่าง

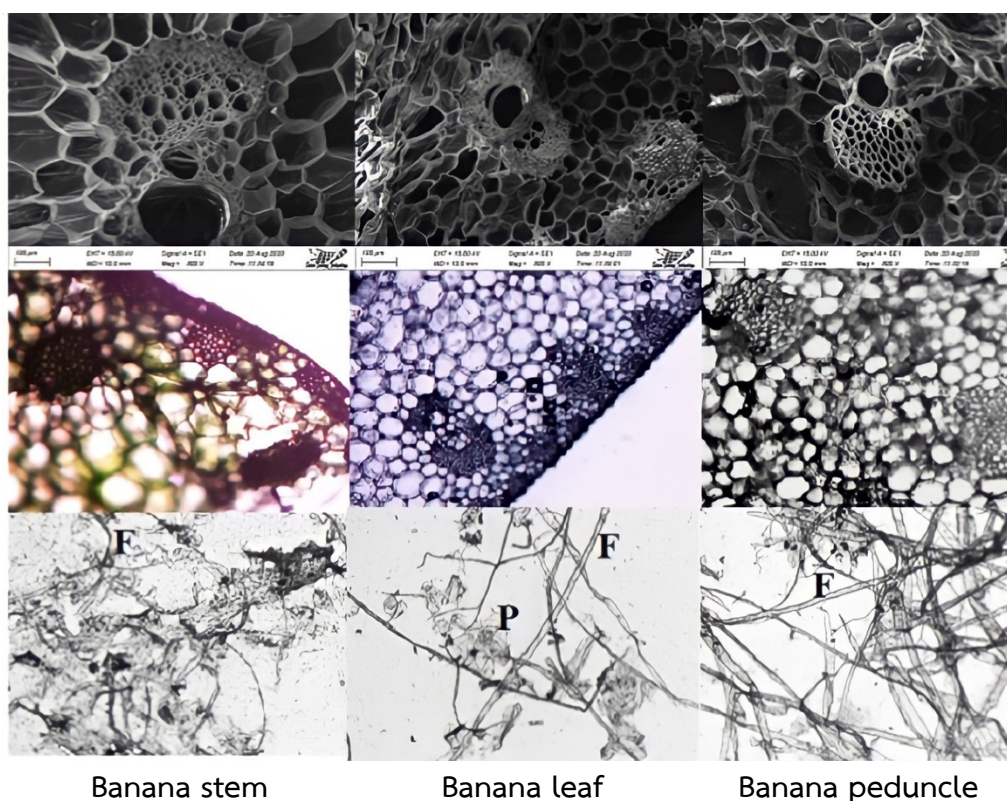
5.3) Musella ถิ่นกำเนิดที่มณฑลยูนนาน ประเทศจีน มีการแตกหน่อที่มุมระหว่างใบ ลำต้นเตี้ยที่รู้จักคือกล้วยแคระจีน

2.4.1.2 ลักษณะที่เกี่ยวกับการขยายพันธุ์ของต้นกล้วย มี 4 วิธีที่นิยมใช้สำหรับการนำมาขยายพันธุ์ [39] ดังนี้

1. การแยกหน่อ นิยมใช้อย่างมากเนื่องจากให้ผลผลิต
2. การเพาะเมล็ด เหมาะสำหรับกล้วยที่ไม่แตกหน่อ ใช้เวลาในการขยายพันธุ์มากกว่า 1 ปี
3. การผ่าหน่อ ไม่นิยมเนื่องจากใช้เวลานานในการได้ผลผลิต และใช้ต้นกล้วยเป็นจำนวนมาก
4. การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ได้จำนวนต้นที่มาก ขนาดต้นสม่ำเสมอ เหมาะสำหรับการค้า อย่างไรก็ตามวิธีนี้มีค่าใช้จ่ายสูง

2.4.2 กาบกล้วย (Banana Stem)

กาบกล้วย เป็นส่วนหนึ่งของลำต้นเทียมที่เกิดจากการซ้อนทับกันของกาบใบ องค์ประกอบภายในของกาบใบมีช่องอากาศ (Air Space) ประมาณครึ่งหนึ่งของพื้นที่โดยมีผนังที่บางกัน และส่วนของท่อน้ำเลี้ยงประกอบไปด้วยท่ออาหารและถุงน้ำยาง ดังภาพประกอบที่ 2.8 ลักษณะของกาบใบมีความมันเงา ผนังเซลล์ด้านนอกที่หนาเรียกว่า อีพิดERMิส (Epidermis) ประกอบด้วยเซลลูโลส ชั้นถัดไปเรียกว่า Hypodermis มีสารลิกนินเคลือบอยู่ (โดยสามารถดองค้ประกอบทางเคมีได้ดังตารางที่ 2.3) ซึ่งสารลิกนินพัฒนามาจากสารซูเบอร์ริน (Suberin) โดยมีการเปลี่ยนแปลงของสารเพื่อป้องกันส่วนที่อยู่ภายใน [38] นอกจากนี้บริเวณปลายยอดของกาบใบจะเป็นส่วนที่อยู่ติดกับก้านใบ (Petiole) มีการเรียงตามความยาวของท่อน้ำเลี้ยงและผนังกันเช่นเดียวกันกับกาบใบ



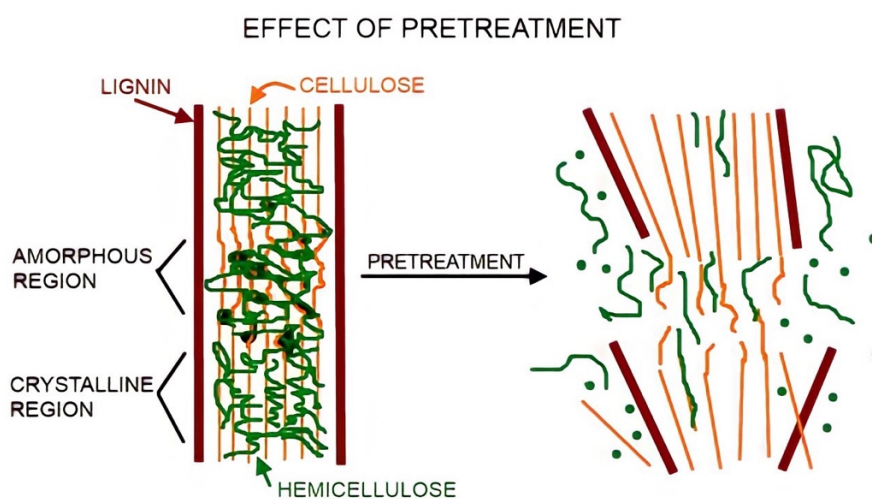
ภาพประกอบที่ 2.8 แสดงภาพตัดขวางและเส้นใยของต้นกล้วย ใบ และก้านกล้วย [40]

ตารางที่ 2.3 แสดงลักษณะทางเคมีของกาบใบ ใบ และก้านใบ [40]

ลักษณะทางเคมี	ไฮโดรเซลลูโลส (%)	แอลฟาเซลลูโลส (%)	Klason lignin (%)	ปริมาณลิกนินที่ละลายในกรด (%)	ลิกนินทั้งหมด (%)	เพนโทแซน (%)
กาบใบ	66.2	40.2	24.1	2.74	26.84	13.4
ใบ	64.9	41.4	20.7	2.36	23.06	13.3
ก้านใบ	73.7	45.2	20.4	2.56	2.56	14.8

2.5 การปรับสภาพวัตถุดิบ (Pretreatment) [41-43]

วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรถูกจัดอยู่ในวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลสเมื่อนำมาใช้งานมีความจำเป็นต้องมีการปรับสภาพวัตถุดิบก่อนเนื่องจากวัตถุดิบที่ได้มายังคงมีความแข็งแรงของพันธะทางเคมีที่อยู่ภายในโครงสร้าง ดังภาพประกอบที่ 2.9 ดังนั้นจึงต้องมีการปรับสภาพเพื่อทำลายโครงสร้างของวัสดุลิกโนเซลลูโลสเพื่อทำให้เกิดการกำจัดเฮมิเซลลูโลสและลิกนิน ลดความเป็นผลึกของเซลลูโลส และเพิ่มรูพรุนให้กับวัสดุ ส่งผลให้เอนไซม์และจุลินทรีย์สามารถเข้าถึงวัตถุดิบและเกิดการย่อย (Hydrolysis) ได้ง่ายมากยิ่งขึ้น ซึ่งจะเป็นการเปลี่ยนเซลลูโลสให้กลายเป็นน้ำตาลรูปแบบของน้ำตาลรีดิคซ์ โดยการปรับสภาพแต่ละวิธีนั้นจะส่งผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุลิกโนเซลลูโลสที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงควรเลือกวิธีการปรับสภาพและสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้กับวัตถุดิบทั้งสมบัติทางกลและสมบัติทางกายภาพ โดยการปรับสภาพของวัตถุดิบสามารถทำได้ 4 วิธี ได้แก่ วิธีทางกายภาพ วิธีทางเคมี วิธีทางชีวภาพ และวิธีทางกายภาพร่วมกับเคมี ดังนี้



ภาพประกอบที่ 2.9 แสดงการปรับสภาพวัสดุลิกโนเซลลูโลส [49]

2.5.1 การปรับสภาพด้วยวิธีทางกายภาพ (Physical Pretreatment) คือ การลดขนาดของวัตถุดิบให้มีขนาดเล็กลงเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวด้วยวิธีต่าง ๆ เช่น การบด การหั่น การสับ การทุบ เป็นต้น โดยทั่วไปควรลดขนาดวัตถุดิบหลังการหั่นให้มีขนาดประมาณ 1-3 เซนติเมตร และหลังจากการบดละเอียดให้มีขนาด 0.2-2 มิลลิเมตร นอกจากนี้การปรับสภาพด้วยวิธีทางกายภาพมักใช้ร่วมกับวิธีอื่น เช่น การไพโรไลซิส การใช้ความร้อน เป็นต้น

2.5.2 การปรับสภาพด้วยวิธีทางเคมี (Chemical Pretreatment) คือ การใช้สารเคมี ได้แก่ การใช้กรด เป็นต้น เพื่อช่วยเพิ่มการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในวัตถุดิบ ซึ่งวิธีนี้นิยมใช้กันเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะทางด้านอุตสาหกรรมเนื่องจากทำได้ง่ายและได้ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพสูง อย่างไรก็ตามวิธีนี้ยังคงมีค่าใช้จ่ายสูง อีกทั้งยังไม่มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

2.5.3 การปรับสภาพด้วยวิธีทางชีวภาพ (Biological Pretreatment) คือ การใช้จุลินทรีย์หรือแบคทีเรียในการย่อยสลายเอมิเซลลูโลสและลิกนิน มีข้อดี คือ ไม่มีการใช้สารเคมีจึงทำให้ช่วยลดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อม และใช้พลังงานไม่มากนัก อย่างไรก็ตามวิธีนี้มีอัตราการย่อยสลายที่ต่ำมากจึงทำให้ต้องใช้ระยะเวลานานเพื่อเกิดการย่อยสลาย

2.5.4 การปรับสภาพด้วยวิธีทางกายภาพร่วมกับเคมี (Physicochemical Pretreatment) คือ การลดขนาดวัตถุดิบด้วยวิธีทางกายภาพผสมผสานร่วมกับวิธีทางเคมี ได้แก่ การระเบิดด้วยไอน้ำ การระเบิดด้วยแอมโมเนีย การย่อยเปื่อย เป็นต้น วิธีนี้มีข้อดี คือ เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพและมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมพอสมควร อย่างไรก็ตามวิธีนี้ยังคงมีความซับซ้อน และใช้พลังงานสูง

ไม้ปาร์ติเกิลบอร์ดแบบไร้สารยึดเกาะมีความจำเป็นอย่างมากที่ต้องปรับสภาพวัตถุดิบก่อนนำมาใช้งาน เนื่องจากวัตถุดิบที่ได้มาตอนแรกยังคงมีความแข็งแรงของพันธะทางเคมี หากนำไปใช้งานจะทำให้เกิดการยึดติดที่ไม่ดีระหว่างอนุภาคเนื่องจากไม้ปาร์ติเกิลบอร์ดชนิดนี้ไม่ใช้กาวสังเคราะห์เพื่อเกิดการยึดติด ดังนั้นควรปรับสภาพวัตถุดิบเพื่อทำให้วัตถุดิบมีสมบัติทางกลและสมบัติทางกายภาพที่ดียิ่งขึ้น

2.6 กระบวนการอัดร้อน [25]

การกดอัดนิยมใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่ายต่อการขึ้นรูป ช่วยลดความหนา และเพิ่มความหนาแน่นให้กับชิ้นงานมากขึ้น ประกอบไปด้วยแผ่นกดอัด (Platen) จำนวน 2 แผ่น หรือมากกว่า โดยแผ่นกดอัดสามารถเคลื่อนที่ขึ้นลงได้ ส่งผลให้เกิดแรงดันและแรงอัดต่อแม่พิมพ์ชิ้นงานที่อยู่ระหว่างแผ่นกดอัด นอกจากนี้เครื่องกดอัดบางชนิดสามารถตั้งอุณหภูมิและควบคุมความร้อนให้คงที่ระหว่างที่เครื่องกำลังผลิตชิ้นงานได้

การอัดร้อน คือ การอัดแผ่นขึ้นไม้อัดให้มีขนาดที่บางลงจนกระทั่งมีความหนาแน่นตามที่กำหนด ซึ่งการอัดร้อนจะช่วยทำให้ช่องว่างระหว่างขึ้นไม้อัดมีขนาดลดลง รวมไปถึงอุณหภูมิที่ให้การอัดจะทำให้ขึ้นไม้อัดเกิดการยึดเกาะกับกาวสังเคราะห์จนกลายเป็นแผ่นขึ้นไม้อัด นอกจากนี้แรงดันที่ใช้ในการอัดยังมีผลต่อ

คุณสมบัติของไม้ เช่น เมื่อให้แรงดันสูงที่เพียงพอจะทำให้แผ่นขึ้นไม้อัดมีความแข็งแรงตามที่กำหนด อีกทั้งแรงดันและความร้อนยังมีผลต่อความขึ้น ซึ่งทำให้ความขึ้นของแผ่นขึ้นไม้อัดมีการเปลี่ยนแปลงทั้งด้านระนาบและด้านความหนา สำหรับการตั้งค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการอัดร้อนประกอบไปด้วย แรงอัด อุณหภูมิในการอัด เวลาในการอัดจนได้ความหนาที่กำหนด เวลาในการอัดทั้งหมด ความขึ้นในแผ่นขึ้นไม้ และความหนาของบอร์ด

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี ค.ศ. 2015 Y. Kurokochi และ M. Sato [17-18] ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับสมบัติของบอร์ดแบบไร้สารยึดเกาะที่ผลิตจากส่วนต่าง ๆ ของฟางข้าว ได้แก่ ผงฟางข้าว ผงกาบใบ ผงใบข้าว และผงลำต้น ที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 1 มิลลิเมตร โดยมีการขึ้นรูปบอร์ดด้วยวิธีการอัดร้อนที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ความดัน 5 MPa เป็นระยะเวลา 10 นาที ซึ่งจากการทดสอบพันธะภายในของบอร์ดเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับส่วนต่าง ๆ ของฟางข้าว พบว่า บอร์ดที่มีการผลิตจากส่วนผงของลำต้นข้าวมีค่าพันธะภายในประมาณ 0.17 MPa ซึ่งเป็นค่าที่ดีที่สุด เนื่องจากส่วนนี้มีปริมาณของไตรโครมและหูดต่ำหรือแทบจะไม่มีเลยจึงทำให้ไม่ขัดขวางขณะการยึดติด นอกจากนี้ยังมีปริมาณปริมาณเถ้าและซิลิกาต่ำส่งผลให้มีการยึดติดกันได้ดีตรงตามมาตรฐานขั้นต่ำของ JIS A 5908

นอกจากนี้คณะผู้วิจัยยังได้มีการศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างของพื้นผิวและสมบัติของบอร์ดจากฟางข้าวแบบไร้สารยึดเกาะ โดยมีการเปรียบเทียบขนาดของวัตถุดิบระหว่างน้อยกว่า 1 มิลลิเมตร และ 150 ไมโครเมตร โดยมีการขึ้นรูปบอร์ดด้วยวิธีการอัดร้อนที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส ความดัน 5 MPa เป็นระยะเวลา 10 นาที พบว่า เมื่อดูจากภาพลักษณะทางสัณฐานวิทยาของฟางข้าวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด จะเห็นได้ว่าอนุภาคที่มีขนาดน้อยกว่า 1 มิลลิเมตร จะมีส่วนของไตรโครมและหูดยื่นขัดขวางการยึดติดจึงส่งผลให้มีค่าพันธะภายในที่ไม่ดี ซึ่งแตกต่างอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 150 ไมโครเมตร ซึ่งจะเห็นได้ว่าส่วนของไตรโครมและหูดหายไปหลังการบดส่งผลให้มีค่าพันธะภายในดีขึ้นเนื่องจากว่าไม่มีส่วนของไตรโครมและหูดยื่นออกมาขัดขวางการยึดติด

