



ผลของแทนนินจากใบหูกวางต่อกาวซูโครส-กรดซิตริก

Influence of Tannin from Indian Almond Leaves on the Curing
Behavior of Sucrose-Citric acid Adhesive

นางสาวพิจิตรา สรรศรี

นางสาวสุชาดา จินดาอินทร์

โครงการทางวัสดุศาสตร์ เป็นส่วนหนึ่งของหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวัสดุศาสตร์

ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ปีการศึกษา 2564



ผลของแทนนินจากใบหูกวางต่อกาวซูโครส-กรดซิตริก

Influence of Tannin from Indian Almond Leaves on the Curing
Behavior of Sucrose-Citric acid Adhesive

นางสาวพิจิตรา สรรศรี

นางสาวสุชาดา จินดาอินทร์

โครงการทางวัสดุศาสตร์ เป็นส่วนหนึ่งของหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวัสดุศาสตร์

ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ปีการศึกษา 2564

ชื่อเรื่อง

ผลของแทนนินจากใบหูกวางต่อภาวะซูโครส-กรดซิตริก

Influence of Tannin from Indian Almond Leaves on
the Curing Behavior of Sucrose-Citric acid Adhesive

ผู้วิจัย

นางสาวพิจิตรา สรรศรี

นางสาวสุชาดา จินดาอินทร์

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัครินทร์ บุญสมบัติ

โครงการทางวัสดุศาสตร์นี้ ให้นับเป็นส่วนหนึ่งของหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวัสดุศาสตร์
ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ



..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัครินทร์ บุญสมบัติ)

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่องนี้สามารถสำเร็จลุล่วงตามเป้าหมายได้อย่างสมบูรณ์ ด้วยความช่วยเหลืออย่างยิ่งจาก ผศ.ดร.อักรินทร์ บุญสมบัติ อาจารย์ที่ปรึกษาในงานวิจัยนี้ ที่ให้คำปรึกษา ให้ความรู้ และชี้แนะแนวทางในการแก้ปัญหา พร้อมทั้งช่วยเหลือในการปรับปรุงแก้ไขและพัฒนาให้โครงการวิจัยมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น คณะผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ไตรรัตน์ เนียมสุวรรณ อาจารย์ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่กรุณาในการให้ความรู้เรื่อง เทคโนโลยีการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดและแผ่นใยอัดไม้ พร้อมทั้งให้คำแนะนำ ซึ่งผู้วิจัยสามารถนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ได้ในงานวิจัยจนทำวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี คณะผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ คณะอาจารย์ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ทุกท่าน ที่คอยให้คำแนะนำ คำติชม พร้อมทั้งข้อเสนอแนะ ซึ่งผู้วิจัยสามารถนำคำติชมและความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ได้ในงานวิจัยจนทำวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี คณะผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณนิสิตชั้นปีที่ 4 ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ ทำให้โครงการวิจัยเรื่องนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

บทคัดย่อ

แทนนินเป็นสารประกอบที่พบในพืชหลายชนิดและอุดมไปด้วยอะโรมาติกและหมู่ไฮดรอกซิล งานวิจัยก่อนหน้านี้แสดงให้เห็นว่าซูโครส กรดซิตริก และแทนนินถูกใช้เป็นวัตถุดิบในการสังเคราะห์กาวที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมสำหรับปาร์ติเคิลบอร์ด ในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาการสังเคราะห์กาวจากซูโครส กรดซิตริก และแทนนินที่สกัดจากใบหูกวาง โดยคาดว่าจะเพิ่มประสิทธิภาพในการยึดติดให้แก่กาว โดยอัตราส่วนที่จะศึกษาของซูโครส/กรดซิตริก/แทนนินจากใบหูกวาง คือ 75/25/0, 75/25/25, 75/25/50, 75/25/75, 75/25/100 โดยจะกำหนด solid content ของซูโครสและกรดซิตริกที่ 40 wt% ซึ่งจะอุณหภูมิการอัดร้อนที่ 160°C, 180°C, 200°C และ 220°C ความดัน 4 MPa 2 นาที, 2 MPa 2 นาที และ 1 MPa 2 นาที ซึ่งพบว่าสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุดของกาวซูโครส/กรดซิตริก/แทนนินที่สกัดจากใบหูกวาง คือ 75/25/25 และอุณหภูมิการอัดร้อนที่เหมาะสมที่สุดคือ 200°C เนื่องจากทำให้มีสมบัติเชิงกลสูงที่สุด โดยมีค่า MOR และค่า MOE อยู่ที่ 26.46 MPa และ 7.53 GPa ตามลำดับ ซึ่งปาร์ติเคิลบอร์ดผ่านตามาตรฐาน มอก.876-2004 ซึ่งกาวจากซูโครส/กรดซิตริก/แทนนินที่สกัดจากใบหูกวาง สามารถเพิ่มสมบัติเชิงกลของปาร์ติเคิลบอร์ดได้และยังเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้นอีกด้วย

คำสำคัญ : ซูโครส, กรดซิตริก, แทนนิน, ใบหูกวาง, ปาร์ติเคิลบอร์ด

Abstract

Tannins are compounds found in many plant species and rich in aromatic and hydroxyl groups. Previous research has shown that sucrose, citric acid, and tannin are used as raw materials for the synthesis of eco-friendly adhesives for particleboard since these compounds showed a great synergy effect when used as a wood adhesive. In this research, the synthesis of Sucrose/Citric/Tannin adhesives was studied using tannin extracted from Indian almond leaves expected to increase the adhesion efficiency. The studied ratios of sucrose/citric/tannin from Indian almond leaves are 75/25/0, 75/25/25, 75/25/50, 75/25/75, and 75/25/100 while the solid content of Sucrose and Citric in the adhesive is fixed at 40 wt%. The particleboards are formed at a hot-pressing temperature of 160 °C, 180 °C, 200°C, and 220 °C. Pressure 4 MPa for 2 minutes, 2 MPa for 2 minutes, and 1 MPa for 2 minutes. It was found that the optimized proportion of Sucrose/Citric/Tannin extracted from Indian almond leaves was 75/25/25, hot-pressing temperature is 200 °C. since the highest mechanical properties, with an MOR 26.46 MPa and MOE 7.53 GPa, which passed the TIS. 876-2004 standard. Then the eco-friendly adhesive from Citric, Sucrose, and Tannin extracted from Indian almond leaves can enhance the mechanical properties of the particleboard and increase environmental friendliness.

Keyword : Sucrose, Citric acid, Tannin, Indian Almond Leaves, particleboard

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ.....	ข
บทคัดย่อ.....	ค
Abstract	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูปภาพ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ซูโครส (Sucrose).....	3
2.2 กรดซิตริก (Citric acid).....	3
2.3 แทนนิน (Tannin).....	4
2.1.1 การสกัดแทนนิน.....	5
2.4 ต้นหูกวาง	13
2.4.1 ลำต้น	13
2.4.2 ใบหูกวาง	13
2.4.3 ดอก	15
2.4.4 ผล.....	15
2.5 ปาร์ติเคิลบอร์ด (Particleboard).....	16
2.5.1 แบ่งตามลักษณะชิ้นไม้.....	16
2.5.2 แบ่งตามกระบวนการอัดขึ้นรูป.....	16
2.5.3 แบ่งตามลักษณะการใช้ประโยชน์.....	17
2.5.4 แบ่งตามความหนาแน่น.....	17