ต่อมาในปี ค.ศ. 2020 Y. Kurokochi และ M. Sato [44] ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการอบไอน้ำเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับบอร์ดที่ผลิตจากฟางข้าวแบบไร้สารยึดเกาะจากการสลายตัวของเอมิเซลลูโลสและเซลลูโลส โดยได้มีการนำฟางข้าวมาปรับสภาพด้วยวิธีการอบไอน้ำที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อทำการลดขนาดอนุภาคให้มีขนาดน้อยกว่า 150 ไมโครเมตร จากนั้นทำการขึ้นรูปบอร์ดด้วยวิธีการอัดร้อนที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส ความดัน 5 MPa เป็นเวลา 10 นาที เห็นได้ว่าบอร์ดมีพันธะภายในที่ดียิ่งขึ้นและมีการพองตัวตามความหนาน้อยลง เนื่องจากการอัดร้อนอาจทำให้ลิกนินมีสมบัติเทอร์โมพลาสติกส่งผลให้มีการไหลตัวที่ดียิ่งขึ้น อีกทั้งอนุภาคที่มีขนาดเล็กยังช่วยทำให้มีช่องว่างระหว่างอนุภาคที่ลดลงส่งผลให้มีการยึดติดภายในที่สูงขึ้นตรงตามมาตรฐาน

สำหรับการศึกษาเกี่ยวกับปาร์ติเกิลบอร์ดที่ผลิตจากลำต้นกล้วยในปี ค.ศ. 2019 W.N.A.W. Nadhari และคณะ [8] ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับสมบัติของบอร์ดที่ผลิตจากเศษของลำต้นกล้วย โดยมีการอบไอน้ำที่ 3

อุณหภูมิแตกต่างกัน คือ 111, 121, 131 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เป็นระยะเวลา 15 นาที จากนั้นจึงทำการขึ้นรูปบอร์ดด้วยวิธีการอัดร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ความดัน 20.68 MPa เป็นเวลา 40 นาที โดยใช้อุณหภูมิขนาดประมาณ 10-1000 ไมโครเมตร จากผลการทดสอบการดูดซึมน้ำ พบว่า บอร์ดที่มีการอบไอน้ำที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส มีค่าการดูดซึมน้ำต่ำที่สุด เนื่องจากการอบไอน้ำจะช่วยปรับปรุงการดูดซึมน้ำของวัตถุดิบส่งผลให้บอร์ดมีการดูดซึมน้ำต่ำกว่าบอร์ดที่ไม่ได้มีการอบไอน้ำ นอกจากนี้การอบไอน้ำยังช่วยให้เกิดการไฮโดรไลซิสบางส่วนของเซลลูโลสและเอมิเซลลูโลสที่มีอยู่ในวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลส อีกทั้งการอบไอน้ำยังช่วยให้ลิกนินมีการอ่อนตัว ทำให้เมื่อนำไปอัดร้อนจะทำให้ลิกนินมีการกระจายตัวที่ดีส่งผลให้บอร์ดมีสมบัติที่ดีขึ้น

นอกจากนี้ในการศึกษาเกี่ยวกับปาร์ติเกิลบอร์ดจากต้นปาล์มในปี ค.ศ. 2012 Hashim และคณะ [3] ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับสมบัติทางกายภาพและทางกลของบอร์ดที่ผลิตจากอนุภาคปาล์มแบบไร้สารยึดเกาะ โดยเริ่มจากการลดขนาดวัตถุดิบ ต่อมาลดความชื้นให้เหลือ 7-8% แล้วนำอนุภาคที่ได้ทั้งหมดไปทำการบดละเอียดให้มีขนาดน้อยกว่า 1 มิลลิเมตร จากนั้นจึงทำการขึ้นรูปบอร์ดด้วยวิธีการอัดร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ความดัน 5 MPa เป็นเวลา 20 นาที ซึ่งหลังจากการทำการทดสอบพบว่าค่า มอดุลัสการแตกหักและค่าพันธะภายในส่วนของ Core-part มีค่ามากที่สุด เนื่องจากส่วนนี้มีปริมาณเอมิเซลลูโลสของต้นปาล์มสูงกว่าไม้เนื้อแข็งทั่วไป 1.5-3 เท่า ซึ่งอาจส่งผลให้มีการยึดติดที่ดียิ่งขึ้นในระหว่างการอัดร้อน จึงทำให้มีค่ามอดุลัสการแตกหักและค่าพันธะภายในตรงตามมาตรฐาน

และในปี ค.ศ. 2019 JG. Boon และคณะ [9] ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการปรับสภาพวัตถุดิบจากต้นปาล์มด้วยวิธีการอบไอน้ำเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของบอร์ด โดยมีการอบไอน้ำที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ความดัน 35 psi เป็นระยะเวลาแตกต่างกัน คือ 20, 40, 60 นาที ตามลำดับ จากนั้นจึงทำการขึ้นรูปบอร์ดด้วยวิธีการอัดร้อนที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ความดัน 10 MPa เป็นเวลา 20 นาที พบว่า การอบไอน้ำที่ระยะเวลา 60 นาที ให้ผลดีที่สุด เนื่องจากมีการพองตัวตามความหนาต่ำ อีกทั้งยังมีค่าความแข็งแรงของพันธะภายในและมอดุลัสการแตกหักสูง

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

การศึกษาการผลิตแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดแบบไร้สารยึดเกาะจากฟางข้าวผสมกากกล้วยน้ำว้า เพื่อให้ได้แผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดชนิดอัตราแบบไร้สารยึดเกาะ โดยทำการศึกษาอัตราส่วนของวัตถุดิบที่เหมาะสมสำหรับการผลิตแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดชนิดอัตราแบบไร้สารยึดเกาะ จากนั้นจึงได้มีการทดสอบสมบัติทางกลและสมบัติทางกายภาพ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.1 วัสดุ

3.1.1 ฟางข้าว

3.1.2 กากกล้วยน้ำว้า

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือการทดลอง

3.2.1 อุปกรณ์การเตรียม

- ถังมือยาง
- ปีกเกอร์
- ช้อนตักสาร
- ฟลอยด์อะลูมิเนียม
- เครื่องวัดความชื้น
- เครื่องบดอนุภาค
- ตะแกรง ขนาด 20 Mesh
- ขวดพลาสติก
- ถังซีปล็อกขนาดต่าง ๆ
- ซิลิกาเจล
- ถังมือผ้า
- ถาดอลูมิเนียม

3.2.2 อุปกรณ์และเครื่องมือในการขึ้นรูป

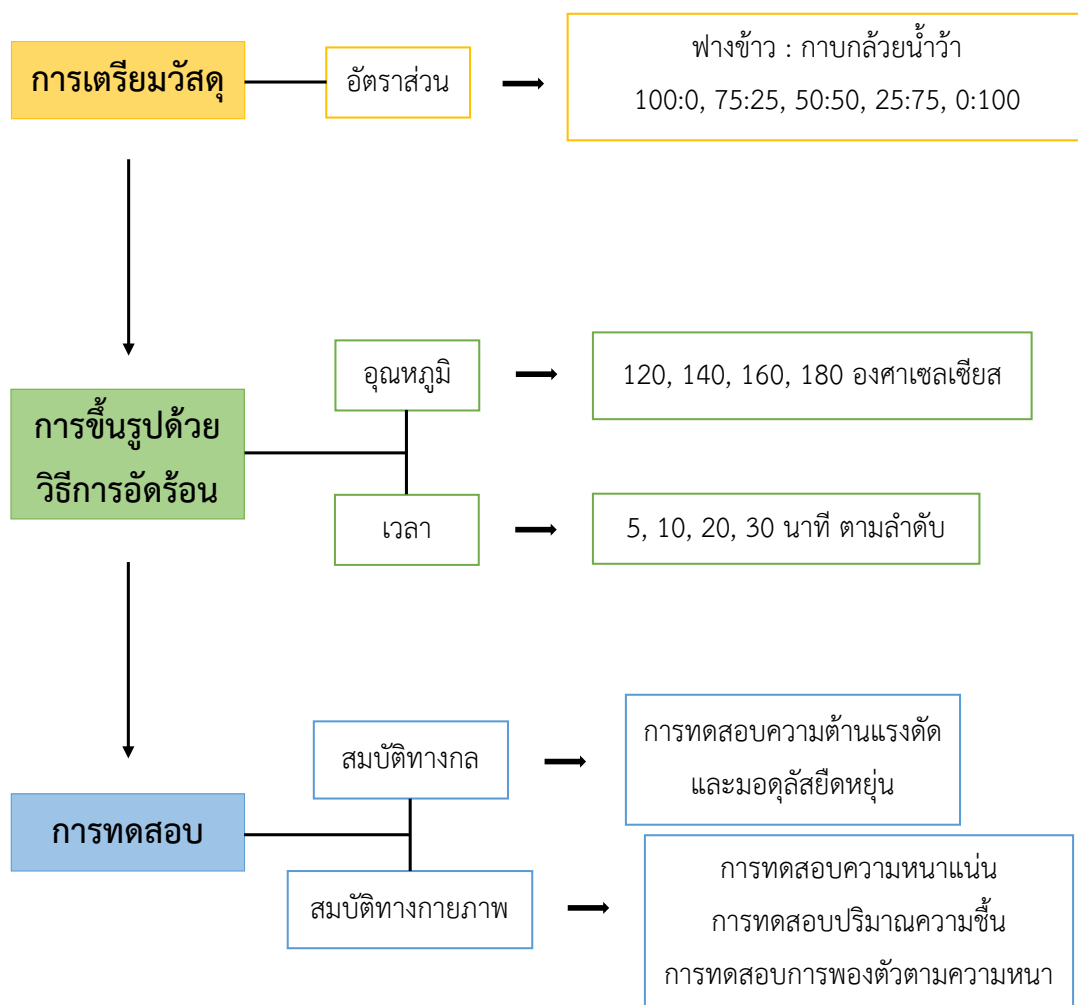
- แม่พิมพ์สำหรับขึ้นรูป
- เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง
- เครื่องอัดร้อนระบบไฮดรอลิก
- แผ่นเทปลอน

3.2.3 เครื่องมือสำหรับการทดสอบ

- เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine) สำหรับทดสอบ Bending Test
- เครื่องควบคุมอุณหภูมิ สำหรับทดสอบการพองตัวตามความหนา
- เวอร์เนียแคลิเปอร์ (Vernier Caliper)
- เตาทอบ
- ตู้ดูดความชื้น
- เครื่องบดลิลล์ (Ball Mills)
- กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy)

3.3 การดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยเริ่มตั้งแต่วิธีการผลิต การทดลอง และการทดสอบสมบัติทางกลและสมบัติทางกายภาพของแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดตามมาตรฐาน โดยมีการศึกษาตัวแปรแต่ละขั้นตอนแสดงดังภาพประกอบที่ 3.1 ดังนี้



ภาพประกอบที่ 3.1 แสดงแผนผังการดำเนินงานวิจัย

3.3.1 การเตรียมและการคัดขนาดของวัสดุ

นำฟางข้าวและกากกล้วยน้ำว้าซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีลักษณะเป็นชิ้นขนาดใหญ่นำมาตัดให้มีลักษณะเป็นชิ้นขนาดเล็กประมาณ 2 เซนติเมตร จากนั้นนำไปตากแห้งเพื่อไล่ความชื้น ต่อมาจึงนำวัสดุมาบดและกรองผ่านตะแกรงขนาด 20 Mesh เพื่อให้ได้ขนาดอนุภาคของฟางข้าวและอนุภาคของกากกล้วยน้ำว้าที่มีขนาดเล็กกว่า 841 ไมครอน

3.3.2 การขึ้นรูปแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดแบบไร้สารยึดเกาะ

นำอนุภาคที่มีการบดละเอียดมาผสมกันตามอัตราส่วนของฟางข้าวต่อกากกล้วยน้ำว้าตามที่กำหนด ได้แก่ 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 และ 0:100 สำหรับอัตราส่วนของฟางข้าวต่อกากกล้วยน้ำว้าที่ 75:25, 50:50, 25:75 มีการวัดความชื้นของวัสดุเริ่มต้นก่อนผสม โดยกำหนดให้ฟางข้าวมีความชื้นไม่เกิน 9% และกากกล้วยน้ำว้าไม่เกิน 14% จากนั้นจะทำการชั่งน้ำหนักตามอัตราส่วนแล้วทำการผสมด้วยเครื่องบอลมิลล์ เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อให้วัสดุผสมเข้าด้วยกัน

สำหรับขั้นตอนก่อนการอัดร้อนจะมีการวัดความชื้นของผงวัสดุ จากนั้นทำการชั่งน้ำหนักปริมาณ 3.54 กรัม แล้วทำการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยวิธีการอัดร้อน โดยทำการศึกษาอุณหภูมิการอัดร้อน ได้แก่ 120, 140, 160 และ 180 องศาเซลเซียส แรงอัด 5 เมกะพาสคัล ระยะเวลาอัด 5, 10, 20 และ 30 นาที ตามลำดับ ดังตารางที่ 3.1 เมื่อได้ชิ้นงานแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดแบบไร้สารยึดเกาะแล้ว จากนั้นจึงทำการทดสอบสมบัติทางกลและสมบัติทางกายภาพตามมาตรฐาน

ตารางที่ 3.1 แสดงอัตราส่วนผสม อุณหภูมิ แรงดัน และระยะเวลาในการอัดร้อนสำหรับการทดสอบ

ส่วนผสม ฟางข้าว : กากกล้วย	อุณหภูมิการอัดร้อน (องศาเซลเซียส)	แรงอัด (MPa)	ระยะเวลาการอัด (นาที)
100 : 0	120, 140, 160, 180	5	5, 10, 20, 30
75 : 25			
50 : 50			
25 : 75			
0 : 100			

3.3.3 การทดสอบสมบัติทางกล [26]

3.3.3.1 การทดสอบความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น

หลังจากการปรับสภาวะให้ทำการตัดชิ้นทดสอบตามขนาดมาตรฐาน ASTM-D790 จากนั้นจึงนำชิ้นทดสอบไปวางลงบนแท่นรองรับ โดยให้ปลายทั้งสองข้างยื่นออกมาด้านละประมาณ 25 มิลลิเมตร ดังภาพประกอบที่ 3.2 แล้วมีการให้แรงอัดที่จุดกึ่งกลางของชิ้นงาน ด้วยอัตราเร็วในการอัดแบบคงที่จนกระทั่งชิ้นทดสอบเกิดการแตกหัก ซึ่งอัตราเร็วในการทดสอบ คือ 1 มิลลิเมตร/นาที่ แล้วจึงคำนวณหาค่าเฉลี่ยความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่นตามสูตรที่ 3.1 และ 3.2

วิธีการคำนวณความต้านแรงดัด

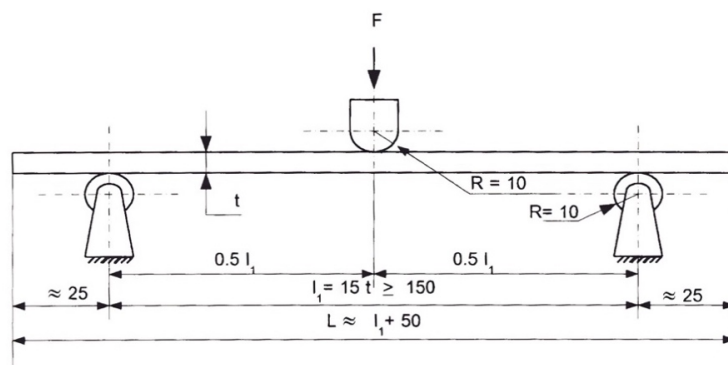
$$\text{จากสูตร } f_m = \frac{3 F_{\max} I_l}{2 b t^2} \quad (3.1)$$

โดยที่ f_m คือ ความต้านแรงดัด หน่วยเมกะพาสคัล (MPa)
 $F_{\max}$ คือ แรงกดสูงสุดที่ชิ้นทดสอบรับได้ หน่วยนิวตัน (N)
 I_l คือ ระยะห่างของแท่งรองรับ หน่วยมิลลิเมตร (mm)
 b คือ ความกว้างที่จุดกึ่งกลางด้านยาวของชิ้นทดสอบ หน่วยมิลลิเมตร (mm)
 t คือ ความหนาที่จุดกึ่งกลางของชิ้นทดสอบ หน่วยมิลลิเมตร (mm)

วิธีการคำนวณมอดุลัสยืดหยุ่น

$$\text{จากสูตร } E_m = \frac{I_l^3 (F_2 - F_1)}{4 b t^3 (a_2 - a_1)} \quad (3.2)$$

โดยที่ E_m คือ มอดุลัสยืดหยุ่น หน่วยเมกะพาสคัล (MPa)
 I_l คือ ระยะห่างของแท่งรองรับ หน่วยมิลลิเมตร (mm)
 $F_2 - F_1$ คือ แรงกดที่เพิ่มขึ้น ในช่วงเส้นกราฟเป็นเส้นตรง หน่วยนิวตัน (N)
 b คือ ความกว้างที่จุดกึ่งกลางด้านยาวของชิ้นทดสอบ หน่วยมิลลิเมตร (mm)
 t คือ ความหนาที่จุดกึ่งกลางของชิ้นทดสอบ หน่วยมิลลิเมตร (mm)
 $a_2 - a_1$ คือ ระยะแอนตัวที่เพิ่มขึ้นในช่วงที่เส้นกราฟเป็นเส้นตรง หน่วยมิลลิเมตร (mm)



หน่วยเป็นมิลลิเมตร

ภาพประกอบที่ 3.2 แสดงการทดสอบความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น [26]

3.3.4 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ [26]

3.3.4.1 การทดสอบความหนาแน่น

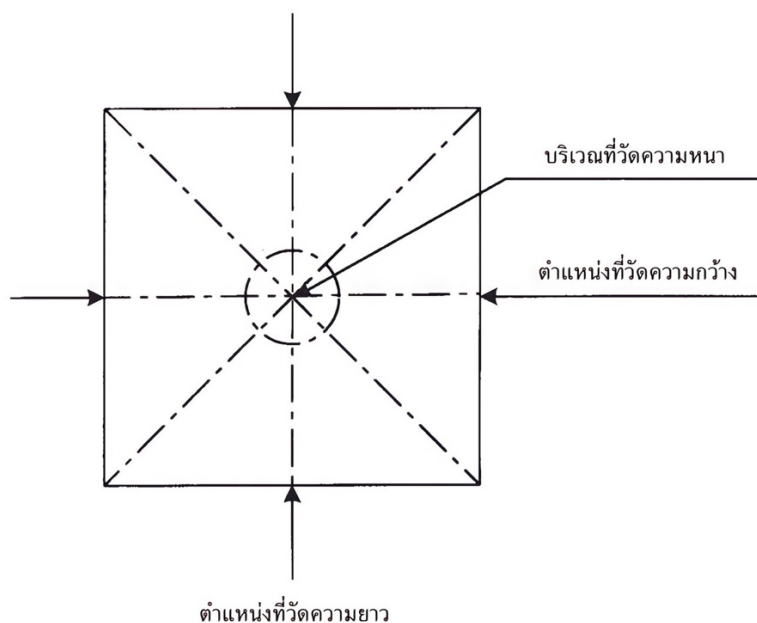
การทดสอบความหนาแน่นทำโดยชั่งน้ำหนักชิ้นงานแล้ววัดความหนาตรงจุดกึ่งกลางของชิ้นทดสอบ ดังภาพประกอบที่ 3.3 และวัดความกว้างและความยาวของชิ้นทดสอบตามตำแหน่งที่กำหนด ดังภาพประกอบที่ 3.4 โดยมีการวางเครื่องมือให้ทำมุมกับแนวระนาบของชิ้นทดสอบประมาณ 45° จากนั้นจึงคำนวณหาความหนาแน่นของแผ่นตามสูตรที่ 3.3

วิธีการคำนวณความหนาแน่น

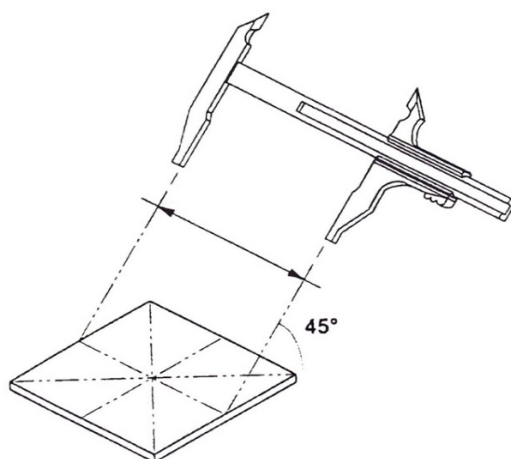
$$\text{จากสูตร} \quad \text{ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)} = \frac{m}{v} \times 10^6 \quad (3.3)$$

โดยที่ m คือ มวลของชิ้นทดสอบ หน่วยกรัม (g)

v คือ ปริมาตรของชิ้นทดสอบ หน่วยลูกบาศก์มิลลิเมตร (mm^3)



ภาพประกอบที่ 3.3 แสดงตำแหน่งที่วัดความกว้าง ความยาว และความหนาของชิ้นทดสอบ [26]



ภาพประกอบที่ 3.4 แสดงวิธีการวัดความกว้าง ความยาวของชิ้นทดสอบ [26]

3.3.4.2 การทดสอบปริมาณความชื้น

นำชิ้นทดสอบมาทำการชั่งน้ำหนักซึ่งจะได้เป็นน้ำหนักก่อนการอบแห้งของชิ้นทดสอบ หลังจากนั้นจึงนำชิ้นทดสอบไปทำการอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 15 ชั่วโมง จนได้ชิ้นงานทดสอบที่มีน้ำหนักคงที่แล้วทำการชั่งน้ำหนักอีกครั้ง ก่อนนำไปใส่ในตู้ดูดความชื้นเป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง เพื่อปล่อยให้เย็นตัว เมื่อครบกำหนดแล้วจึงนำชิ้นทดสอบมาชั่งน้ำหนักอีกครั้งซึ่งเป็นน้ำหนักหลังอบแห้ง จากนั้นจึงคำนวณหา ค่าเฉลี่ยปริมาณความชื้นตามสูตรที่ 3.4

วิธีการคำนวณปริมาณความชื้น

$$\text{จากสูตร} \quad \text{ปริมาณความชื้น ร้อยละ} = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100 \quad (3.4)$$

โดยที่ m_1 คือ มวลของชิ้นทดสอบก่อนอบ หน่วยกรัม (g)

m_2 คือ มวลของชิ้นทดสอบหลังอบแห้ง หน่วยกรัม (g)

3.3.4.3 การทดสอบการพองตัวตามความหนา

ทำการตัดชิ้นทดสอบด้วยเลื่อยฉลุ จากนั้นนำชิ้นทดสอบไปแช่น้ำหนักแล้วทำการปรับสภาพในตู้เคซิเคเตอร์เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนด นำออกมาชั่งน้ำหนักอีกครั้ง จากนั้นจึงทำการวัดความหนาของชิ้นทดสอบก่อนแช่น้ำ แล้วจึงนำชิ้นงานไปแช่น้ำสะอาดที่อุณหภูมิ 20 ± 2 องศาเซลเซียส โดยมีการวางชิ้นทดสอบตั้งฉากกับระดับผิวน้ำและขอบบนของชิ้นงานอยู่ใต้ระดับผิวน้ำประมาณ 25 มิลลิเมตร ทำการแช่เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำชิ้นทดสอบออกมาซับน้ำและปล่อยทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง แล้วจึงทำการวัดชิ้นงานหลังการทดสอบ เพื่อหาค่าเฉลี่ยการพองตัวตามความหนาตามสูตรที่ 3.5

วิธีการคำนวณการพองตัวตามความหนา

$$\text{จากสูตร} \quad \text{การพองตัวตามความหนา ร้อยละ} = \frac{t_2 - t_1}{t_1} \times 100 \quad (3.5)$$

โดยที่ t_1 คือ ความหนาของชิ้นทดสอบก่อนแช่น้ำ หน่วยมิลลิเมตร (mm)

t_2 คือ ความหนาของชิ้นทดสอบหลังแช่น้ำ หน่วยมิลลิเมตร (mm)

3.3.5 การวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM)

การตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างชิ้นทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เพื่อวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานและการยึดเกาะกันระหว่างอนุภาค ทำโดยการตัดชิ้นทดสอบขนาด 1×1 ตารางเซนติเมตร จากนั้นทำการหักชิ้นทดสอบเพื่อให้เห็นภาคตัดขวาง (Cross Section) ทำการพันเทปคาร์บอนกับชิ้นทดสอบโดยเหลือด้านภาคตัดขวางแล้วทำการเคลือบผิวด้วยทองเพื่อให้เกิดการนำไฟฟ้า แล้วนำไปตรวจสอบที่กำลังขยาย 100, 500, 1000 และ 4000 เท่า ตามลำดับ

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการผลิตแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดแบบไร้สารยึดเกาะจากฟางข้าวผสมกากกล้วยน้ำว่า โดยทำการศึกษาอัตราส่วนของวัสดุที่เหมาะสมสำหรับการผลิตแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดชนิดอัดราบแบบไร้สารยึดเกาะ จากนั้นจึงได้มีการทดสอบสมบัติทางกลและสมบัติทางกายภาพ และมีการวิเคราะห์ผลการทดลองซึ่งมีได้ผลการวิจัยดังนี้

4.1 การทดสอบทางกายภาพ

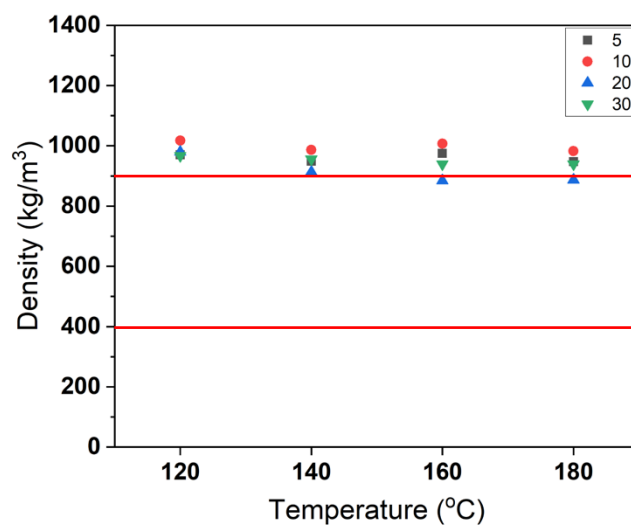
การศึกษาสมบัติทางกายภาพของแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดแบบไร้สารยึดเกาะจากฟางข้าวผสมกากกล้วยน้ำว่าที่ขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดร้อน ประกอบด้วยการหาค่าความหนาแน่น ปริมาณความชื้น และการพองตัวตามความหนา โดยใช้การทดสอบแผ่นขึ้นไม้อัดชนิดอัดราบตามมาตรฐาน มอก. 876-2547 มีการผลิตและการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 คือ ทำการผลิตแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดแบบไร้สารยึดเกาะ ในอัตราส่วนของฟางข้าวต่อกากกล้วยน้ำว่า 100:0 และ 0:100 ที่อุณหภูมิ 120, 140, 160, 180 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการอัด 5, 10, 20 และ 30 นาที ตามลำดับ จากนั้นทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่น ปริมาณความชื้น และการพองตัวตามความหนา เพื่อคัดเลือกเงื่อนไขในการผลิตที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบในส่วนที่ 2

ส่วนที่ 2 คือ ทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพในอัตราส่วนของฟางข้าวต่อกากกล้วยน้ำว่าที่ได้จากการคัดเลือกเงื่อนไขที่เหมาะสม ซึ่งได้แก่ 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 และ 0:100 ที่อุณหภูมิ 140, 160 และ 180 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการอัด 10 และ 30 นาที

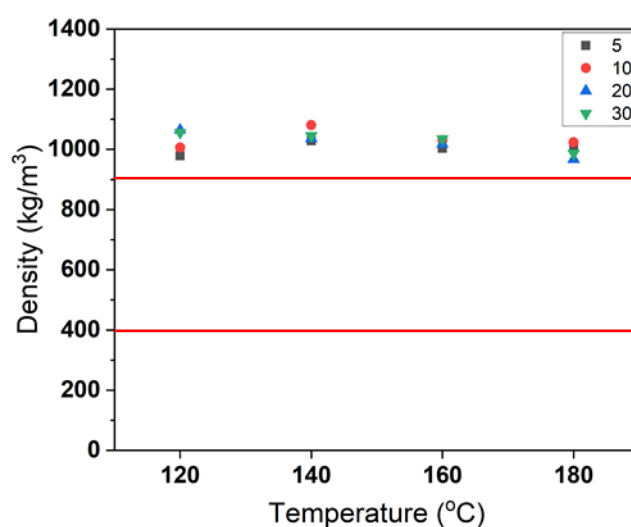
4.1.1 ผลของการทดสอบความหนาแน่น

จากการทดสอบหาความหนาแน่นของแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดแบบไร้สารยึดเกาะจากฟางข้าวผสมกากกล้วยน้ำว่าสำหรับส่วนที่ 1 ที่อัตราส่วนของฟางข้าวต่อกากกล้วยน้ำว่าที่ 100:0 ที่อุณหภูมิ 120, 140, 160, 180 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการอัด 5, 10, 20 และ 30 นาที พบว่าแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดแบบไร้สารยึดเกาะที่ผลิตได้มีความหนาแน่นใกล้เคียงกันและค่าความหนาแน่นมีแนวโน้มลดลงเมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้นหรือเมื่อให้ระยะเวลาในการอัดเพิ่มขึ้น ดังภาพประกอบที่ 4.1 จากกราฟจะเห็นได้ว่าแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดส่วนใหญ่เกือบทุกสภาวะมีค่าความหนาแน่นสูงกว่าช่วงมาตรฐานที่กำหนดค่าความหนาแน่นมาตรฐานอยู่ในช่วง 400-900 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร อาจเนื่องจากอนุภาคของฟางข้าวมีขนาดเล็ก เมื่อทำการอัดร้อนจึงช่วยลดช่องว่างระหว่างอนุภาคและเกิดความหนาแน่นสูง

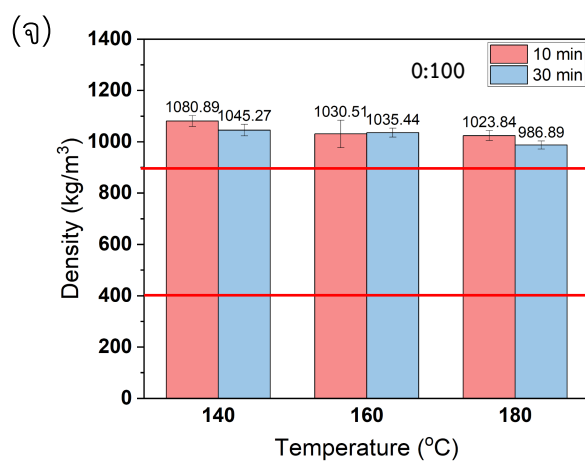
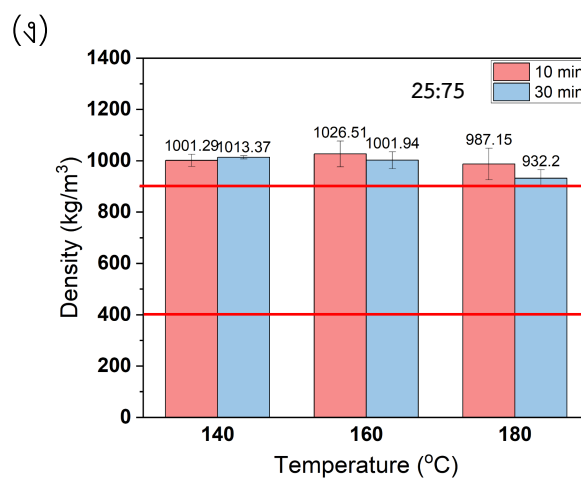
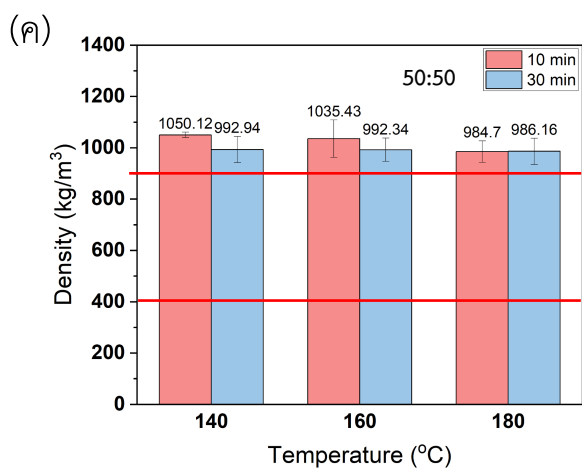
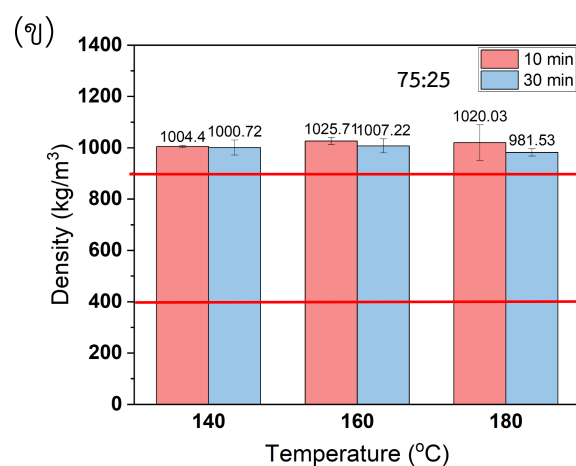
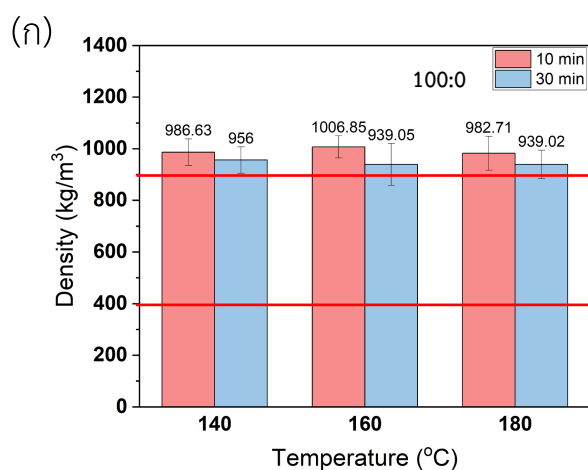