2.7 กาว (Adhesive).....	19
2.7.1 กลไกการยึดติด.....	19
2.7.5 การสังเคราะห์กาว.....	23
2.8 การวัดสี.....	24
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	26
3.1 อุปกรณ์ เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในการสังเคราะห์กาวซูโครส กรดซิตริก แทนนิน	26
3.1.1 วัสดุและสารเคมี	26
3.1.2 เครื่องมือ.....	26
3.2 การสกัดแทนนิน.....	27
3.3 การวิเคราะห์หาปริมาณแทนนินด้วยวิธี Folin-ciocalteu	27
3.3.1 การสร้างกราฟมาตรฐานกรดแทนนิก.....	27
3.3.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารแทนนินสกัดจากใบหูกวาง.....	28
3.3 การสังเคราะห์กาว	28
3.5 การขึ้นรูปปาร์ติเคิลบอร์ด	29
3.6 การวัดขนาดปาร์ติเคิลบอร์ด	31
3.7 การวัดความแน่นของปาร์ติเคิลบอร์ด	32
3.8 การวัดปริมาณความชื้นของปาร์ติเคิลบอร์ด.....	32
3.9 การวัดการพองตัวตามความหนา	32
3.10 การวัดสี	33
3.10.1. การวัดสีโดยใช้เครื่อง Imaging Spectrocolorimeter	33
3.10.2 การวัดสีเชิงภาพถ่ายโดยใช้โปรแกรม Photoshop	33
3.11 การวัดความต้านแรงดัดและมอดูลัสยืดหยุ่น.....	34
3.12 การวิเคราะห์หาค่าประกอบทางเคมีด้วย FTIR.....	34
3.13 การวิเคราะห์ทางเคมีด้วย DSC.....	34
บทที่ 4	35
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล.....	35
4.1 การสกัดแทนนินจากใบหูกวาง.....	35
4.1.1 Crude Tannin Yield (สารสกัดแทนนินดิบ).....	35
4.1.2 การสร้างกราฟมาตรฐานกรดแทนนิก.....	35

4.1.3 Tannin Yield	37
4.1.4 ความหนาแน่นของแทนนิน (Density).....	37
4.1.5 ค่า pH ของแทนนิน.....	37
4.2 ผลการทดสอบสมบัติของปาร์ติเคิลบอร์ด ตอนที่ 1 (ในสัดส่วน 0%, 25%, 50%, 75%, 100% แทนนินและตัวควบคุมที่ไม่ใส่กาว).....	38
4.2.1 ค่า pH และความหนาแน่นของกาว	38
4.2.2 ขนาดของปาร์ติเคิลบอร์ด.....	38
4.2.3 ความหนาแน่นของปาร์ติเคิลบอร์ด	39
4.2.4 ความชื้นของปาร์ติเคิลบอร์ด	39
4.2.5 ค่า MOR และ ค่า MOE.....	40
4.2.6 การพองตัวตามความหนา (Thickness Swelling).....	41
4.2.7 การวัดสี.....	42
4.2.8 ผลการศึกษาหมู่ฟังก์ชันด้วย FTIR.....	43
4.2.9 การวิเคราะห์ทางเคมีด้วย DSC	45
สรุปผลการทดลองตอนที่ 1	47
4.3 ผลการทดสอบสมบัติของปาร์ติเคิลบอร์ด ตอนที่ 2 (ในสัดส่วน 0%,25% แทนนิน อัดที่อุณหภูมิ 180 ,200 และ 220 องศาเซลเซียส)	47
4.3.1 ขนาดของแผ่นปาร์ติเคิลบอร์ด.....	47
4.3.2 ความหนาแน่นของแผ่นปาร์ติเคิลบอร์ด	48
4.3.3 ความชื้นของแผ่นปาร์ติเคิลบอร์ด.....	48
4.3.4 ค่า MOR และ ค่า MOE.....	49
4.3.5 การพองตัวตามความหนา	50
4.3.6 การวัดสี.....	51
บทที่ 5	52
สรุปผลการทดลอง.....	52
ข้อเสนอแนะ	52
บรรณานุกรม	53
ภาคผนวก ก	59
ตารางข้อมูลการทดลองอื่น ๆ.....	59

ภาคผนวก ข	72
รูปภาพในการทดลองอื่น ๆ.....	72
ประวัติผู้วิจัย	75



สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2	แสดงตัวทำละลายและวิธีสกัดแทนนิน	11
ตารางที่ 3	แสดงค่า Yield (%bark weight) ที่ได้จากการสกัดแทนนิน	12
ตารางที่ 4	องค์ประกอบทางเคมีในใบหูกวาง	14
ตารางที่ 5	ชนิดของปาร์ติเคิลบอร์ดแบ่งตามความหนาแน่น	17
ตารางที่ 6	แสดงการผลิตปาร์ติเคิลบอร์ด	18
ตารางที่ 7	สัดส่วนสารละลายที่ใช้ในการสร้างกราฟมาตรฐาน	28
ตารางที่ 8	แสดงถึงสัดส่วนของสารละลายที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณแทนนิน	28
ตารางที่ 9	แสดงอัตราส่วนระหว่างซูโครส กรดซิตริก และแทนนิน	29
ตารางที่ 10	แสดงสารสกัดแทนนินจากใบหูกวางหลังจากการอบ	35
ตารางที่ 11	ค่าดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานกรดแทนนิก	36
ตารางที่ 12	ปริมาณแทนนินที่สกัดได้จากใบหูกวาง	37
ตารางที่ 13	แสดงความหนาแน่นของสารสกัดแทนนิน	37
ตารางที่ 14	แสดงค่า pH ของสารสกัดแทนนิน	37
ตารางที่ 15	แสดงค่า pH และความหนาแน่นของกาว	38
ตารางที่ 16	แสดงขนาดของแผ่นปาร์ติเคิลบอร์ด	38
ตารางที่ 17	แสดงความหนาแน่นของแผ่นปาร์ติเคิลบอร์ด	39
ตารางที่ 18	แสดงร้อยละความชื้นของปาร์ติเคิลบอร์ด	39
ตารางที่ 19	แสดงค่า L^* , a^* , b^* และโค้ดสีของปาร์ติเคิลบอร์ด	42
ตารางที่ 20	แสดงหมู่ฟังก์ชันทางเคมี	43
ตารางที่ 21	แสดงขนาดของปาร์ติเคิลบอร์ด	47
ตารางที่ 22	แสดงความหนาแน่นของปาร์ติเคิลบอร์ด	48
ตารางที่ 23	แสดงร้อยละความชื้นของปาร์ติเคิลบอร์ด	48
ตารางที่ 24	แสดงค่า L^* , a^* และ b^* ของปาร์ติเคิลบอร์ดที่ใช้อุณหภูมิในการอัดต่างกัน	51

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1 โครงสร้างของซูโครส.....	3
รูปที่ 2 โครงสร้างของกรดซิตริก.....	4
รูปที่ 3 โครงสร้างของแทนนิน.....	5
รูปที่ 4 การสกัดด้วยแรงดันน้ำ (Pressurized water extraction).....	6
รูปที่ 5 การสกัดด้วยอัลตราซาวนด์ (Ultrasound assisted Extraction).....	7
รูปที่ 6 การสกัดด้วยไมโครเวฟ (Microwave-assisted extraction)	7
รูปที่ 7 การสกัดโดยใช้ไอออนเหลวและใช้ไมโครเวฟ (Ionic liquid-based microwave-assisted extraction).....	8
รูปที่ 8 การสกัดด้วยอินฟราเรด	9
รูปที่ 9 เครื่องสกัด Soxhlet.....	9
รูปที่ 10 วิธีการสกัดด้วยของไหลวิกฤตยิ่งยวด (Supercritical fluid extraction).....	10
รูปที่ 11 การสกัดด้วยเอนไซม์ (Enzyme-assisted extraction).....	10
รูปที่ 12 ต้นหูกวาง.....	13
รูปที่ 13 ใบหูกวาง.....	14
รูปที่ 14 ดอกหูกวาง.....	15
รูปที่ 15 ผลของต้นหูกวาง.....	15
รูปที่ 16 การหลุดของกาว	19
รูปที่ 17 แสดงกลไกการยึดติดของซูโครสกับกรดซิตริก	20
รูปที่ 18 แสดงกลไกการยึดติดของกาวจากซูโครสกับแทนนิน.....	20
รูปที่ 19 แสดงกลไกการยึดติดของกรดซิตริกกับไม้.....	21
รูปที่ 20 CP-MAS ¹³ C NMR สเปกตรัมของ (a) คือไม้ ; (b) คือไม้ที่ Treat ด้วยกรดซิตริกที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และ (c) คือไม้ที่กาวผ่านการบ่มของแผ่นไม้อัดที่ Treat ด้วยกรดซิตริกและกดอัดที่ อุณหภูมิ 180°C	22
รูปที่ 21 การเปรียบเทียบค่า IB Strength ของ Particleboard ก่อนและหลังจากการทำให้แห้ง.....	24
รูปที่ 22 แสดงสัญลักษณ์และแกนสีของทฤษฎีสีคู่ตรงข้าม	25
รูปที่ 23 สารสกัดแทนนินก่อนและหลัง Centrifuge	27
รูปที่ 24 การสังเคราะห์กาวจากซูโครส/ซิตริก/แทนนิน.....	29