ภาพประกอบที่ 4.1 แสดงความหนาแน่นของฟางข้าวต่อกาบกล้วยน้ำว้าที่อัตราส่วน 100:0

ในส่วนของแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดแบบไร้สารยึดเกาะที่อัตราส่วนของฟางข้าวต่อกาบกล้วยน้ำว้าที่ 0:100 อัตราอุณหภูมิ 120, 140, 160, 180 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการอัด 5, 10, 20 และ 30 นาที พบว่า ค่าความหนาแน่นที่ได้มีความใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มเช่นเดียวกับอัตราส่วนฟางต่อกาบกล้วยน้ำว้าที่ 100:0 โดยภาพรวมค่าความหนาแน่นสูงกว่าช่วงมาตรฐานที่กำหนด กล่าวคือ อนุภาคของกาบกล้วยที่มีขนาดเล็กเมื่อทำการอัดร้อนจึงช่วยลดช่องว่างระหว่างอนุภาคและเกิดความหนาแน่นสูง ดังภาพประกอบที่ 4.2



ภาพประกอบที่ 4.2 แสดงความหนาแน่นของฟางข้าวต่อกาบกล้วยน้ำว้าที่อัตราส่วน 0:100



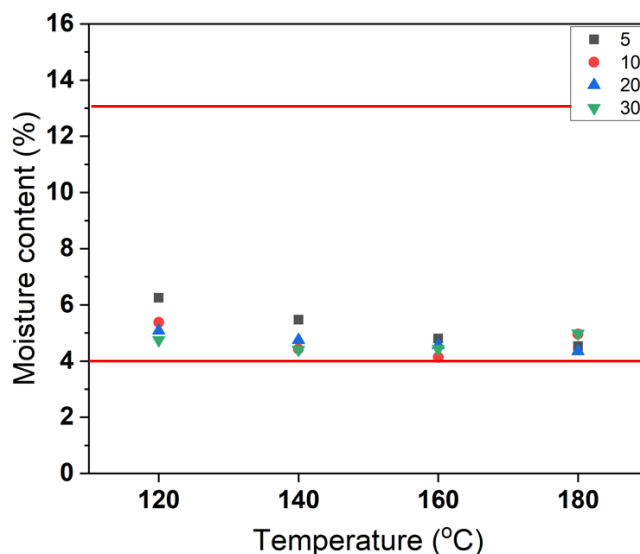
ภาพประกอบที่ 4.3 แสดงความหนาแน่นของฟางข้าวต่อกับกล้วยน้ำว้าที่อัตราส่วน

(ก) 100:0 (ข) 75:25 (ค) 50:50 (ง) 25:75 และ (จ) 0:100

สำหรับส่วนที่ 2 จากการทดสอบหาความหนาแน่นของแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดแบบไร้สารยึดเกาะที่อัตราส่วนของฟางข้าวต่อกาบกล้วยน้ำว้า 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 และ 0:100 อัตราที่อุณหภูมิ 140, 160, 180 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการอัด 10 และ 30 นาที ขึ้นทดสอบมีค่าความหนาแน่นสูงอยู่ในช่วงระหว่าง 932-1080 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งถือว่าขึ้นทดสอบส่วนใหญ่มีค่าสูงเกินกว่าที่มาตรฐานกำหนดตามมอก. 876-2547 เมื่อพิจารณาที่อัตราส่วน อุณหภูมิในการอัด และระยะเวลาในการอัดร้อน พบว่ามีค่าความหนาแน่นในช่วงที่ใกล้เคียงกัน ดังภาพประกอบที่ 4.3 ซึ่งการที่แผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดมีความหนาแน่นสูงอาจมีสาเหตุมาจากโดยทั่วไปแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดมีการทำจากชิ้นไม้หรือเศษไม้ที่มีรูปร่างลักษณะต่าง ๆ เช่น เกล็ด เส้นไม้ แท่ง [26] ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าฟางข้าวและกาบกล้วยน้ำว้าที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เมื่อทำการอัดร้อนจะทำให้มีช่องว่างระหว่างอนุภาคที่น้อยลงส่งผลให้ค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามในกระบวนการผลิตไม่สามารถทำให้ความหนาแน่นและความหนาแน่นเท่ากันได้ตลอดแต่สามารถควบคุมให้ใกล้เคียงกันได้ [25]

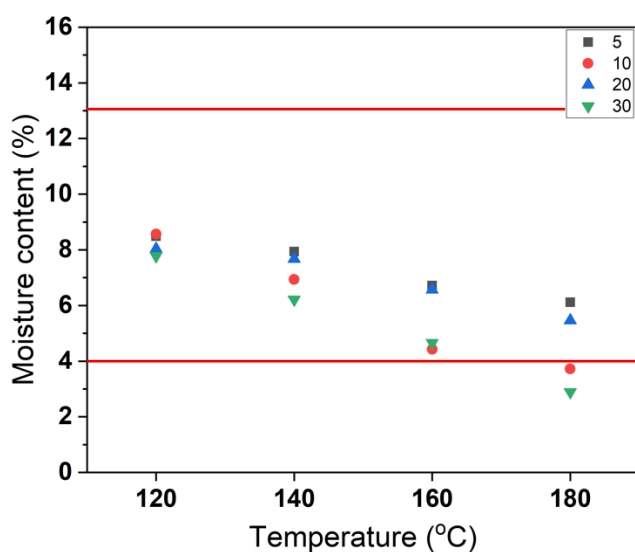
4.1.2 ผลของการทดสอบปริมาณความชื้น

งานวิจัยนี้ได้มีการวัดความชื้นของอนุภาคฟางข้าวและอนุภาคกาบกล้วยน้ำว้าในขั้นตอนการเตรียมก่อนทำการอัดขึ้นรูปเพื่อควบคุมให้วัสดุแต่ละชนิดมีค่าความชื้นอยู่ในช่วงเดียวกัน โดยที่ความชื้นของอนุภาคฟางข้าวอยู่ในช่วง 9-10% และความชื้นของอนุภาคกาบกล้วยน้ำว้าอยู่ในช่วง 14-15% ในส่วนที่ 1 ที่อัตราส่วนของฟางข้าวต่อกาบกล้วยน้ำว้า 100:0 อุณหภูมิในการอัด 120, 140, 160 และ 180 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการอัด 5, 10, 20 และ 30 นาที พบว่าแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดแบบไร้สารยึดเกาะที่ผลิตได้มีค่าปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 4.14-6.25% เมื่อให้อุณหภูมิการอัดร้อน และระยะเวลาที่เพิ่มมากขึ้นจะทำให้ค่าปริมาณความชื้นมีแนวโน้มลดลง ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าที่ทุกอุณหภูมิการอัดร้อนและทุกระยะเวลาการอัดมีค่าอยู่ในช่วงที่มาตรฐานกำหนดซึ่งกำหนดให้มีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงระหว่าง 4-13%

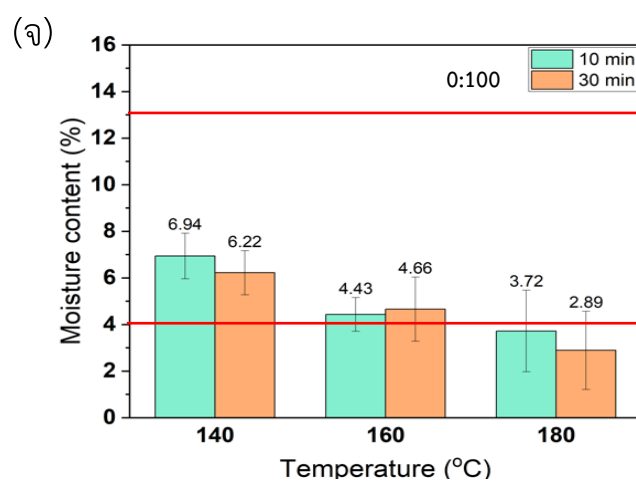
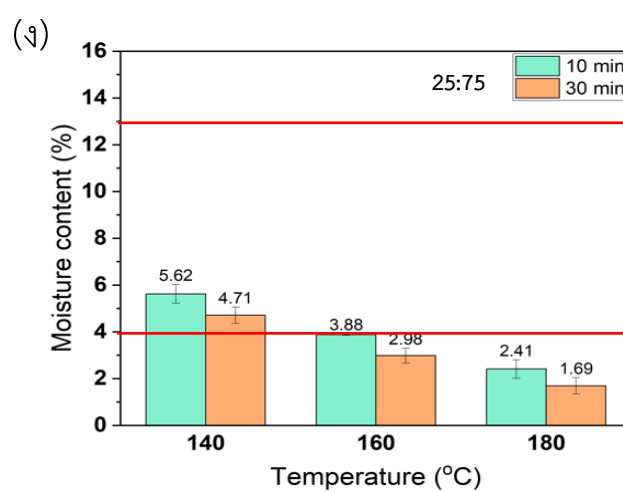
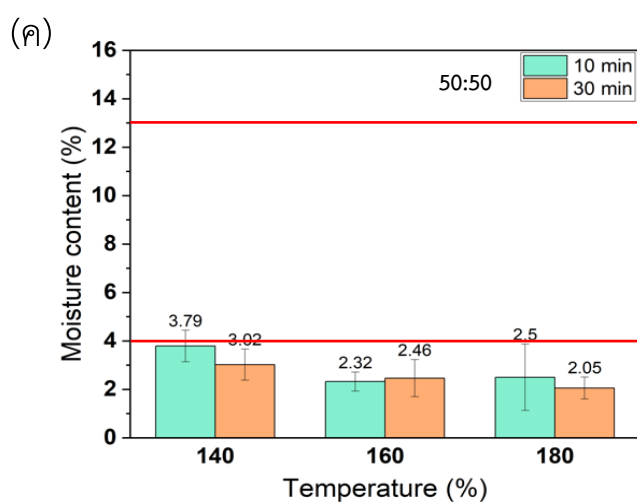
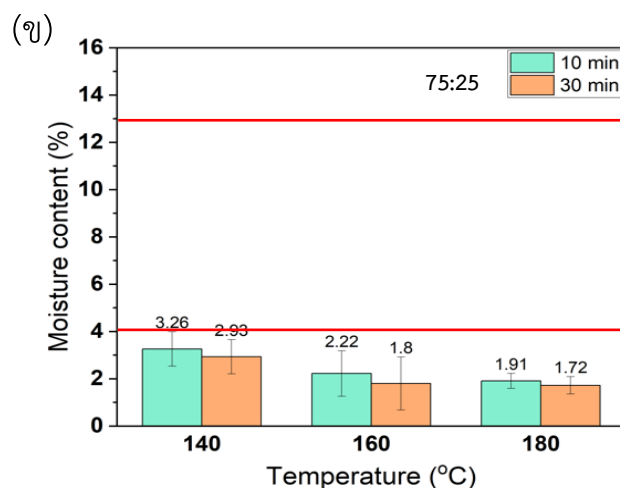
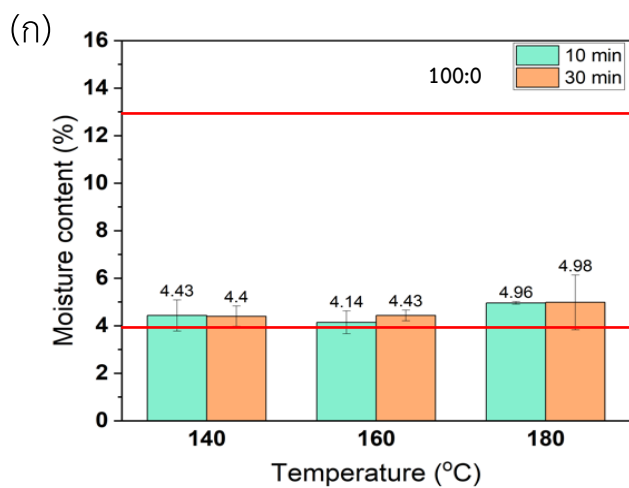


ภาพประกอบที่ 4.4 แสดงปริมาณความชื้นของฟางข้าวต่อกาบกล้วยน้ำว้าที่อัตราส่วน 100:0

ค่าปริมาณความชื้นของแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดแบบไร้สารยึดเกาะในส่วนที่ 1 ที่อัตราส่วนของ ฟางข้าวต่อกาบกล้วยน้ำว้า 0:100 อุณหภูมิในการอัด 120, 140, 160, 180 องศาเซลเซียส ระยะเวลา การอัด 5, 10, 20 และ 30 นาที พบว่าแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดแบบไร้สารยึดเกาะที่ผลิตได้มีค่าปริมาณ ความชื้นอยู่ในช่วงระหว่าง 2.5-9% สามารถสังเกตได้ว่าเมื่อให้อุณหภูมิอัดร้อนและระยะเวลาที่เพิ่ม สูงขึ้นจะทำให้ค่าปริมาณความชื้นมีค่าลดลง เนื่องจากการให้ความร้อนกับชิ้นงานเป็นเวลานานจะ ส่งผลให้ความชื้นภายในวัสดุถูกกำจัดออกมามากขึ้น ดังภาพประกอบที่ 4.5 ซึ่งมีเงื่อนไขส่วนใหญ่ เป็นไปตามมาตรฐาน มอก. 876-2547 ที่กำหนดให้มีความชื้นอยู่ในช่วงระหว่าง 4-13%



ภาพประกอบที่ 4.5 แสดงปริมาณความชื้นของฟางข้าวต่อกาบกล้วยน้ำว้าที่อัตราส่วน 0:100



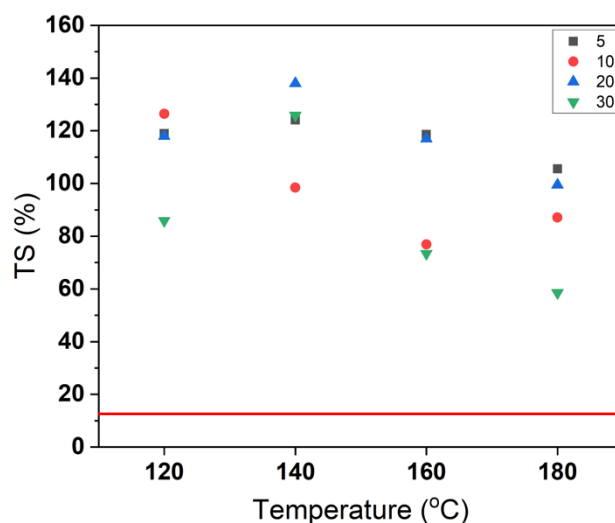
ภาพประกอบที่ 4.6 แสดงปริมาณความชื้นของฟางข้าวต่อกับกล้วยน้ำว้าที่อัตราส่วน

(ก) 100:0 (ข) 75:25 (ค) 50:50 (ง) 25:75 (จ) 0:100

สำหรับส่วนที่ 2 จากการทดสอบหาค่าปริมาณความชื้นของแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดแบบไร้สารยึดเกาะที่อัตราส่วนของฟางข้าวต่อกาบกล้วยน้ำว่า 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 และ 0:100 อุณหภูมิในการอัด 140, 160, 180 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการอัด 10 และ 30 นาที พบว่าเมื่อพิจารณาที่อัตราส่วนจะเห็นได้ว่าสัดส่วนที่มีส่วนผสมของฟางข้าวที่มากจะทำให้มีค่าปริมาณความชื้นที่ต่ำและเมื่อให้อุณหภูมิที่เพิ่มมากขึ้นจะทำให้ค่าปริมาณความชื้นมีแนวโน้มลดลง ดังภาพประกอบที่ 4.6 เนื่องจากลักษณะของวัสดุเป็นอนุภาคจึงทำให้ถ่ายเทความร้อนได้ง่าย เมื่อให้อุณหภูมิสูงและระยะเวลาในการอัดที่มากจะทำให้ความชื้นกลายเป็นไอน้ำและมีค่าลดต่ำลง จากผลการทดสอบอัตราส่วนของฟางข้าวต่อกาบกล้วยน้ำว่าที่อัตราส่วน 75:25, 50:50 ในทุกเงื่อนไข อัตราส่วน 25:75 ที่อุณหภูมิในการอัด 160 และ 180 องศาเซลเซียส ทุกระยะเวลาในการอัด และที่อัตราส่วน 0:100 อุณหภูมิในการอัด 180 องศาเซลเซียส ทุกระยะเวลาในการอัด มีค่าปริมาณความชื้นที่ต่ำกว่ามาตรฐานมอก. 876-2547 ซึ่งกำหนดให้ความชื้นอยู่ในช่วง 4-13%