รูปที่ 25 เครื่องอัดขึ้นรูปปาร์ติเคิลบอร์ด	30
รูปที่ 26 แม่แบบโลหะ	30
รูปที่ 27 ตำแหน่งที่วัดความกว้าง ความยาว และความหนาของชิ้นงานทดสอบ	31
รูปที่ 28 แสดงวิธีการวัดความกว้าง ความยาวของปาร์ติเคิลบอร์ด	31
รูปที่ 29 เครื่อง Imaging Spectrocolorimeter	33
รูปที่ 30 การวิเคราะห์เชิงภาพโดยใช้โปรแกรม Photoshop	33
รูปที่ 31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของ	36
รูปที่ 32 แสดงค่า MOR ของปาร์ติเคิลบอร์ด	40
รูปที่ 33 แสดงค่า MOE ของปาร์ติเคิลบอร์ด	40
รูปที่ 34 แสดงร้อยละการพองตัวตามความหนาของปาร์ติเคิลบอร์ด	41
รูปที่ 35 แสดงสเปกตรัมของซโครส แทนนินสกัด และกรดแทนนิก	43
รูปที่ 36 แสดงสเปกตรัมของสารสกัดแทนนิน กรดแทนนิก และใบหูกวาง	43
รูปที่ 37 สเปกตรัมของกาวยูโครส-ซิดริกและกาวยูโครส-ซิดริก-แทนนิน ก่อน Cure	44
รูปที่ 38 แสดงสเปกตรัมของกาวยูโครส-ซิดริกและกาวยูโครส-ซิดริก-แทนนิน หลัง Cure	44
รูปที่ 39 แสดงผล DSC ของกาวยูโครส-ซิดริก	45
รูปที่ 40 แสดงผล DSC ของกาวยูโครส 25%แทนนิน	45
รูปที่ 41 แสดงผล DSC ของกาวยูโครส 50%แทนนิน	46
รูปที่ 42 แสดงผล DSC ของกาวยูโครส 75%แทนนิน	46
รูปที่ 43 แสดงค่า MOR ของปาร์ติเคิลบอร์ด (โดยสีฟ้า คือ 0% แทนนิน และสีส้ม คือ 25% แทนนิน)	49
รูปที่ 44 แสดงค่า MOE ของปาร์ติเคิลบอร์ด (โดยสีฟ้า คือ 0% แทนนิน และสีส้ม คือ 25% แทนนิน)	49
รูปที่ 45 แสดงถึงร้อยละการพองตัวตามความหนาของปาร์ติเคิลบอร์ด	50

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

การส่งออกสินค้าเฟอร์นิเจอร์และชิ้นส่วนของประเทศไทยในปี 2563 มีมูลค่า 14,506 ล้านบาท ซึ่งมูลค่าการส่งออกเฟอร์นิเจอร์ไม่เพิ่มสูงขึ้นจากปี 2561 ถึง 4,173 ล้านบาท หรือคิดเป็นร้อยละ 32.2 ⁽¹⁾ ในอุตสาหกรรมไม้และเฟอร์นิเจอร์ กาวเป็นวัตถุดิบที่สำคัญสำหรับการผลิตไม้หรือวัสดุทดแทนไม้ ซึ่งใช้ในการยึดติดเพื่อให้ผลิตภัณฑ์ไม้มีคุณสมบัติที่ดี ตรงตามความต้องการของผู้ใช้งาน ปัจจุบันกาวสังเคราะห์ที่นิยมนำมาใช้ในการยึดติดสำหรับผลิตภัณฑ์ไม้อย่างกว้างขวาง ได้แก่ กาวฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์ (Phenol Formaldehyde (PF)), กาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ (Urea Formaldehyde (UF)), กาวเมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์ (Melamine Formaldehyde (MF)) เป็นต้น เนื่องจากมีความสามารถในการยึดติดที่ดี มีความแข็งแรงเชิงกลสูง บางชนิดทนความชื้นได้ดี ⁽²⁾ แต่กาวเหล่านี้ถูกสังเคราะห์มาจากแหล่งปิโตรเลียม และมักมีการระเหยของสารอินทรีย์ที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์และมีความไม่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ⁽³⁾ อย่างไรก็ตามมีงานวิจัยที่ศึกษาหาที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เช่น กาวจาก Citric Acid/Sucrose ⁽⁴⁾, Tannin/Sucrose ⁽⁵⁾, Sucrose/Tannic acid/Citric Acid ⁽⁶⁾ ดังนั้นเพื่อการลดการใช้ทรัพยากรจากธรรมชาติและเพิ่มความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม การพัฒนาการสำหรับการยึดติดไม้ที่มีความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมจึงเป็นเรื่องสำคัญในปัจจุบัน

งานวิจัยก่อนหน้านี้แสดงให้เห็นว่ากรดซิตริกและซูโครสสามารถใช้เป็นกาวที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมได้ โดยมีสัดส่วนที่เหมาะสมกับการสังเคราะห์กาวจากกรดซิตริกและซูโครสคือ 25/75 พบว่าสามารถเพิ่มสมบัติเชิงกลของแผ่นปาร์ติเคิลบอร์ด แสดงให้เห็นว่ากาวมีการยึดติดที่ดี อย่างไรก็ตามมีงานวิจัยที่พบว่าสารประกอบแทนนินสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการยึดติดให้แก่กาวจากกรดซิตริกและซูโครสในการขึ้นรูปปาร์ติเคิลบอร์ดได้ ^{(6) (7) (8)} ในงานวิจัยนี้จึงเลือกศึกษาการสังเคราะห์กาวจากกรดซิตริกและซูโครสที่มีการเติมแทนนินที่สกัดจากใบหูกวาง เนื่องจากในใบหูกวางมีสารประกอบแทนนินสูงถึง 12.67% และสามารถพบได้ทั่วไปในประเทศไทย ⁽⁹⁾

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาการสังเคราะห์กาวจากซูโครสและกรดซิตริกที่สัดส่วนที่ดีที่สุดที่มีการรายงานในงานวิจัย คือ 75/25 และศึกษาผลของการเติมแทนนินที่สกัดจากใบหูกวางต่อการเพิ่มประสิทธิภาพในการยึดติดของกาวสำหรับการขึ้นรูปปาร์ติเคิลบอร์ดจากขี้เลื่อย

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อสังเคราะห์กาวจากซูโครส กรดซิตริก และแทนนินที่สกัดจากใบหูกวาง เพื่อให้ได้กาวที่มีความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากยิ่งขึ้น
2. เพื่อผลิตปาร์ติเคิลบอร์ดจากขี้เลื่อยโดยใช้กาวซูโครส-กรดซิตริก-แทนนินเป็นตัวประสาน

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. สัดส่วนในการสังเคราะห์กาวจากซูโครส/กรดซิตริก ที่มีการเติมแทนนินที่สกัดจากใบหูกวางเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการยึดติดของกาว คือ กรดซิตริก/ซูโครส/แทนนินสกัดจากใบหูกวาง เท่ากับ 25/75/0, 25/75/25, 25/75/50, 25/75/75 และ 25/75/100

2. ศึกษาการขึ้นรูปปาร์ติเคิลบอร์ดจากขี้เลื่อยโดยใช้กาวซูโครส/กรดซิตริก/แทนนิน โดยใช้สัดส่วนที่ศึกษา

3. ทดสอบประสิทธิภาพในการยึดติดของกาว และสมบัติเชิงกลของแผ่นปาร์ติเคิลบอร์ด โดยทดสอบค่า MOR และค่า MOE รวมถึงการตรวจสอบลักษณะทางเคมีของกาวด้วย FTIR และ DSC

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ศึกษากระบวนการสังเคราะห์กาวจากกรดซิตริก-ซูโครส ที่มีการเติมแทนนินที่สกัดจากใบหูกวาง
2. ได้ศึกษาเกี่ยวกับการขึ้นรูปปาร์ติเคิลบอร์ดจากชีล้อยโดยใช้กาวซูโครส/กรดซิตริก/แทนนิน
3. ได้กาวที่มีประสิทธิภาพในการยึดติดที่ดีและมีความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากยิ่งขึ้น

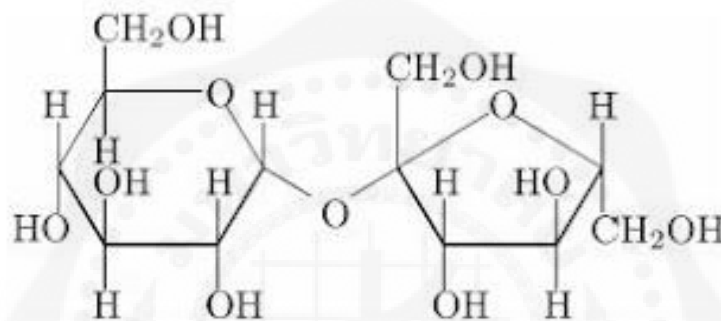


บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ซูโครส (Sucrose)

ซูโครส หรือเรียกทั่วไปว่าน้ำตาลทราย เป็นสารอินทรีย์ที่บริสุทธิ์ที่ได้จากธรรมชาติ ซูโครสเป็นคาร์โบไฮเดรตกลุ่มไดแซ็กคาไรด์ ประกอบด้วย 2 โมเลกุลของมอนอแซ็กคาไรด์คือ ฟรุกโทส และกลูโคส เชื่อมกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก (Glycosidic Bond) (ดังรูปที่ 1) ซูโครสจะพบมากในอ้อย และหัวบีท ซูโครสสามารถเกิดปฏิกิริยาการสลายตัวทางได้ที่อุณหภูมิสูง และสภาวะกรดได้เป็นฟรุกโทส และกลูโคส เรียกว่า น้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar) สูตรโมเลกุลของซูโครสคือ $C_{12}H_{22}O_{11}$ น้ำหนักโมเลกุล 342.30 กรัมต่อโมล ความหนาแน่น 1.59 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จุดเดือด 186 องศาเซลเซียส ลักษณะของซูโครสเป็นผลึกของแข็ง ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น มีรสหวาน สามารถละลายได้ในน้ำแอลกอฮอล์ และในตัวทำละลายที่มีขั้วอื่นๆ⁽¹⁰⁾



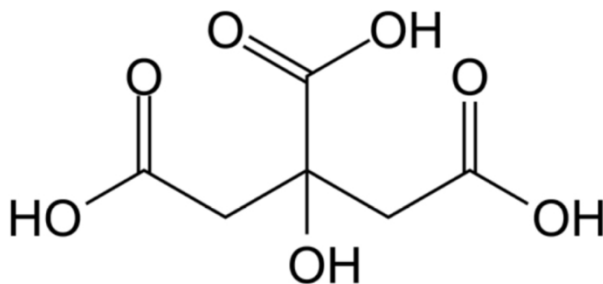
รูปที่ 1 โครงสร้างของซูโครส

ที่มา : <http://1ab.in/b1kW>

2.2 กรดซิตริก (Citric acid)

กรดซิตริกสามารถพบได้ตามธรรมชาติในผักและผลไม้ที่มีรสเปรี้ยว เช่น มะนาว สับปะรด และส้ม เป็นต้น กรดซิตริกสามารถย่อยสลายได้ง่ายและไม่เป็นพิษกับสิ่งแวดล้อม มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย ในการใช้เป็น Green Modifying Agent และสารยึดเกาะสำหรับไม้ กรดซิตริกประกอบด้วยหมู่คาร์บอกซิล 3 หมู่ จึงสามารถเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันกับไม้ได้ จึงทำให้เกิดการยึดเกาะที่ดีได้⁽¹¹⁾ กรดซิตริกสามารถสังเคราะห์ได้จากการคั้นมะนาวสดเพื่อให้ได้น้ำมะนาวซึ่งจะมีส่วนประกอบของกรดซิตริกอยู่ประมาณร้อยละ 7-9 หรือสังเคราะห์จากน้ำตาลกลูโคสด้วยวิธีไกลโคไลซิส (Glycolysis) ได้ เป็นสารออกซาโลอะซิเตท (Oxaloacetate) และสะสมเป็นกรดซิตริก โดยจุลินทรีย์ที่นิยมใช้ในการผลิตคือ เชื้อรา *Aspergillus Niger* และยีสต์ *Candida Lipolytica*

ในปัจจุบันกรดซิตริกถูกผลิตให้อยู่ในรูปของผลึก Monohydrate มีสูตรเคมีคือ $C_6H_8O_7 \cdot H_2O$ (ดังรูปที่ 2) และชื่อทางเคมี คือ 2-hydroxy 2, 3-propanetricarboxylic acid ซึ่งจะมีน้ำเป็นองค์ประกอบ 1 โมเลกุล มีสีใส ไม่มีกลิ่น มีรสเปรี้ยว มีความสามารถในการละลายได้ในน้ำเย็น (133 g/ml) มากกว่าน้ำร้อน⁽¹²⁾



รูปที่ 2 โครงสร้างของกรดซิตริก

ที่มา : <https://1th.me/R0CKd>

2.3 แทนนิน (Tannin)

แทนนินหรือกรดแทนนิก (tannic acid) คือสารประกอบที่ได้จากกรดฟีนอลิก (Phenolic acids) จัดอยู่ในกลุ่มของสารประกอบโพลีฟีนอล (Polyphenols) แทนนินเป็นสารที่มีโมเลกุลใหญ่และมีโครงสร้างที่ซับซ้อน⁽¹³⁾ ประกอบด้วย gallic acid 9 โมเลกุล และน้ำตาลกลูโคส 1 โมเลกุล (ดังรูปที่ 3) แทนนินเป็นกรดอ่อน มีรสฝาดและระสขม สามารถพบได้ในพืชหลายชนิด เช่น ใบหูกวาง ใบชา ใบฝรั่ง พบในเปลือกของผลไม้ดิบ เช่น เปลือกมังคุด เปลือกกล้วย เปลือกมะพร้าวอ่อน และเมล็ดของผลไม้ เช่น องุ่น นอกจากนี้แทนนินยังมีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อโรค และยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้อีกด้วย

แทนนินสามารถแบ่งประเภทได้ตามการทนทานต่อการสลายตัวของปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทดังนี้

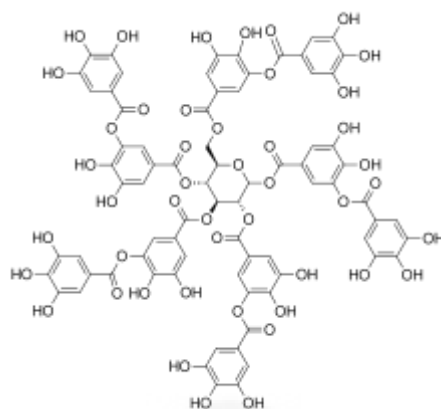
1. ไฮโดรไลซ์แทนนิน (hydrolysable tannins) เป็นชนิดที่สามารถสลายตัวได้ ประกอบด้วยโครงสร้างของสาร 2 กลุ่ม คือ ส่วนที่เป็นน้ำตาล ได้แก่ น้ำตาลกลูโคสหรือสารประกอบสารประกอบ Polyols ส่วนที่เป็นกรดฟีนอลิก (Phenolic Acid) ได้แก่ กรดแกลลิก กรดเฮกซะไฮดรอกซีไดฟีนิก จะพบในใบยูคาลิปตัส เปลือกผลทับทิม เป็นต้น สามารถแบ่งออกเป็นชนิดย่อยได้ 2 ชนิดได้แก่