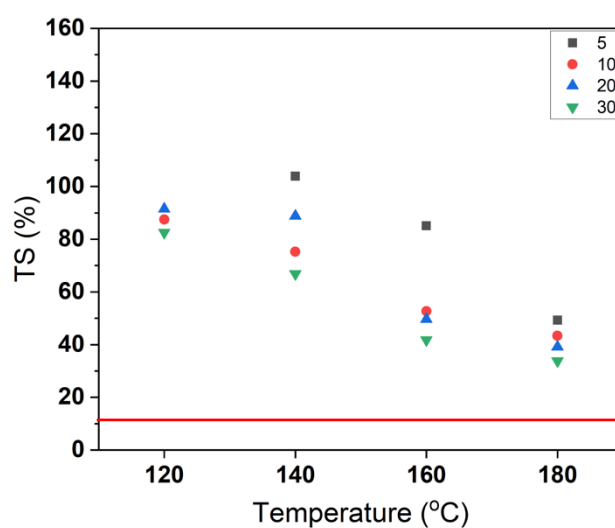
4.1.3 ผลของการทดสอบการพองตัวตามความหนา

จากการทดสอบหาการพองตัวตามความหนาของแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดแบบไร้สารยึดเกาะจากฟางข้าวผสมกับกาบกล้วยน้ำว่าสำหรับส่วนที่ 1 ที่อัตราส่วนของฟางข้าวต่อกาบกล้วยน้ำว่าที่ 100:0 ที่อุณหภูมิ 120, 140, 160, 180 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการอัด 5, 10, 20 และ 30 นาที พบว่าแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดแบบไร้สารยึดเกาะที่ผลิตจากฟางข้าวทุกชิ้นทดสอบมีค่าการพองตัวตามความหนาสูงเกินช่วงมาตรฐานที่กำหนด อย่างไรก็ตามเมื่อให้อุณหภูมิในการอัดที่สูงขึ้นและระยะเวลาอัดเพิ่มมากขึ้น ค่าการพองตัวตามความหนามีแนวโน้มลดลง จากภาพประกอบที่ 4.7 จะเห็นได้ว่ามีค่าการพองตัวตามความหนาสูงสุดที่ 137.99% และต่ำสุดที่ 58.49% ซึ่งตามมาตรฐานมอก. 876-2547 กำหนดให้มีค่าการพองตัวตามความหนาไม่ควรเกิน 12%



ภาพประกอบที่ 4.7 แสดงการพองตัวตามความหนาของฟางข้าวต่อกาบกล้วยน้ำว้าที่อัตราส่วน 100:0

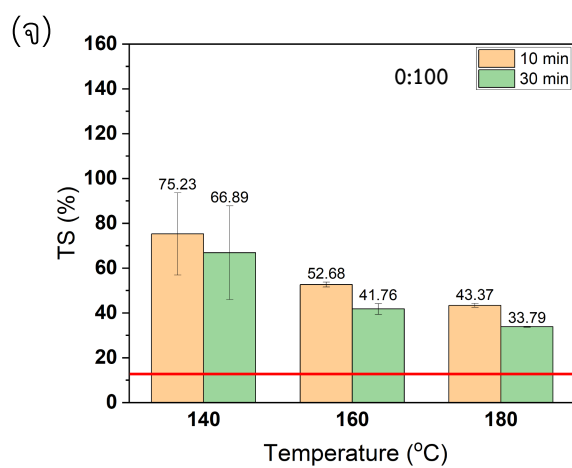
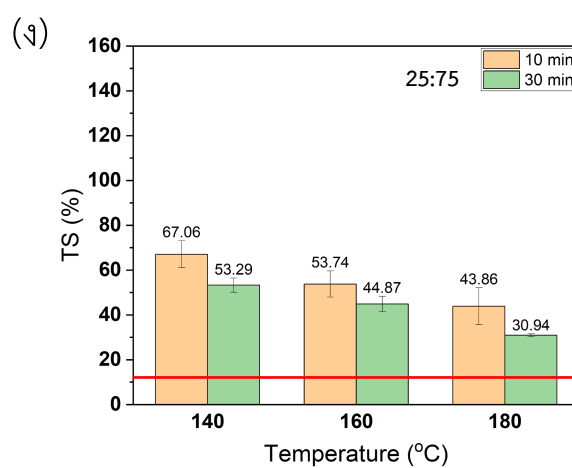
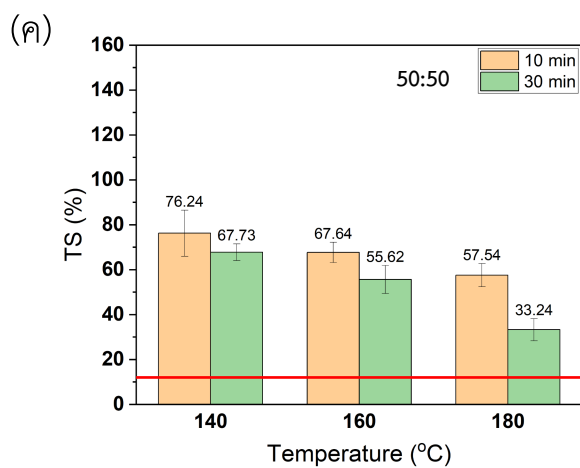
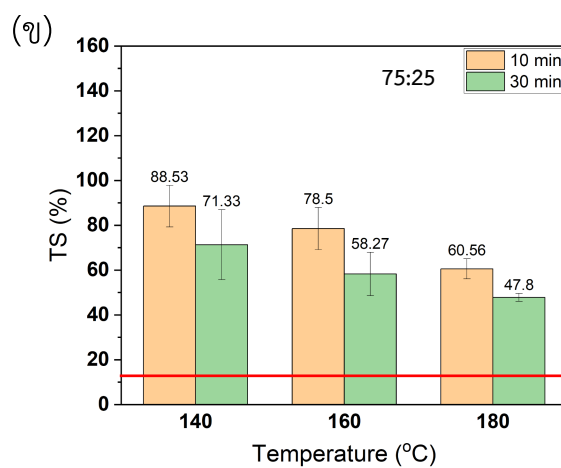
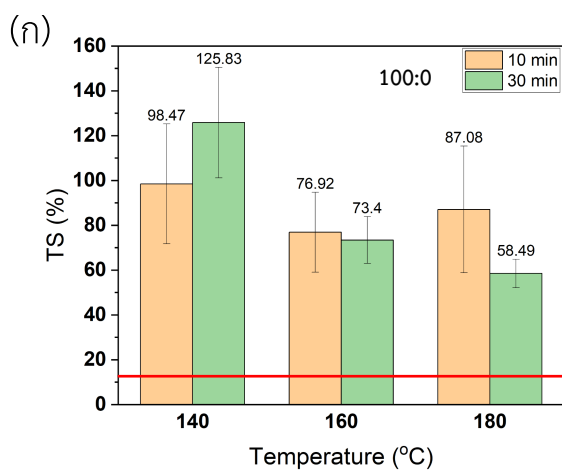
ค่าการพองตัวตามความหนาของแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดแบบไร้สารยึดเกาะในส่วนที่ 1 ที่อัตราส่วนของฟางข้าวต่อกาบกล้วยน้ำว้าที่ 0:100 ที่อุณหภูมิ 120, 140, 160, 180 องศาเซลเซียสระยะเวลาในการอัด 5, 10, 20 และ 30 นาที พบว่าแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดที่ผลิตได้ยังคงมีการพองตัวตามความหนาสูงเกินช่วงมาตรฐานที่กำหนดเช่นเดียวกับอัตราส่วนของฟางข้าวผสมกาบกล้วยน้ำว้า 100:0 อย่างไรก็ตามเมื่อให้อุณหภูมิและระยะเวลาในการอัดที่เพิ่มขึ้นจะทำให้แผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดแบบไร้สารยึดเกาะที่ผลิตจากกาบกล้วยน้ำว้ามีแนวโน้มของค่าการพองตัวที่ลดลง จากภาพประกอบที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าซึ่งมีค่าการพองตัวตามความหนาสูงสุดที่ 103.95% และต่ำสุดที่ 33.79% ซึ่งมีค่ามากเกินไปกว่ามาตรฐานที่กำหนด



ภาพประกอบที่ 4.8 แสดงการพองตัวตามความหนาของฟางข้าวต่อกาบกล้วยน้ำว้าที่อัตราส่วน 0:100

สำหรับส่วนที่ 2 จากการทดสอบหาค่าการพองตัวตามความหนา พบว่าแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดแบบไร้สารยึดเกาะที่ผลิตจากกากกล้วยน้ำว้าทุกชิ้นทดสอบมีค่าการพองตัวตามความหนาสูงเกินช่วงมาตรฐานที่กำหนด ดังภาพประกอบที่ 4.9 จะเห็นได้ว่าอัตราส่วนของฟางข้าวต่อกากกล้วยน้ำว้า ได้แก่ 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 และ 0:100 ที่อุณหภูมิ 140, 160, 180 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการในการอัด 10 และ 30 นาที มีค่าการพองตัวตามความหนาสูงสุดที่ 125.83% และต่ำสุดที่ 30.94%

จากการทดสอบค่าการพองตัวตามความหนา จะเห็นได้ว่าการที่แผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดมีค่าการพองตัวตามความหนาสูงเกินช่วงมาตรฐานที่กำหนดสาเหตุอาจเนื่องมาจากฟางข้าวและกากกล้วยน้ำว้ามีส่วนที่ขอบน้ำและดูดน้ำได้ดี ทั้งนี้เมื่อให้อุณหภูมิที่สูงและระยะเวลาในการอัดที่นานจะทำให้ค่าการพองตัวตามความหนาต่ำลง เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงและระยะเวลาในการอัดที่นานทำให้เกิดการยึดเกาะที่แน่นระหว่างอนุภาค นอกจากนี้คาดว่าลิกนินและเฮมิเซลลูโลสที่อยู่ในวัสดุเกิดการหลอมตัวที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส [49] และเกิดการยึดเกาะของอนุภาค ดังนั้นการซึมผ่านของน้ำจึงลดลง อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาที่อัตราส่วนของฟางข้าวผสมกากกล้วยน้ำว้าจะเห็นได้ว่าค่าการพองตัวตามความหนามีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อมีปริมาณของกากกล้วยน้ำว้ามากขึ้น



ภาพประกอบที่ 4.9 แสดงการพองตัวตามความหนาของฟางข้าวต่อกับกล้วยน้ำว้าที่อัตราส่วน

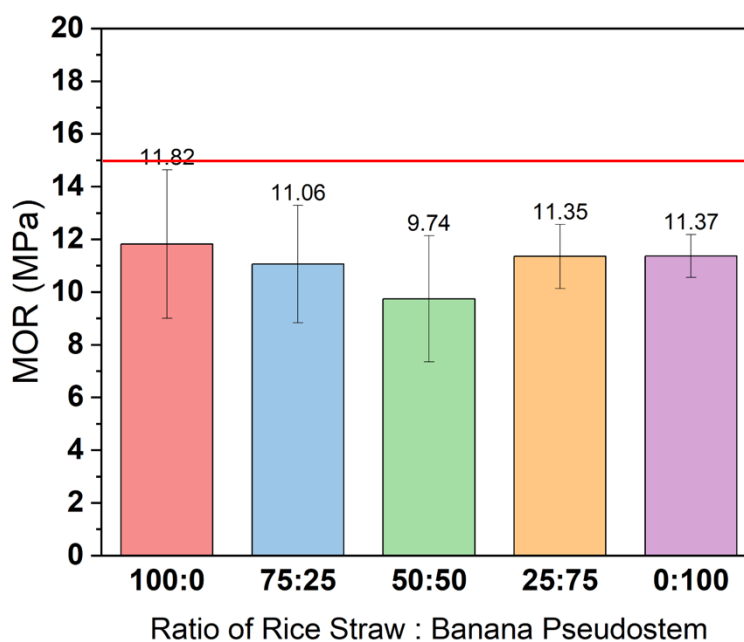
(ก) 100:0 (ข) 75:25 (ค) 50:50 (ง) 25:75 และ (จ) 0:100

4.2 การทดสอบทางกล

4.2.1 ผลของการทดสอบความต้านแรงดัด

ผลการทดสอบความต้านแรงดัดของชิ้นทดสอบที่มีอัตราส่วนของฟางข้าวต่อกาบกล้วยน้ำว้าที่แตกต่างกัน ได้แก่ 100:0, 75:25, 50:50, 25:75, 0:100 โดยมีการขึ้นรูปด้วยวิธีอัดร้อนที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 นาที แสดงดังภาพประกอบที่ 4.10

จากกราฟจะเห็นว่าที่อัตราส่วนของฟางข้าวต่อกาบกล้วยน้ำว้าที่ 100:0, 75:25, 25:75, 0:100 มีค่าความต้านแรงดัดใกล้เคียงกัน คือ 11.82, 11.06, 11.35 และ 11.37 MPa ตามลำดับ โดยจากการศึกษาพบว่าแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดที่ผลิตจากกาบกล้วยน้ำว้ามีปริมาณเฮมิเซลลูโลสใกล้เคียงกันกับแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดที่ผลิตจากฟางข้าว จึงทำให้มีสมบัติความต้านแรงดัดที่ได้มีความใกล้เคียงกัน สำหรับอัตราส่วนของฟางข้าวต่อกาบกล้วยน้ำว้าที่ 50:50 มีค่า 9.74 MPa ซึ่งต่ำกว่ากรณีอื่น ๆ อันอาจเกิดจากการที่อนุภาคมีการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอส่งผลทำให้มีค่าความต้านแรงดัดที่ต่ำกว่า [50] ทั้งนี้แผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดที่ผลิตได้ทุกเงื่อนไขมีค่าต่ำกว่าช่วงมาตรฐานที่กำหนด



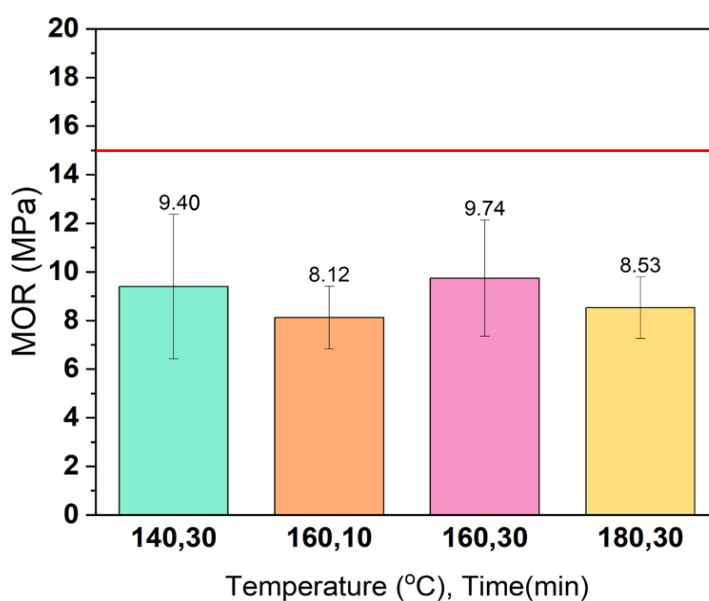
ภาพประกอบที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบความต้านแรงดัดกับอัตราส่วนของฟางข้าวต่อกาบกล้วยน้ำว้าที่แตกต่างกัน ได้แก่ 100:0, 75:25, 50:50, 25:75, 0:100

ผลการทดสอบความต้านแรงดัดของชิ้นทดสอบที่มีอัตราส่วนของฟางข้าวต่อกาบกล้วยน้ำว้าที่ 50:50 โดยมีการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาในการอัดที่แตกต่างกัน คือ อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการอัด 30 นาที, อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการอัด 10

นาที่, อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการอัด 30 นาที, อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการอัด 30 นาที แสดงดังภาพประกอบที่ 4.11

เมื่อเปรียบเทียบความต้านแรงดัดตามอุณหภูมิที่แตกต่างกัน คือ ที่อุณหภูมิ 140 160 และ 180 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการอัด 30 นาที พบว่า ที่อุณหภูมิ 140 160 และ 180 องศาเซลเซียส มีค่าความต้านแรงดัด คือ 9.40 9.74 และ 8.53 MPa ตามลำดับ จากกราฟจะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิ 140 และ 160 องศาเซลเซียสมีค่าใกล้เคียงกัน โดยทั่วไปเมื่อให้อุณหภูมิการอัดที่เพิ่มขึ้นจะทำให้มีค่าความต้านแรงดัดเพิ่มขึ้น แต่ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสกลับมีค่าลดลง เนื่องจากการให้อุณหภูมิการอัดสูงที่สุดเกินไปบางครั้งก็ไม่ได้ให้ค่าความต้านแรงดัดที่สูงที่สุด เพราะเมื่อให้อุณหภูมิการอัดสูงอาจจะส่งผลทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของโมเลกุลพอลิเมอร์ และความสามารถในการยึดติดของพอลิเมอร์มีค่าลดลงได้ [51-52]

เมื่อเปรียบเทียบความต้านแรงดัดตามระยะเวลาการอัดที่แตกต่างกัน คือ ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการอัด 10 และ 30 นาที พบว่า ที่ระยะเวลาในการอัด 10 และ 30 นาที มีค่าความต้านแรงดัด คือ 8.12 และ 9.74 MPa ตามลำดับ จากกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อให้ระยะเวลาในการอัดเพิ่มขึ้น จะทำให้มีค่าความต้านแรงดัดที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน เนื่องจากแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดถูกผลิตขึ้นโดยไม่ใช้กาวจึงทำให้เมื่อให้ระยะเวลาการอัดที่นานขึ้นจะทำให้เกิดกลไกการยึดติดด้วยตนเองได้มากยิ่งขึ้น [52] อย่างไรก็ตามแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดที่ผลิตได้ทุกเงื่อนไขมีค่าต่ำกว่าช่วงมาตรฐานที่กำหนด

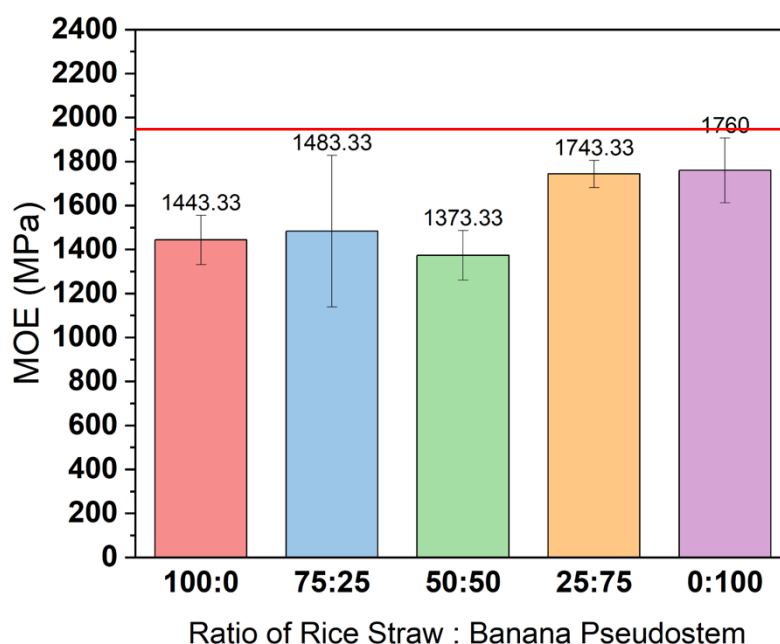


ภาพประกอบที่ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบความต้านแรงดัด โดยมีการขึ้นรูปด้วยวิธีอัดร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาในการอัดที่แตกต่างกัน

4.2.2 ผลของการทดสอบมอดุลัสยืดหยุ่น

ผลการทดสอบมอดุลัสยืดหยุ่นของชิ้นทดสอบที่มีอัตราส่วนของฟางข้าวต่อกาบกล้วยน้ำว้าที่แตกต่างกัน ได้แก่ 100:0, 75:25, 50:50, 25:75, 0:100 โดยมีการขึ้นรูปด้วยวิธีอัดร้อนที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 นาที แสดงดังภาพประกอบที่ 4.12

จากกราฟจะเห็นได้ว่าที่อัตราส่วนของฟางข้าวต่อกาบกล้วยน้ำว้าที่ 100:0, 75:25, 50:50 มีค่ามอดุลัสยืดหยุ่นใกล้เคียงกัน คือ 1443.33 1483.33 และ 1373.33 MPa ตามลำดับ โดยแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดที่ผลิตจากฟางข้าวและมีอัตราส่วนของฟางข้าวในปริมาณที่สูงกว่ามีลักษณะอนุภาคที่เป็นเส้นใยมีขนาดใหญ่กว่าแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดที่ผลิตจากกาบกล้วยน้ำว้า และอาจเกิดจากการกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ จึงทำให้ได้ค่ามอดุลัสยืดหยุ่นมีค่าต่ำกว่ากรณีที่มีกาบกล้วยน้ำว้าในปริมาณสูง สำหรับอัตราส่วนของฟางข้าวต่อกาบกล้วยน้ำว้าที่ 25:75, 0:100 มีค่ามอดุลัสยืดหยุ่นใกล้เคียงกัน คือ 1743.33 และ 1760 MPa ตามลำดับ โดยจากการศึกษาพบว่าแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดที่ผลิตจากกาบกล้วยน้ำว้าและมีอัตราส่วนของกาบกล้วยน้ำว้าในปริมาณที่สูงจะมีการกระจายตัวที่ดี เนื่องจากมีอนุภาคที่มีขนาดเล็กจึงเกิดการกระจายตัวที่ดีส่งผลทำให้มีค่ามอดุลัสยืดหยุ่นที่สูง เพราะสามารถเกิดการยึดติดได้ดีระหว่างอนุภาค [50] อย่างไรก็ตามแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดที่ผลิตได้ทุกเงื่อนไขมีค่าต่ำกว่าช่วงมาตรฐานที่กำหนด

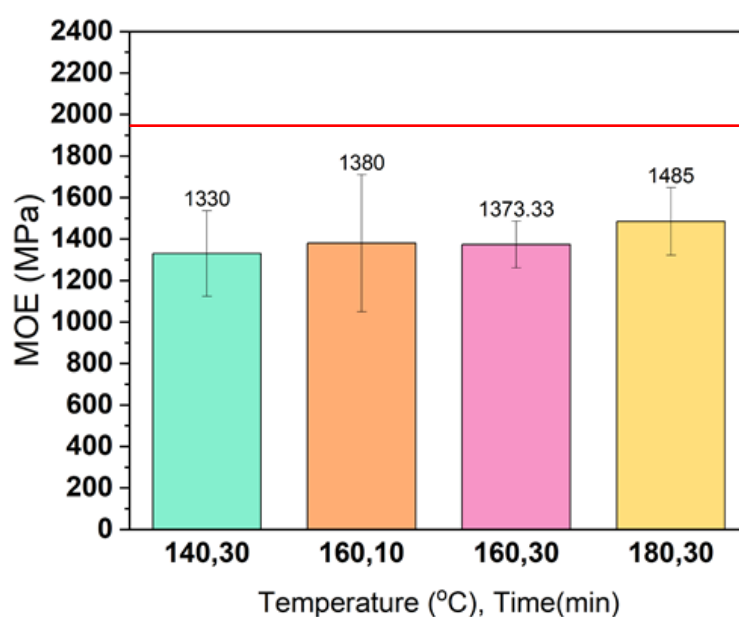


ภาพประกอบที่ 4.12 แสดงการเปรียบเทียบมอดุลัสยืดหยุ่นกับอัตราส่วนของฟางข้าวต่อกาบกล้วยน้ำว้าที่แตกต่างกัน ได้แก่ 100:0, 75:25, 50:50, 25:75, 0:100

จากการทดสอบมอดุลัสยืดหยุ่นของชิ้นทดสอบที่มีอัตราส่วนของฟางข้าวต่อกากกล้วยน้ำว้าที่ 50:50 โดยมีการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาในการอัดที่แตกต่างกัน คือ อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการอัด 30 นาที, อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการอัด 10 นาที, อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการอัด 30 นาที, อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการอัด 30 นาที ดังภาพประกอบที่ 4.13

เมื่อเปรียบเทียบมอดุลัสยืดหยุ่นตามอุณหภูมิที่แตกต่างกัน คือ ที่อุณหภูมิ 140 160 และ 180 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการอัด 30 นาที พบว่า อุณหภูมิ 140 160 และ 180 องศาเซลเซียส มีค่ามอดุลัสยืดหยุ่น คือ 1330 1373.33 และ 1485 MPa ตามลำดับ จากกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อให้อุณหภูมิสูงขึ้นจะส่งผลให้ค่ามอดุลัสยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sho Nonaka และคณะ [53] ที่กล่าวว่า เมื่อให้อุณหภูมิการอัดเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่ามอดุลัสยืดหยุ่นที่ดี

เมื่อเปรียบเทียบมอดุลัสยืดหยุ่นตามระยะเวลาการอัดที่แตกต่างกัน คือ ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการอัด 10 และ 30 นาที พบว่า ที่ระยะเวลาในการอัด 10 และ 30 นาที มีค่ามอดุลัสยืดหยุ่นที่ใกล้เคียงกัน คือ 1380 และ 1373.33 MPa ตามลำดับ จากกราฟจะเห็นได้ว่าระยะเวลาในการอัดไม่ส่งผลต่อค่ามอดุลัสยืดหยุ่น อย่างไรก็ตามแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดที่ผลิตได้มีค่าต่ำกว่าช่วงมาตรฐานที่กำหนด



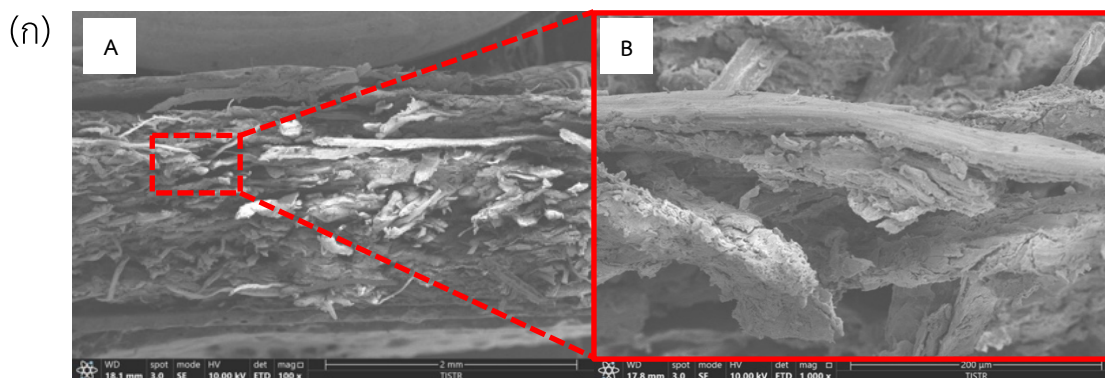
ภาพประกอบที่ 4.13 แสดงการเปรียบเทียบมอดุลัสยืดหยุ่น โดยมีการขึ้นรูปด้วยวิธีอัดร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาในการอัดที่แตกต่างกัน

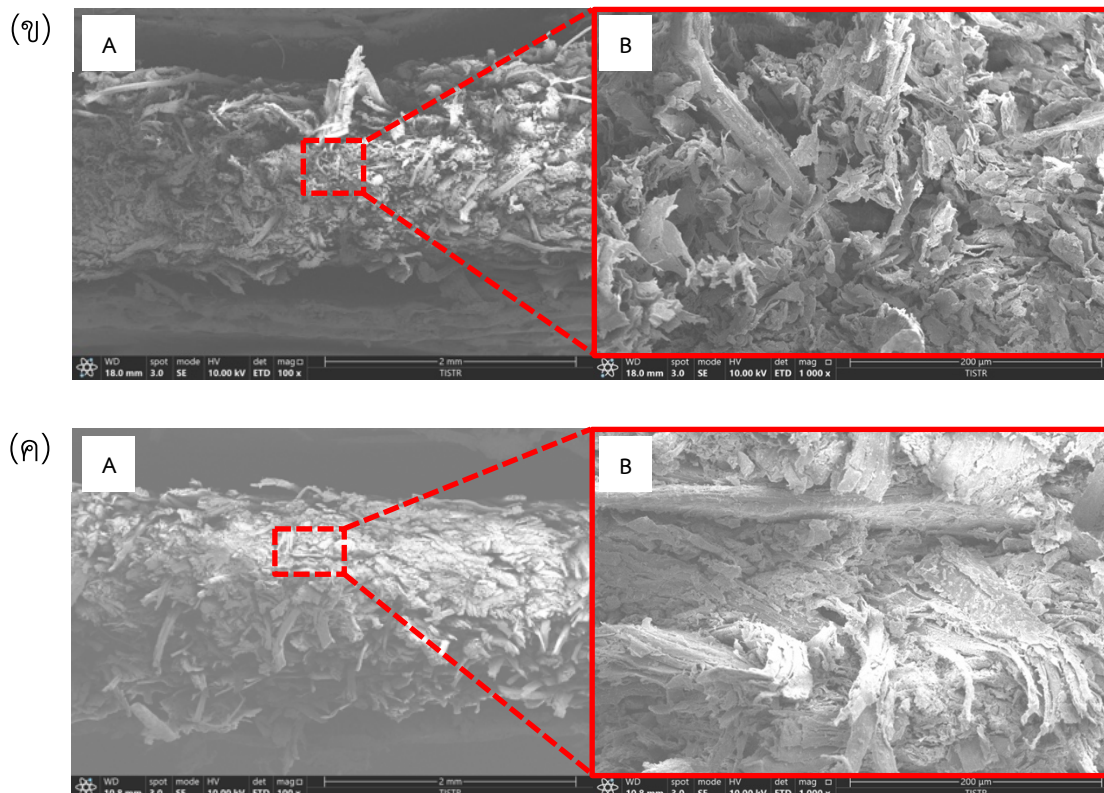
4.3 การวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดแบบไร้สารยึดเกาะจากฟางข้าวผสมกับกากบักล้วยน้ำว่าด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

การวิเคราะห์ตัวอย่างชิ้นทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เพื่อตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานและการยึดติดกันระหว่างอนุภาค โดยมีการเปรียบเทียบ 2 ประเด็น ได้แก่ การเปรียบเทียบอัตราส่วนของฟางข้าวต่อกากบักล้วยน้ำว่าที่แตกต่างกัน คือ 100:0 50:50 และ 0:100 ซึ่งทำการขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ทำการขึ้นรูปที่แตกต่างกัน คือ 140, 160, 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ซึ่งมีอัตราส่วนของฟางข้าวต่อกากบักล้วยน้ำว่าที่ 50:50

4.3.1 การเปรียบเทียบตามอัตราส่วนของฟางข้าวต่อกากบักล้วยน้ำว่าที่แตกต่างกัน คือ 100:0 50:50 และ 0:100

จากการตรวจวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดที่กำลังขยาย 100 และ 1000 เท่า ดังที่แสดงในภาพประกอบที่ 4.14 (ก) ที่อัตราส่วน 100:0 พบว่าเมื่อดูจากภาคตัดขวาง จะเห็นได้ว่าอนุภาคของแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดที่ผลิตจากฟางข้าวมีลักษณะเป็นผผสมกับเส้นใย ส่งผลทำให้เกิดการยึดติดที่ไม่ดีเนื่องจากเส้นใยมีขนาดใหญ่จึงทำให้ขัดขวางการยึดติด ซึ่งเห็นได้จากช่องว่างระหว่างอนุภาคที่มีอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งแตกต่างจากเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดที่อัตราส่วน 0:100 ดังที่แสดงในภาพประกอบที่ 4.14 (ข) พบว่าเมื่อดูจากภาคตัดขวาง จะเห็นว่าอนุภาคของแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดที่ผลิตจากกากบักล้วยน้ำว่าลักษณะเป็นผผและมีขนาดเล็กกว่าอนุภาคของฟางข้าว ทำให้เมื่อนำไปทำการอัดขึ้นรูปส่งผลทำให้เกิดการยึดติดที่ดีและมีช่องว่างระหว่างอนุภาคที่ลดลง อีกทั้งเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดที่อัตราส่วน 50:50 ดังที่แสดงในภาพประกอบที่ 4.14 (ค) พบว่าเมื่อดูจากภาคตัดขวาง จะเห็นได้ว่าเมื่อผสมอนุภาคที่มีลักษณะแตกต่างกันจะช่วยให้แผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดเกิดการยึดติดกันได้ดีกว่าแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดจากฟางข้าวอย่างเดียวเนื่องจากอนุภาคเกิดการกระจายตัว นอกจากนี้อนุภาคที่มีขนาดเล็กจะสามารถแทรกเข้าไปปิดช่องว่างระหว่างอนุภาคได้

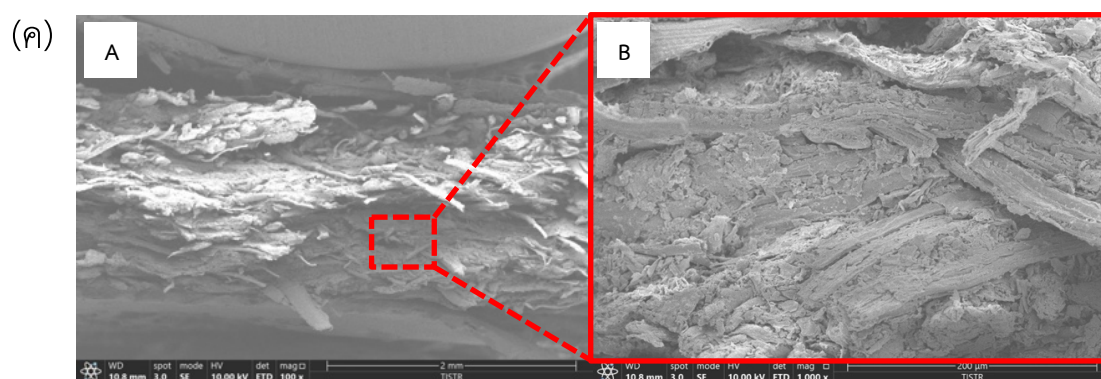
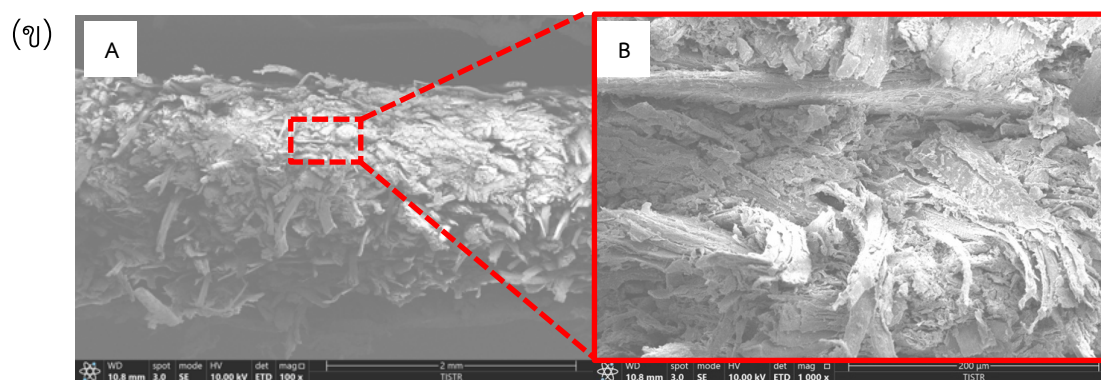
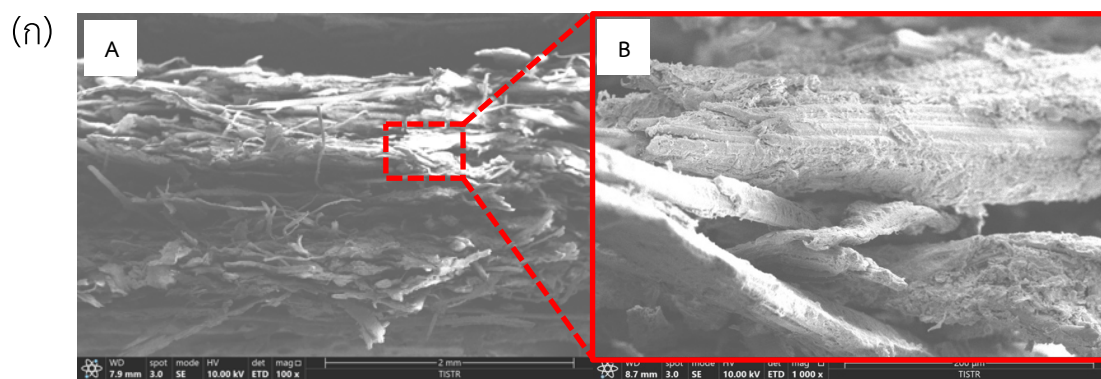