1.1 แกลโลแทนนิน (Gallotannins) เป็นสารที่ประกอบด้วยกรดแกลลิกเชื่อมต่อกับน้ำตาลด้วยพันธะเอสเทอร์ เมื่อสลายตัวจะได้กรดแกลลิก และน้ำตาลกลูโคส พบในพืช ได้แก่ โกศน้ำเต้า กานพลู ทุเรียน แดง และเหลือก

1.2 แอลลาจิกแทนนิน (Ellagitannins) เป็นชนิดที่ประกอบด้วยโครงสร้างของกรดเฮกซะไฮดรอกซีไดฟีนิก (Hexahydroxydiphenic acid) เช่น กรดชิบิวริก และกรดไฮโดรเฮกซะไฮดรอกซีไดฟีนิกที่รวมอยู่กับน้ำตาลแอลลาจิกแทนนิน เมื่อสลายตัวจะได้กรดเฮกซะไฮดรอกซีไดฟีนิกและเกิดปฏิกิริยาที่ได้กรดแอลลาจิกตามมา พบได้ในพืช เช่น ผลทับทิม ผลสมอไทย ต้นโอ๊ค ต้นยูคาลิปตัส เป็นต้น⁽¹⁴⁾

2. คอนเดนส์แทนนิน (condensed tannins) หรือเรียกว่า โปรแอนโทไซยานิน (proanthocyanin) หรือ flavan-3-ols เป็นสารประกอบโพลีฟีนอล (polyphenol) ที่มีความซับซ้อน สลายตัวด้วยน้ำยากกว่าชนิดไฮโดรไลเซเบิลแทนนิน (Hydrolyzable Tannins) เนื่องจากมีโครงสร้างที่ซับซ้อนและมีสภาพคงตัวสูงกว่า พบได้ในกลุ่มพืช อบเชย ชินโคนา หลิว โอ๊ค โกโก้ และใบชา⁽⁹⁾

แทนนินสามารถตกตะกอนได้กับสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต กรดโครมิก จับตัวกับโปรตีนของหนังสัตว์ได้ดี สามารถละลายได้ดีในน้ำ แอลกอฮอล์ อะซิโตน แต่ไม่ละลายในอีเทอร์ คลอโรฟอร์ม



รูปที่ 3 โครงสร้างของแทนนิน

ที่มา : <https://en.wikipedia.org/wiki/Tannin>

แทนนินเป็นสารที่มีสำคัญในอุตสาหกรรมไม้ ไม้อัด ไม้แปรรูป นิยมนำมาใช้ในการผลิตกาวสำหรับเป็นสารยึดติด นอกจากนี้ยังมีการนำแทนนินไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมฟอกหนัง อุตสาหกรรมอาหาร ยา เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารเสริม เป็นต้น

2.1.1 การสกัดแทนนิน

การสกัดแทนนินจากพืช สามารถสกัดได้ 11 วิธีดังนี้

1. การหมัก (Method of maceration)

การสกัดการหมักเป็นวิธีที่ง่ายที่สุด แต่ใช้ระยะเวลานาน ทำได้โดยแช่พืชและตัวทำละลายในภาชนะปิดตามระยะเวลาที่เหมาะสมกับตัวทำละลาย แทนนินที่ได้จะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ชนิดของตัวทำละลาย ชนิดพืช อุณหภูมิ ความดันในภาชนะและระยะเวลาในการสกัด

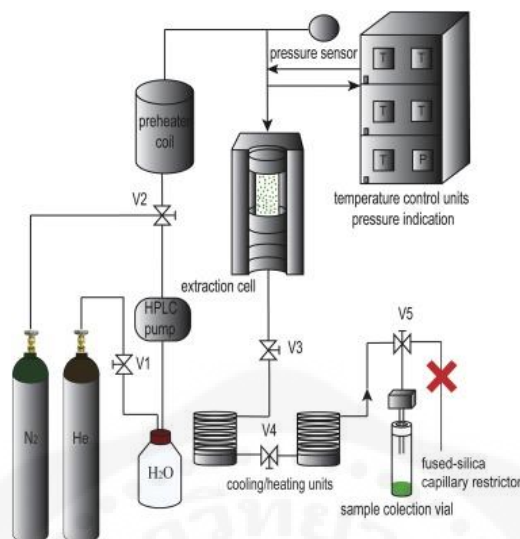
2. การต้ม (Method of decoction)

การต้มจะมีประสิทธิภาพมากกว่าการหมัก แต่ใช้พลังงานมากกว่าการหมัก ซึ่งไม่เหมาะกับแทนนินที่ไวต่อความร้อน วิธีการนี้จะใช้อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสในการต้ม ความเข้มข้นของแทนนินจะขึ้นอยู่กับตัวทำละลาย ซึ่งตัวทำละลายที่ดีที่สุดคือน้ำ

3. การสกัดด้วยแรงดันน้ำ (Pressurized water extraction)

วิธีนี้คล้ายกับการแช่น้ำ การกลั่นน้ำ การต้ม และการหมัก แต่ใช้แรงดันสูงจาก 100 ถึง 150 บาร์ อุณหภูมิการสกัดอยู่ในช่วงตั้งแต่ 60 °C ถึง 100 °C เป็นเวลา 30 นาที (ดังรูปที่ 4) การสกัดแรงดันน้ำแบ่งออกเป็น 2 วิธีคือ Static pressurized water extraction และ Dynamic pressurized water extraction

ระยะเวลาในการสกัดแทนนินของ Dynamic pressurized water extraction สั้นกว่า Static pressurized water extraction การย่อยสลายแทนนินจะลดลงเมื่อสกัดด้วยแรงดันน้ำแบบไดนามิก ดังนั้นประสิทธิภาพในการสกัดและการย่อยสลายแทนนินจึงขึ้นอยู่กับเวลาในการสกัด

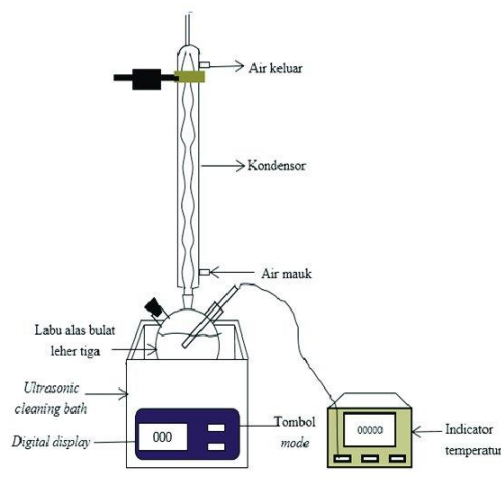


รูปที่ 4 การสกัดด้วยแรงดันน้ำ (Pressurized water extraction)

ที่มา : Lenka Burdějová และคณะ (2021) ⁽¹⁵⁾

4. การสกัดด้วยอัลตราซาวนด์ (Ultrasound method)

เป็นวิธีที่ใช้ ultrasonic-assisted (ดังรูปที่ 5) โดยทั่วไปจะใช้วิธีนี้สกัดแทนนินจากพืช, สาหร่ายขนาดเล็ก(microalgae), สาหร่ายทะเล(seaweeds) ปัจจัยที่ส่งผลต่อการสกัดแทนนินคือ พลังงานอัลตราโซนิก อุณหภูมิ เวลา และประสิทธิภาพของคลื่นเสียง และเกิดการสั่นสะเทือนเชิงกลของคลื่นเสียงในของแข็ง ทำให้เกิดฟองอากาศควิเคชัน (Cavitation bubbles) และเกิดแรงเฉือน (Sheer forces) ดังนั้นโครงสร้างเซลล์ของพืชถูกทำลายและอัตราการสกัดแทนนินเพิ่มขึ้นอย่างมาก โดยทั่วไปแล้วคลื่นเสียงวัดได้มากกว่า 20 kHz การสกัดโดย Ultrasonic-assisted เป็นเทคนิคการสกัดแทนนินที่ลงทุนน้อยและมีประสิทธิภาพสูง การสกัดด้วยคลื่นอัลตราโซนิกช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายโอนมวลและอัตราการสกัดแทนนินได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อเทียบกับวิธีการแบบดั้งเดิม ความถี่อัลตราโซนิกมักใช้เป็น 40 kHz ใช้เวลาประมาณ 30 นาทีและใช้อุณหภูมิ 25 °C - 55 °C

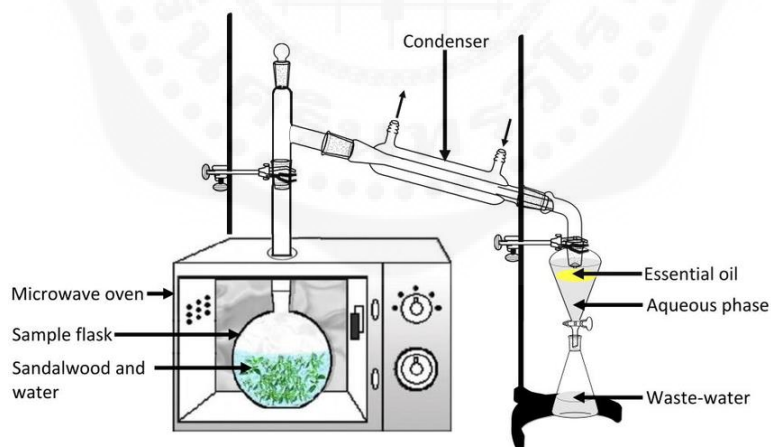


รูปที่ 5 การสกัดด้วยอัลตราซาวด์ (Ultrasound assisted Extraction)

ที่มา : Lailatul Qadariyah และคณะ (2018) ⁽¹⁶⁾

5. การสกัดด้วยไมโครเวฟ (Microwave-assisted extraction)

เป็นวิธีที่สกัดด้วยไมโครเวฟ (การแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความถี่ตั้งแต่ 300 MHz ถึง 300 GHz) (ดังรูปที่ 6) การสกัดแทนนินส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับ การแทรกซึมของไมโครเวฟในพืชและพลังงานของไมโครเวฟ ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกภายในปริมาณน้ำ อุณหภูมิของพืชและความถี่ของสนามไฟฟ้าจะกำหนดความลึกของไมโครเวฟ น้ำในพืชดูดซับพลังงานไมโครเวฟ (ถ้าร้อนเกินไปจะไปทำลายโครงสร้างของเซลล์พืช) ตัวทำละลายคือน้ำ, เอทานอล, เมทานอล (แทนนินละลายได้ดีในเอทานอลและเมทานอล)

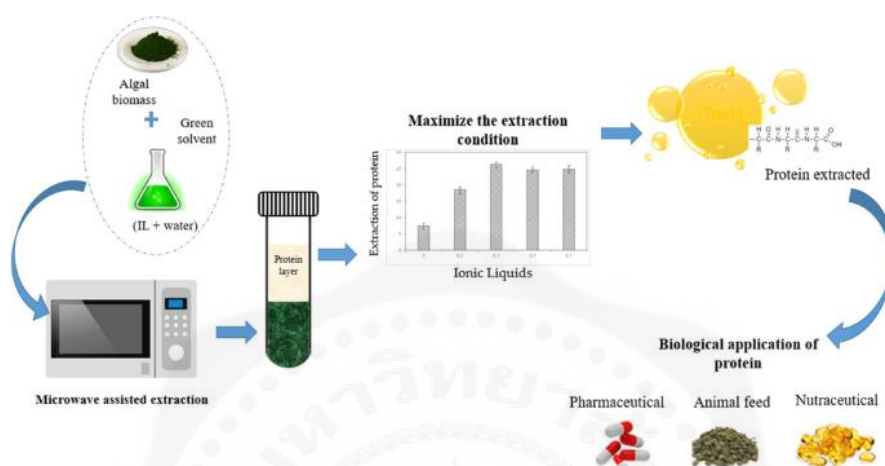


รูปที่ 6 การสกัดด้วยไมโครเวฟ (Microwave-assisted extraction)

ที่มา : Heri Septya Kusuma และคณะ (2016) ⁽¹⁷⁾

6. การสกัดโดยใช้ไอออนเหลวและใช้ไมโครเวฟ (Ionic liquid-based microwave-assisted extraction)

วิธีนี้เป็นการสกัดแทนนินโดยใช้ไอออนเหลวและใช้ไมโครเวฟ (ดังรูปที่ 7) ซึ่งเป็นวิธีสกัดแทนนินจากพืชที่มีประสิทธิภาพสูง อัตราส่วนของสารละลายต่อวัสดุที่เป็นของเหลวไอออนิก 20:1 โดยจะแช่วัสดุในไอออนเหลวเป็นเวลา 3 ชั่วโมงก่อนจะสกัดด้วยไมโครเวฟ การสกัดแทนนินด้วยไมโครเวฟใช้เวลาประมาณ 10 นาที ใช้พลังงาน 230 W ใช้ 1.25 M sodium chloride และ 80% ethanol เป็นตัวทำละลาย

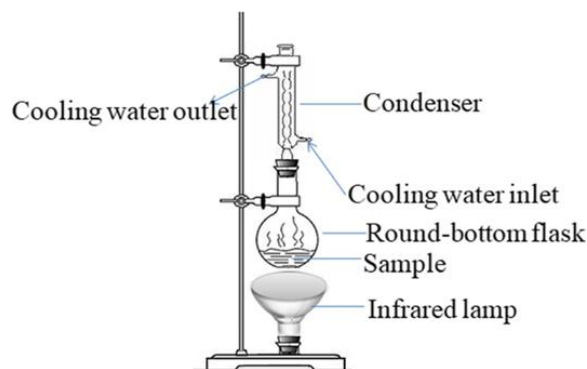


รูปที่ 7 การสกัดโดยใช้ไอออนเหลวและใช้ไมโครเวฟ
(Ionic liquid-based microwave-assisted extraction)

ที่มา : Shiva Rezaei Motlagh และคณะ (2021) ⁽¹⁸⁾

7. การสกัดด้วยอินฟราเรด (Infrared-assisted extraction)

การสกัดด้วยอินฟราเรดจะใช้หลอดอินฟราเรดเป็นตัวจ่ายความร้อน (ดังรูปที่ 8) เมื่อเทียบกับวิธีการอื่นๆ วิธีการนี้มีความร้อนและอินฟราเรดแทรกซึมเข้าไปในวัสดุมากขึ้น ในวิธีแบบดั้งเดิมจะให้ความร้อนกับตัวทำละลาย ในวิธีนี้จะให้ความร้อนกับวัสดุโดยตรง(ไม่ต้องให้ความร้อนกับตัวทำละลาย) อัตราการสกัดของวิธีการสกัดด้วยอินฟราเรดจะมีผลผลิตที่สูงกว่าวิธีที่ใช้ไมโครเวฟและวิธีที่ใช้คลื่นอัลตราโซนิก วิธีการสกัดด้วยอินฟราเรดจะใช้ต้นทุนต่ำแต่ประสิทธิภาพการสกัดแทนนินจากพืชสูง ใช้เวลาประมาณ 30 นาที