ภาพประกอบที่ 4.14 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของฟางข้าวต่อกาบกล้วยน้ำว้าที่อัตราส่วนแตกต่างกัน
(ก)100:0 (ข) 0:100 (ค) 50:50 โดยทำการขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที
A : กำลังขยาย 100X B : กำลังขยาย 1000X

4.3.2 การเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ทำการขึ้นรูปที่แตกต่างกัน คือ 140, 160, 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

จากการตรวจวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดที่อัตราส่วน 50:50 โดยมีการวิเคราะห์ที่กำลังขยาย 100 และ 1000 เท่า เมื่อดูจากภาคตัดขวาง จะเห็นได้ว่าแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดที่อุณหภูมิการอัด 140 องศาเซลเซียส ยังคงมีการยึดติดที่ไม่ดีซึ่งเห็นได้จากช่องว่างระหว่างอนุภาค ดังที่แสดงในภาพประกอบที่ 4.15 (ก) เนื่องจากที่อุณหภูมินี้โครงสร้างทางเคมีของวัสดุยังไม่เกิดการหลอมตัว และเมื่อเปรียบเทียบกับภาพประกอบที่ 4.15 (ข) ซึ่งมีอุณหภูมิการอัด 160 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดเมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิจะส่งผลให้มีการยึดติดที่ดียิ่งขึ้น เนื่องจากกลไกการอ่อนตัวที่อุณหภูมิ 138-160 องศาเซลเซียส [49] นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบกับภาพประกอบที่ 4.15 (ค) ซึ่งมีที่อุณหภูมิการอัด 180 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดเมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิการอัดร้อนขึ้นไปอีกจะส่งผลให้อนุภาคของฟางข้าวและกาบกล้วยน้ำว้าเกิดการหลอมจนแทบกลายเป็นเนื้อเดียวกัน เนื่องจากกลไกที่เป็นองค์ประกอบในโครงสร้างทางเคมีเกิดการหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส [54] จึงส่งผลให้มีการยึดติดที่ดียิ่งขึ้น



ภาพประกอบที่ 4.15 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของฟางข้าวต่อกากกล้วยน้ำว้า โดยทำการขึ้นรูปที่อุณหภูมิ

(ก) 140 องศาเซลเซียส (ข) 160 องศาเซลเซียส (ค) 180 องศาเซลเซียส

A : กำลังขยาย 100X B : กำลังขยาย 1000X

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำฟางข้าวผสมกับกาบกล้วยน้ำว้ามาผลิตเป็นแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดแบบไร้สารยึดเกาะ โดยทำการศึกษาสภาวะการเตรียมที่เหมาะสม คือ อัตราส่วนของฟางข้าวต่อกาบกล้วยน้ำว้า ได้แก่ 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 และ 0:100 ที่อุณหภูมิการอัดร้อน 140, 160 และ 180 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการอัด 10 และ 30 นาที รวมทั้งทดสอบสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่น ปริมาณความชื้น และการพองตัวตามความหนา ตามมาตรฐานมอก. 876-2547 และทดสอบสมบัติทางกล ได้แก่ มอดุลัสยืดหยุ่นและมอดุลัสการแตกหักตามมาตรฐาน ASTM D-790 ซึ่งสามารถให้ผลสรุปของงานวิจัยดังนี้

5.1.1 การศึกษาสมบัติทางกายภาพ

ผลจากการศึกษาพบว่า มีความหนาแน่นบางเงื่อนไขผ่านมาตรฐาน มอก. 876-2547 เนื่องจากวัสดุมีขนาดอนุภาคใกล้เคียงกัน เมื่อทำการอัดร้อนจึงทำให้มีช่องว่างระหว่างอนุภาคลดลง อีกทั้งยังมีการใช้วัสดุที่มีขนาดเล็กกว่าวัสดุที่ใช้ผลิตแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดแบบทั่วไป จึงส่งผลให้มีความหนาแน่นสูงเกินช่วงมาตรฐานที่กำหนด ซึ่งมีความหนาแน่นอยู่ในช่วงระหว่าง 932.20-1080.89 kg/m³ มีค่าปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงระหว่าง 1.69-6.94% ซึ่งอัตราส่วนของฟางข้าวต่อกาบกล้วยน้ำว้าที่ 100:0 มีค่าปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงมาตรฐานที่กำหนดทั้งหมด ในขณะที่สัดส่วนอื่นจะมีค่าปริมาณความชื้นต่ำกว่ามาตรฐานเมื่อมีการให้อุณหภูมิการอัดร้อนที่สูงและมีระยะเวลาการอัดที่นาน และมีค่าการพองตัวตามความหนาอยู่ในช่วงระหว่าง 30.94-125.83% ซึ่งมีการพองตัวตามความหนาสูงเกินมาตรฐานที่กำหนด จะเห็นได้ว่าการพองตัวตามความหนาในสัดส่วน 0:100 มีค่าต่ำ เนื่องจากเมื่อให้อุณหภูมิสูงและระยะเวลาในการอัดที่นานจะทำให้ค่าการพองตัวตามความหนาลดลง อีกทั้งยังเกิดจากการที่กาบกล้วยน้ำว้ามีปริมาณไฮโดรเซลลูโลสและลิกนินที่มากกว่าฟางข้าวจึงทำให้เกิดการยึดติดที่ดี

5.1.2 การศึกษาสมบัติทางกล

ผลจากการศึกษาพบว่า แผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดแบบไร้สารยึดเกาะที่ผลิตจากฟางข้าวผสมกับกาบกล้วยน้ำว้าที่อัตราส่วนของฟางข้าวต่อกาบกล้วยน้ำว้า ได้แก่ 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 และ 0:100 อุณหภูมิการอัดร้อนที่ 140, 160 และ 180 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการอัด 10 และ 30 นาที จากการทดลองพบว่า มีค่ามอดุลัสยืดหยุ่นอยู่ในช่วงระหว่าง 8.12-11.82 MPa และมีค่ามอดุลัสการ

แตกหักอยู่ในช่วงระหว่าง 1330-1760 MPa ตามลำดับ อย่างไรก็ตามแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดแบบไร้สารยึดเกาะที่ผลิตได้มีค่าน้อยกว่ามาตรฐานขั้นต่ำตามมอก. 876-2547

จากผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกล พบว่าแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดแบบไร้สารยึดเกาะที่ผลิตจากฟางข้าวผสมกับกาบกล้วยน้ำว่าที่มีความเป็นไปได้สำหรับการนำมาทำการอัดขึ้นรูปด้วยความร้อนเพื่อผลิตเป็นแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดแบบไร้สารยึดเกาะ โดยพบว่าสภาวะเตรียมที่เหมาะสมสำหรับการผลิต คือ อัตราส่วนของฟางข้าวต่อกาบกล้วยน้ำว่า 0:100 อุณหภูมิการอัดร้อนที่ 180 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการอัด 30 นาที รองลงมา คือ อัตราส่วนของฟางข้าวต่อกาบกล้วยน้ำว่า 25:75 อุณหภูมิการอัดร้อนที่ 180 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการอัด 30 นาที เนื่องจากมีความสอดคล้องกับผลการทดสอบสมบัติทางกลและความหนาแน่นที่ดี นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราส่วนผสมอุณหภูมิ และระยะเวลาการอัดมีผลต่อสมบัติทางกายภาพ คือ ปริมาณความชื้นและการพองตัวตามความหนา

5.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการผลิตแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดแบบไร้สารยึดเกาะที่ผลิตจากฟางข้าวผสมกับกาบกล้วยน้ำว่า ซึ่งมีการใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาพัฒนาให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์และไม่มีการใช้สารยึดเกาะที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม โดยมีวิธีการผลิตที่ง่ายและไม่ซับซ้อนเพียงแค่นำวัสดุมาบดให้มีขนาดเล็กจากนั้นจึงทำการอัดขึ้นรูปด้วยความร้อนแล้วนำแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดที่ผลิตได้ไปทดสอบสมบัติต่าง ๆ ซึ่งวิธีนี้สามารถผลิตเองได้ภายในชุมชน โดยจากทดสอบสมบัติทางกายภาพ คือ การพองตัวตามความหนา พบว่ามีค่าการพองตัวสูงเกินช่วงมาตรฐานที่กำหนด ดังนั้นการทำวิจัยในอนาคตควรศึกษาต่อในเรื่องของการปรับปรุงสมบัติด้านการพองตัวตามความหนา เช่น การเคลือบชั้นผิวด้วยไขมันหรือน้ำมันที่ได้จากธรรมชาติเพื่อป้องกันการพองตัวของแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ด และควรปรับปรุงเกี่ยวกับการควบคุมความชื้นของวัสดุเริ่มต้น เช่น การนำวัสดุไปอบไล่ความชื้นก่อนใช้งานหรือการเก็บวัสดุให้อยู่ในตู้ดูดความชื้น เนื่องจากวัสดุจากธรรมชาติมีความไวต่อสภาพแวดล้อมภายนอกสูงจึงทำให้มีโอกาสที่วัสดุจะมีความชื้นไม่เท่ากันและต้องเสียเวลาในการรอให้ความชื้นเท่ากัน นอกจากนี้จากงานวิจัย พบว่าแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดนี้สามารถนำไปใช้ในงานที่ไม่ต้องรับแรงมากได้ เช่น การนำไปใช้เป็น กล่อง ลัง บรรจุภัณฑ์ ชั้นวางของขนาดเล็ก เป็นต้น อีกทั้งยังสามารถปรับปรุงสมบัติให้ดีขึ้นได้ด้วยวิธีอื่น เช่น การอบไอน้ำ เป็นต้น

บรรณานุกรม

1. Tay CC, Hamdan S, Osman MSB. Properties of Sago Particleboards Resinated with UF and PF Resin. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2016;2016:5323890.
2. Maisarah Tajuddin, Zuraida Ahmad, and Hanafi Ismail. A review of Natural Fibers and Processing Operations for the Production of Binderless Boards. *BioResources* 2016;11(2):5600-5617.
3. Rokiah Hashim, Wan Noor Aidawati Wan Nadhari, Othman Sulaiman, Masatoshi Sato, Salim Hiziroglu, Fumio Kawamura, et al. Properties of binderless particleboard panels manufactured from oil palm biomass. *BioResources* 2012;7(1):1352-1365.
4. Okuda N, Sato M. Manufacture and mechanical properties of binderless boards from kenaf core. *Journal of Wood Science*. 2004;50(1):53-61.
5. Anglès MN, Ferrando F, Farriol X, Salvadó J. Suitability of steam exploded residual softwood for the production of binderless panels. Effect of the pre-treatment severity and lignin addition. *Biomass and Bioenergy*. 2001;21(3):211-24.
6. Tshabalala MA, McSweeney JD, Rowell RM. Heat treatment of wet wood fiber: A study of the effect of reaction conditions on the formation of furfurals. *Wood Material Science & Engineering*. 2012;7(4):202-8.
7. Zhang D, Zhang A, Xue L. A review of preparation of binderless fiberboards and its self-bonding mechanism. *Wood Science and Technology*. 2015;49(4):661-79.
8. Nadhari WNAW, Danish M, Nasir MSRM, Geng BJ. Mechanical properties and dimensional stability of particleboard fabricated from steam pre-treated banana trunk waste particles. *Journal of Building Engineering*. 2019;26:100848.
9. Boon JG, Hashim R, Danish M, Nadhari WN. Physical and Mechanical Properties of Binderless Particleboard Made from Steam-Pretreated Oil Palm Trunk Particles. *Journal of Composites Science*. 2019;3(2).
10. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร [อินเทอร์เน็ต]. กรุงเทพฯ: สำนักงาน; c2019 [เข้าถึงเมื่อ 16 ส.ค. 2564]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.oae.go.th/assets/portals/1/files/socio/LandUtilization2562.pdf>
11. Ku H, Wang H, Pattarachaiyakoop N, Trada M. A review on the tensile properties of natural fiber reinforced polymer composites. *Composites Part B: Engineering*. 2011;42(4):856-73.

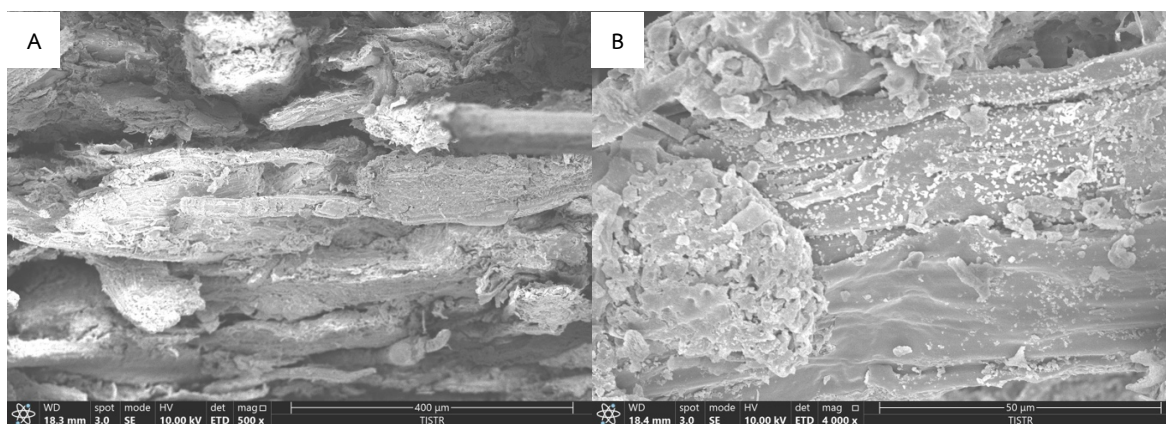
12. กิตติศักดิ์ บัวศรี, วรธรรม อุ่นจิตติชัย. การพัฒนาแผ่นฉนวนความร้อนจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร [รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์]. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติร่วมกับสำนักวิจัยและพัฒนาการอาชีวศึกษา; 2550.
13. Wong S, Shanks R, Hodzic A. Poly(L-lactic acid) Composites With Flax Fibers Modified by Plasticizer Absorption. *Polymer Engineering & Science*. 2003;43:1566-75.
14. Satyanarayana KG, Arizaga GGC, Wypych F. Biodegradable composites based on lignocellulosic fibers—An overview. *Progress in Polymer Science*. 2009;34(9):982-1021.
15. สำนักข่าว กรมประชาสัมพันธ์ [อินเทอร์เน็ต]. กรุงเทพฯ: สำนักงาน; c2019 [เข้าถึงเมื่อ 16 ส.ค. 2564]. เข้าถึงได้จาก: https://thainews.prd.go.th/th/news/print_news/TCATG190305192431313
16. สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) [อินเทอร์เน็ต]. กรุงเทพฯ: สำนักงาน; c2020 [เข้าถึงเมื่อ 19 ธ.ค. 2564]. เข้าถึงได้จาก: https://fire.gistda.or.th/fire_report/Fire_2563.pdf
17. Kurokochi Y, Sato M. Properties of binderless board made from rice straw: The morphological effect of particles. *Industrial Crops and Products*. 2015;69:55-9.
18. Kurokochi Y, Sato M. Effect of surface structure, wax and silica on the properties of binderless board made from rice straw. *Industrial Crops and Products*. 2015;77:949-53.
19. Ahmad T, Danish M. Prospects of banana waste utilization in wastewater treatment: A review. *Journal of Environmental Management*. 2018;206:330-48.
20. สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดสุโขทัย [อินเทอร์เน็ต]. สุโขทัย: สำนักงาน; c2020 [เข้าถึงเมื่อ 16 ส.ค. 2564]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.opsmoac.go.th/sukhothai-dwl-preview-421491791870>
21. Shah MP, Reddy GV, Banerjee R, Ravindra Babu P, Kothari IL. Microbial degradation of banana waste under solid state bioprocessing using two lignocellulolytic fungi (*Phylosticta* spp. MPS-001 and *Aspergillus* spp. MPS-002). *Process Biochemistry*. 2005;40(1):445-51.
22. Barragan A, Llerena-Miranda C, Quijano-AvilÉS M, Chóez-Guaranda I, Maldonado-Guerrero L, Manzano Santana PI. Effect of resin content and pressing temperature on banana pseudo-stem particle boards properties using full factorial design. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. 2019;91.
23. Papadopoulos A. Banana Chips (*Musa Acuminata*) as an alternative lignocellulosic raw material for particleboard manufacture. *Maderas Ciencia y tecnología*. 2018;20.

24. ทศพร โพธิ์เนียม. การผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดจากต้นธูปฤๅษีและการประยุกต์ใช้สำหรับงานประดิษฐ์ [ปริญญา นิพนธ์ ปริญญาครุศาสตรมหาบัณฑิต]. ปทุมธานี: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี; 2559.
25. ไตรรัตน์ เนียมสุวรรณ. เทคโนโลยีการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดและแผ่นใยไม้อัด. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์, คณะวนศาสตร์; 2564.
26. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. แผ่นไม้ชนิดอัดราบ [อินเทอร์เน็ต]. กรุงเทพฯ: สำนักงาน; c2004 [เข้าถึงเมื่อ 20 ต.ค. 2564]. เข้าถึงได้จาก: http://www.fio.co.th/web/tisi_fio/fulltext/TIS876-2547.pdf
27. Fahmy TYA, Mobarak F. Advanced binderless board-like green nanocomposites from debarked cotton stalks and mechanism of self-bonding. Cellulose. 2013;20(3):1453-7.
28. Sun Y-C, Lin Z, Peng W-X, Yuan T-Q, Xu F, Wu Y-Q, et al. Chemical Changes of Raw Materials and Manufactured Binderless Boards during Hot Pressing: Lignin Isolation and Characterization. BioResources. 2014;9.
29. Vitrone F, Ramos D, Ferrando F, Salvadó J. Binderless fiberboards for sustainable construction. Materials, production methods and applications. Journal of Building Engineering. 2021;44:102625.
30. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ [อินเทอร์เน็ต]. กรุงเทพฯ: [ม.ป.ท.]; c2561 [เข้าถึง เมื่อ 15 ธ.ค. 2564]. เข้าถึงได้จาก: http://asp.plastics.or.th:8001/files/article_file/20181016080809u.pdf
31. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ [อินเทอร์เน็ต]. กรุงเทพฯ: [ม.ป.ท.]; c2561 [เข้าถึง เมื่อ 16 ธ.ค. 2564]. เข้าถึงได้จาก: http://asp.plastics.or.th:8001/files/article_file/20181016080740u.pdf
32. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร [อินเทอร์เน็ต]. กรุงเทพฯ: สำนักงาน; c2562 [เข้าถึงเมื่อ 16 ส.ค. 2564]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.oae.go.th/view/1/ข้อมูลการผลิตสินค้าเกษตร/TH-TH>
33. คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์. รายงานการวิจัยเรื่อง พฤติกรรมและรูปแบบการใช้พลังงานในการ เพาะปลูกข้าว [อินเทอร์เน็ต]. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยมหิดล, กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม; 2535 [เข้าถึงเมื่อ 12 ต.ค. 2564]. เข้าถึงได้จาก: <http://e-lib.dede.go.th/mm-data/bib8326-ข้าว.pdf>

34. ร่วมจิตร นกเขา, ธีรยุทธ์ วิจิตรภาพ, นารอร สว่างวงศ์. คู่มือการปลูกและการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวไร่เพื่อความมั่นคงด้านอาหารของชุมชน [อินเทอร์เน็ต]. ชุมพร: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง; 2560 [เข้าถึงเมื่อ 12 ต.ค. 2564]. เข้าถึงได้จาก: http://www.thaiexplore.net/file_upload/submitter/file_doc/bd9cb8e4850065554b0de422d0f1943a.pdf
35. ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว [อินเทอร์เน็ต]. นครปฐม: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; c2557 [เข้าถึงเมื่อ 12 ต.ค. 2564]. เข้าถึงได้จาก: <https://dna.kps.ku.ac.th/index.php/article-rice-rsc-rgdu/45-rice>
36. El-Kassas AM, Mourad AHI. Novel fibers preparation technique for manufacturing of rice straw based fiberboards and their characterization. Materials & Design. 2013;50:757-65.
37. วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม [อินเทอร์เน็ต]. กรุงเทพฯ: กองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง; c2561 [เข้าถึงเมื่อ 12 ต.ค. 2564]. เข้าถึงได้จาก: <http://infofile.pcd.go.th/air/PM2.5.pdf>
38. เบญจมาศ ศิลาจันทร์. กล้วย. ครั้งที่พิมพ์ 4. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2558.
39. อุไร จิรมงคลการ. Garden & farm Vol. 4 : นานาสารพัดกล้วย. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ บ้านและสวน อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง; 2558.
40. Ferdous T, Quaiyyum M, Jin Y, Bashar M, Arafat KM, Jahan M. Pulping and bleaching potential of banana pseudo stem, banana leaf and banana peduncle. Biomass Conversion and Biorefinery. 2021:1-12.
41. สุภาวดี ผลประเสริฐ. การปรับสภาพวัตถุดิบพวกลิกโนเซลลูโลสสำหรับการผลิตเอทานอล. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2557;5:643-49.
42. รัชพล พะวงศ์รัตน์. กระบวนการปรับสภาพเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตเอทานอลจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรประเภทลิกโนเซลลูโลส. Veridian E-Journal. 2558;1:143-57.
43. Li X, Shi Y, Kong W, Wei J, Song W, Wang S. Improving enzymatic hydrolysis of lignocellulosic biomass by bio-coordinated physicochemical pretreatment—A review. Energy Reports. 2022;8:696-709.
44. Kurokochi Y, Sato M. Steam treatment to enhance rice straw binderless board focusing hemicellulose and cellulose decomposition products. Journal of Wood Science. 2020;66(1):7.

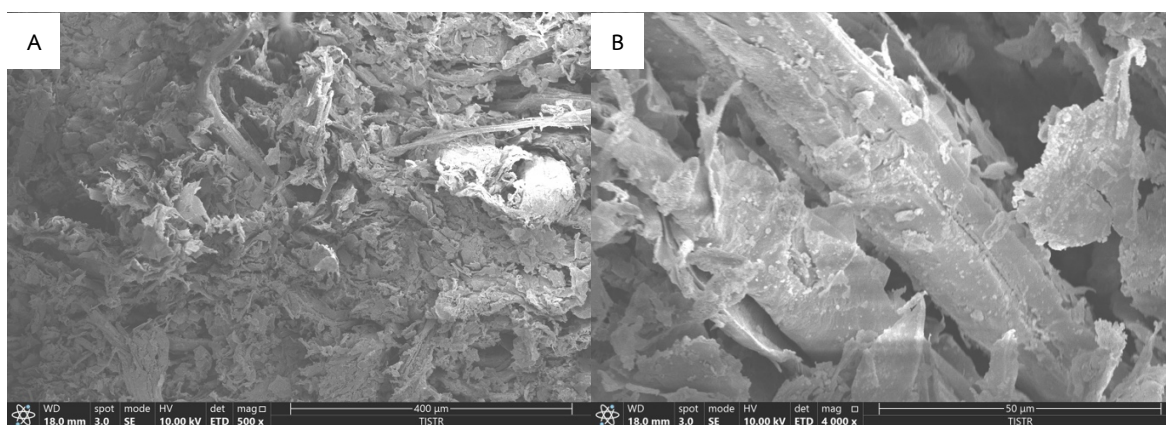
45. Handayani S, Amrullah, Fatimah H, Seftiani R. The effects of temperature on alpha-cellulose content and extraction result of tobacco stem. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019;1280:022012.
46. Muktham R, Bhargava S, Bankupalli S, Ball A. A Review on 1 st and 2 nd Generation Bioethanol Production-Recent Progress. *Journal of Sustainable Bioenergy Systems*. 2016;6:72-92.
47. Mahmood Z, Yameen M, Jahangeer M, Riaz M, Ghaffar A, Javid I. Lignin as Natural Antioxidant Capacity. 2018.
48. Muley P, Boldor D. Advances in Biomass Pretreatment and Cellulosic Bioethanol Production Using Microwave Heating 2017. 173-80 p.
49. Börcsök Z, Pásztory Z. The role of lignin in wood working processes using elevated temperatures: an abbreviated literature survey. *European Journal of Wood and Wood Products*. 2021;79(3):511-26.
50. ชาตรี หอมเขียว, สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์, วรพงศ์ บุญช่วยแทน. อิทธิพลของสายพันธุ์ไม้และขนาดความหนาต่อสมบัติทางกลและทางกายภาพของแผ่นใยไม้อัดที่ไม่มีตัวประสาน. *วิศวกรรมลาดกระบัง*. 2559;1:18-23.
51. Anglès MN, Reguant J, Montané D, Ferrando F, Farriol X, Salvadó J. Binderless composites from pretreated residual softwood. *Journal of Applied Polymer Science*. 1999;73(12):2485-91.
52. Hashim R, Said N, Lamaming J, Baskaran M, Sulaiman O, Sato M, et al. Influence of press temperature on the properties of binderless particleboard made from oil palm trunk. *Materials & Design*. 2011;32(5):2520-5.
53. Nonaka S, Umemura K, Kawai S. Characterization of bagasse binderless particleboard manufactured in high-temperature range. *Journal of Wood Science*. 2013;59(1):50-6.
54. Patel JP, Parsania PH. 3 - Characterization, testing, and reinforcing materials of biodegradable composites. In: Shimpi NG, editor. *Biodegradable and Biocompatible Polymer Composites*: Woodhead Publishing; 2018. p. 55-79.

ภาคผนวก



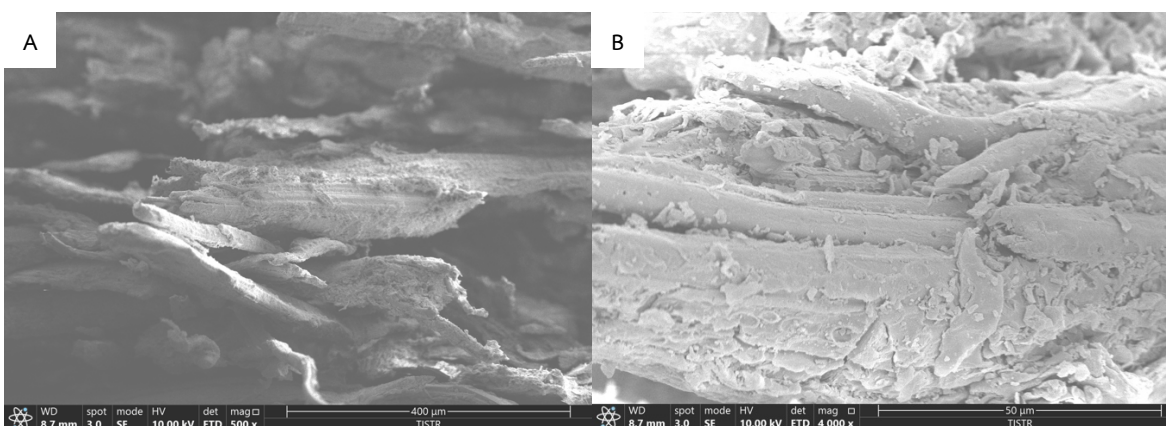
ภาพแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดไร้สารยึดเกาะจากฟางข้าวในอัตราส่วน 100:0 ที่อุณหภูมิ 160°C เป็นเวลา 30 นาที

A : กำลังขยาย 500X B : กำลังขยาย 4000X



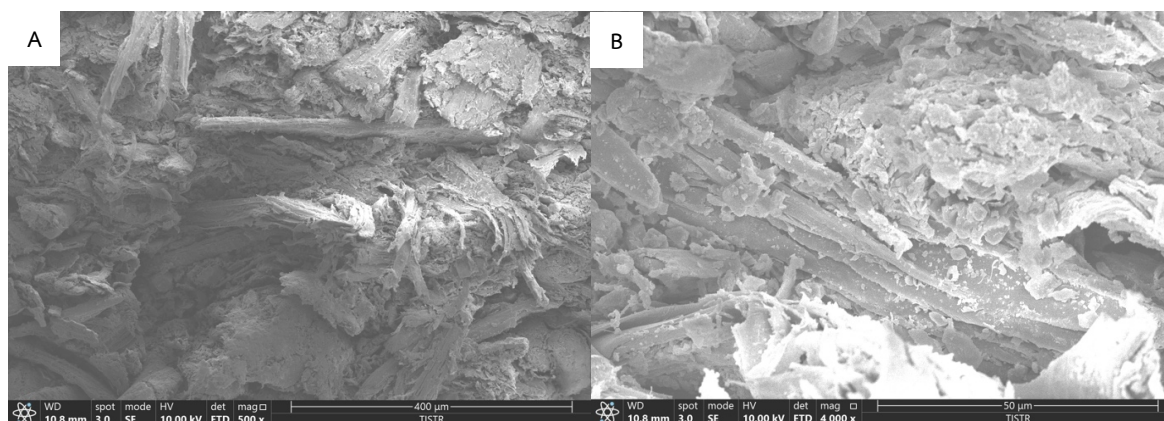
ภาพแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดไร้สารยึดเกาะจากกากกล้วยน้ำว้าในอัตราส่วน 0:100 ที่อุณหภูมิ 160°C เป็นเวลา 30 นาที

A : กำลังขยาย 500X B : กำลังขยาย 4000X



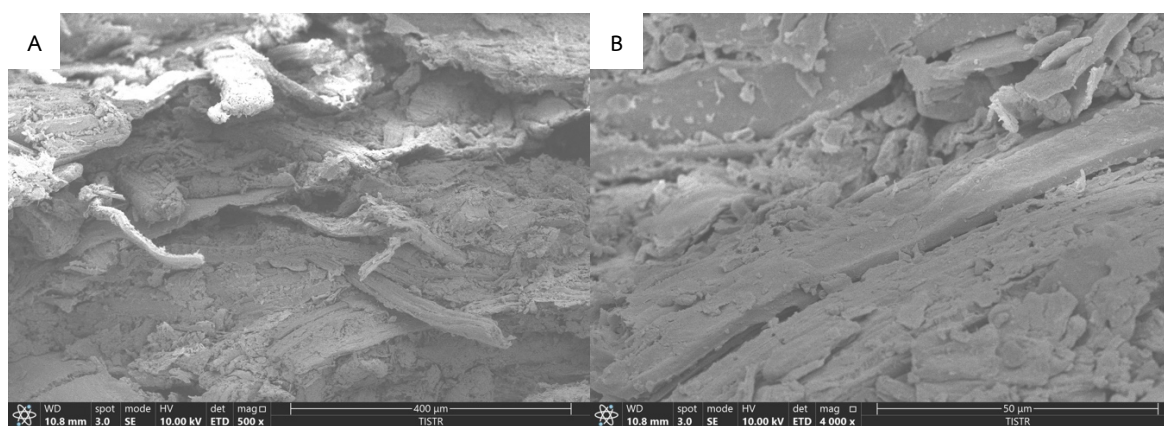
ภาพแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดไร้สารยึดเกาะจากฟางข้าวต่อกากกล้วยน้ำว้าในอัตราส่วน 50:50 ที่อุณหภูมิ 140°C เป็นเวลา 30 นาที

A : กำลังขยาย 500X B : กำลังขยาย 4000X



ภาพแผ่นพาร์ติเกิลบอร์ดไรร้อยยัดเกาะจากฟางข้าวต่อกับกล้วยน้ำว้าในอัตราส่วน 50:50 ที่อุณหภูมิ 160°C
เป็นเวลา 30 นาที

A : กำลังขยาย 500X B : กำลังขยาย 4000X



ภาพแผ่นพาร์ติเกิลบอร์ดไรร้อยยัดเกาะจากฟางข้าวต่อกับกล้วยน้ำว้าในอัตราส่วน 50:50 ที่อุณหภูมิ 180°C
เป็นเวลา 30 นาที

A : กำลังขยาย 500X B : กำลังขยาย 4000X

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	ณัฏฐ์นรี ศโรภาส
วัน เดือน ปี เกิด	13 ตุลาคม พ.ศ. 2542
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษา	มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนท่าอิฐศึกษา จังหวัดนนทบุรี พ.ศ. 2560 วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ พ.ศ. 2564
ชื่อ-สกุล	ประพาภรณ์ หัวใจสุทธิ์
วัน เดือน ปี เกิด	22 พฤษภาคม พ.ศ. 2542
สถานที่เกิด	นครนายก
วุฒิการศึกษา	มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนนวมราชานุสรณ์ จังหวัดนครนายก พ.ศ. 2560 วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ พ.ศ. 2564
ชื่อ-สกุล	ไศรดา นรทัต
วัน เดือน ปี เกิด	4 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2543
สถานที่เกิด	กาฬสินธุ์
วุฒิการศึกษา	มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนกาฬสินธุ์พิทยาสรรพ์ จังหวัดกาฬสินธุ์ พ.ศ. 2560 วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ พ.ศ. 2564