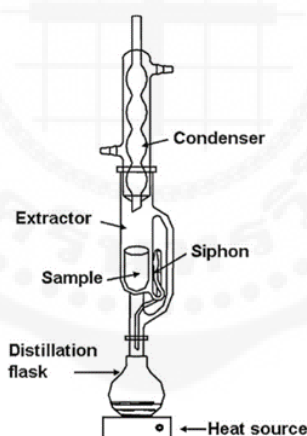


รูปที่ 8 การสกัดด้วยอินฟราเรด

ที่มา : Lina Su และคณะ (2019) ⁽¹⁹⁾

8. วิธีการ Soxhlet (Soxhlet extraction)

วิธีการสกัดแบบ Soxhlet เป็นวิธีที่ดีเมื่อเปรียบเทียบกับการทำ cold maceration ประสิทธิภาพของการสกัดแบบ Soxhlet ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิการระเหยและดัชนีความมีขี้ของตัวทำละลายเป็นหลัก อย่างไรก็ตามวิธีการสกัดแบบ Soxhlet ต้องใช้ระยะเวลาประมาณ 3-6 ชั่วโมง และใช้ตัวทำละลายในปริมาณสูง ซึ่งเป็นการสกัดแบบต่อเนื่องโดยใช้ตัวทำละลายที่มีจุดเดือดต่ำ การสกัดทำได้โดยให้ความร้อนจนตัวทำละลายระเหยขึ้นไปแล้วกลั่นตัวลงมาใน Thimble ซึ่งบรรจุตัวอย่างไว้ เมื่อสารที่สกัดได้สูงถึงระดับกักน้ำ สารสกัดจะไหลกลับลงมาใน Flask โดยสามารถสังเกตจากสีของตัวทำละลาย (ดังรูปที่ 9)



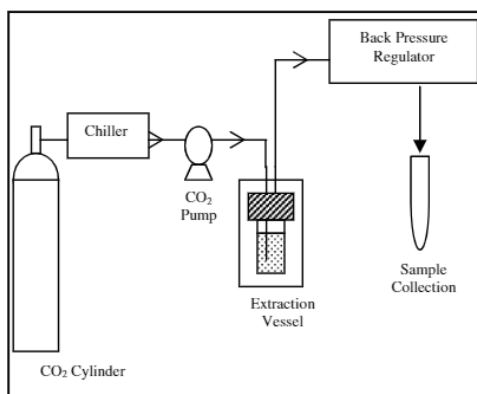
รูปที่ 9 เครื่องสกัด Soxhlet

ที่มา : De Castro ML และคณะ (2010) ⁽²⁰⁾

9. วิธีการสกัดด้วยของไหลวิกฤติยิ่งยวด (Supercritical fluid extraction)

การสกัดด้วยของไหลวิกฤติยิ่งยวดเป็นวิธีการที่ทันสมัยและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมซึ่งจะคงลักษณะทางเคมีและชีวภาพของแทนนินไว้ (ดังรูปที่ 10) ตัวทำละลายมีบทบาทสำคัญต่อประสิทธิภาพการสกัดแทนนิน ในวิธีนี้ตัวทำละลายที่ใช้เป็นตัวทำละลายสกัดได้แก่ Carbon dioxide, Hexane, Pentane, Butane,

nitrous oxide, Sulfur hexafluoride และ Fluorinated hydrocarbons supercritical carbon dioxide เป็นตัวเลือกที่ดีเนื่องจากความดันวิกฤตต่ำ (100 และ 450 bar)

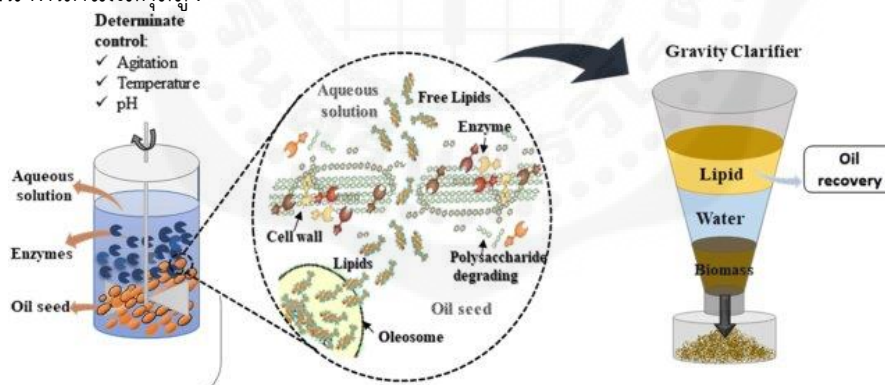


รูปที่ 10 วิธีการสกัดด้วยของไหลวิกฤตยิ่งยวด (Supercritical fluid extraction)

ที่มา : Puah Chiew Wei และคณะ (2005) ⁽²¹⁾

10. การสกัดด้วยเอนไซม์ (Enzyme-assisted extraction)

เป็นหนึ่งในวิธีการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมโดยใช้ Enzymes หรือ Complex Enzymes เพื่อเพิ่มอัตราการสกัดทางชีวภาพโดยการทำลายเซลล์วัสดุ (ดังรูปที่ 11) วิธีนี้จะรวมกับวิธีอื่นๆ เนื่องจากการตกตะกอนของโปรตีนที่อุณหภูมิสูง (ไม่ใช่การสกัด) การสกัดด้วยเอนไซม์ใช้เวลาไม่นานเนื่องจากถ้าใช้เวลานานจะทำให้เกิดการก่อตัวของสารเชิงซ้อนของโปรตีน-แทนนิน สารเชิงซ้อนแทนนิน-โปรตีนจะเกิดขึ้นเมื่อโปรตีนและแทนนินมีน้ำหนักโมเลกุลสูง



รูปที่ 11 การสกัดด้วยเอนไซม์ (Enzyme-assisted extraction)

ที่มา : Kim Valladares-Diestra และคณะ (2020) ⁽²²⁾

11. การสกัดด้วยรังสีแกมมา (Gamma-assisted extraction)

การสกัดแทนนินด้วยแกมมาเป็นวิธีการใหม่โดยใช้รังสีแกมมา Co-60 ในการสกัด เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของแทนนินจาก มะม่วงหิมพานต์ (*Anacardium occidentale*) อย่างไรก็ตามวิธีการนี้จะต้องมีการวิจัยเพิ่มเติมเพื่อนำไปใช้

การสกัดแทนนินจากพืชสามารถสกัดได้หลายวิธี⁽²³⁾ (ดังตารางที่ 1) ซึ่งในแต่ละวิธีจะใช้สารละลายและวิธีในการสกัดแตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม ค่า Yield (%bark weight) ที่ได้จากการสกัดแทนนินมีค่าใกล้เคียงกัน (ดังตารางที่ 2) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกสกัดแทนนินด้วยการ Autoclave เป็นเวลา 40 นาที

ตารางที่ 1 แสดงตัวทำละลายและวิธีสกัดแทนนิน

สารละลาย	ส่วนผสมในการสกัด	อ้างอิง
น้ำ	วัสดุ 5 กรัมในน้ำ 100 มล. ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง	(24)
	วัสดุ 5 กรัมในน้ำ 100 มล. ที่ 100 °C เป็นเวลา 40 นาที	
	วัสดุ 5 กรัมในน้ำ 100 มล. เป็นเวลา 40 นาที ในหม้อนึ่งความดัน (autoclave)	
	อัตราส่วนของน้ำและผลไม้ป่าชายเลน 5: 1 (w/w), 80 °C เป็นเวลา 60 นาที	
	วัสดุ 10 กรัม ในน้ำ 200 มล. ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 วัน	
30% Ethanol	วัสดุ 10 กรัม ในเอทานอล 100 มล. ที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง	(27)
Ethanol	วัสดุ 10 กรัม ในเอทานอล 200 มล. ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 วัน	(26)
50% (v/v) Ethanol		
Acetone	วัสดุ 20 กรัม ในอะซิโตน 200 มล. เป็นเวลา 20 ชั่วโมง	(28)
50% acetone	วัสดุ 5 กรัมในอะซิโตน 100 มล. ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง	(24)
50% acetone	วัสดุ 5 กรัมในอะซิโตน 100 มล. ที่ 100 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง โดยใช้การ reflux	
50% acetone + Na ₂ SO ₃ 2%		
50% methanol		
50% methanol		
50% methanol +Na ₂ SO ₃ 2%	วัสดุ 5 กรัมในเมทานอล 100 มล. ที่ 100 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง reflux	

ตารางที่ 1 (ต่อ) แสดงตัวทำละลายและวิธีสกัดแทนนิน

สารละลาย	ส่วนผสมในการสกัด	อ้างอิง
2% Na ₂ SO ₃	วัสดุ 5 กรัมใน 100 มล. เป็นเวลา 40 นาที ในหม้อนึ่งความดัน (autoclave)	(24)
4% Na ₂ SO ₃		
6% Na ₂ SO ₃		
0.04% NaOH solution	วัสดุ 5 กรัมใน NaOH 100 มล. ที่ 100 °C เป็นเวลา 40 นาทีใน water-bath	
NaOH 5%	อัตราส่วนของแข็งต่อของเหลว 1:10 (w/v) ที่ 10°C ในช่วงเวลา 120 นาที	(29)

ที่มา : ดัดแปลงจาก Dang Xuan Cuong (2019)

ตารางที่ 2 แสดงค่า Yield (%bark weight) ที่ได้จากการสกัดแทนนิน

สารละลาย	วิธีการสกัด	Yield (%bark weight)
น้ำ	เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง	6.96
	เก็บไว้ที่ Water-bath ที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 40 นาที	8.37
	เครื่อง Autoclave เป็นเวลา 40 นาที	19.15
0.04 % Na ₂ SO ₃	เก็บไว้ที่ Water-bath ที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 40 นาที	16.14
2% Na ₂ SO ₃		20.12
4% Na ₂ SO ₃	เครื่อง Autoclave เป็นเวลา 40 นาที	26.83
6% Na ₂ SO ₃		31.20
50% Methanol	เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง	16.06
50% Methanol		20.02
50% Methanol+ Na ₂ SO ₃ 2%	วิธีการ Reflux เป็นเวลา 4 ชั่วโมง	24.91
50% Acetone	เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง	17.45
50% Acetone		22.28
50% Acetone+ Na ₂ SO ₃ 2%	วิธีการ Reflux เป็นเวลา 4 ชั่วโมง	27.17

ที่มา : ดัดแปลงจาก Elizabeth Wina, Budi Tangendjaja และ Susana Rakhmani (2010)

2.4 ต้นหูกวาง

ชื่อทางวิทยาศาสตร์ : *Terminalia catappa* L.

ชื่อสามัญ : Bengal Almond, Indian Almond, Sea Almond, Singapore Almond, Tropical Almond, Olive-Bark Tree, Umbrella Tree

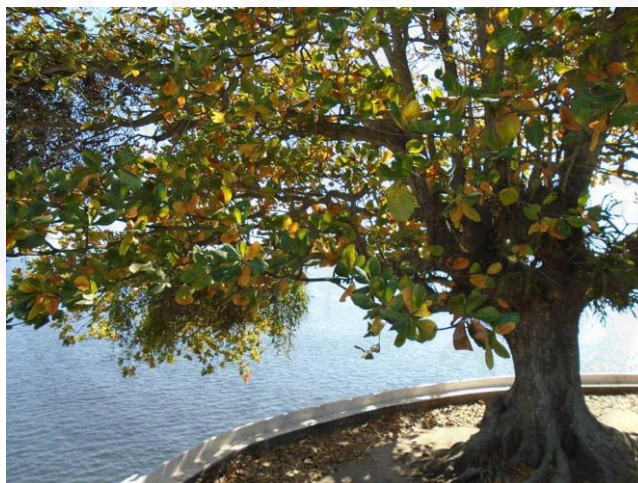
ชื่ออื่น ๆ : โคน (นราธิวาส), ตัดมือ ตัดมือ (ตรัง), ตาปิง (พิษณุโลก, สตูล), ตาแปห์ (มลายู - นราธิวาส), หลุมปิง (สุราษฎร์ธานี)

ชื่อวงศ์ : Combretaceae

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์แบ่งเป็น 4 ส่วนดังนี้

2.4.1 ลำต้น

เป็นไม้ผลัดใบยืนต้น สูงประมาณ 15-20 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 1-1.5 เมตร แตกกิ่งก้านแผ่ ออกในแนวราบเป็นชั้น ๆ คล้ายฉัตร ลำต้นเปลาตรง ต้นที่มีอายุมากและมีขนาดใหญ่จะเป็นพุ่มพองที่โคนต้น เปลือกลำต้นเป็นสีน้ำตาลปนเทา เปลือกเรียบ แตกเป็นร่องแบบตื้น ๆ ตามแนวนอนและแนวตั้ง ลอกออกเป็น สะเก็ดเล็ก ๆ เนื้อไม้เป็นสีแดง (ดังรูปที่ 12) ชอบแดดจัดและยังมีระบบรากที่แข็งแรง สามารถทนต่อน้ำท่วมขัง ได้ ต้นหูกวางเป็นพันธุ์ไม้ในป่าชายหาดที่ขึ้นกระจายตามชายฝั่งทะเล พบได้ทั่วไปในประเทศออสเตรเลีย กัมพูชา อินเดีย ญี่ปุ่น ลาว มาเลเซีย เวียดนาม และประเทศไทย



รูปที่ 12 ต้นหูกวาง

ที่มา : <http://1ab.in/bjV1>

2.4.2 ใบหูกวาง

ใบหูกวางเป็นใบเลี้ยงเดี่ยวเรียงตัวกันแบบเวียนและสลับให้ถี่ขึ้นบริเวณปลายกิ่ง ใบเป็นรูปไข่ กลีบ กว้าง 8-15 เซนติเมตร ยาว 12-25 เซนติเมตร (ดังรูปที่ 13) ในธรรมชาติใบหูกวางจะผลัดใบในช่วงเดือน มีนาคมถึงพฤษภาคม โดยใบจะร่วงพร้อมกันทั้งต้น และแตกใบอ่อนสีเขียวในช่วงเดือนพฤษภาคมซึ่งเป็นช่วง ต้นฤดูฝน ใบหูกวางที่ร่วงจะมีอยู่ 2 ประเภท คือกลุ่มที่มีสีแดงและกลุ่มที่มีสีเหลือง จากการวิเคราะห์ทางเคมี พบว่าในใบหูกวางจะประกอบด้วย เถ้า, เซลลูโลส, ลิกนิน, Pentosan, Alkaloid และสารแทนนินซึ่งมีปริมาณ สูงถึงร้อยละ 12.67⁽⁹⁾ (ดังตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีในใบหูกวาง

องค์ประกอบทางเคมี	เปอร์เซ็นต์
เถ้า	25.76
Cellulose	41.93
Lignin	7.21
Pentosan	3.79
Alkaloid	3.95
Tannin	12.76

ที่มา : สมจิตนา พุทธมัตย์ และวรวัฒน์ สุวรรณสาร ⁽³⁰⁾



รูปที่ 13 ใบหูกวาง

ที่มา : <https://1th.me/Krq7P>

2.4.3 ดอก

ต้นหูกวางจะออกดอกบริเวณซอกปลายกิ่ง ขนาดเล็ก มีสีขาวแกมเขียว มีลักษณะเป็นแท่งยาว 8-12 เซนติเมตร มีดอกเพศผู้อยู่บริเวณปลายช่อ ดอกสมบูรณ์เพศอยู่บริเวณโคนช่อ ไม่มีกลีบดอก มีเกสรเพศผู้ 10-12 เกสร มีกลีบเล็กน้อย (ดังรูปที่ 14)

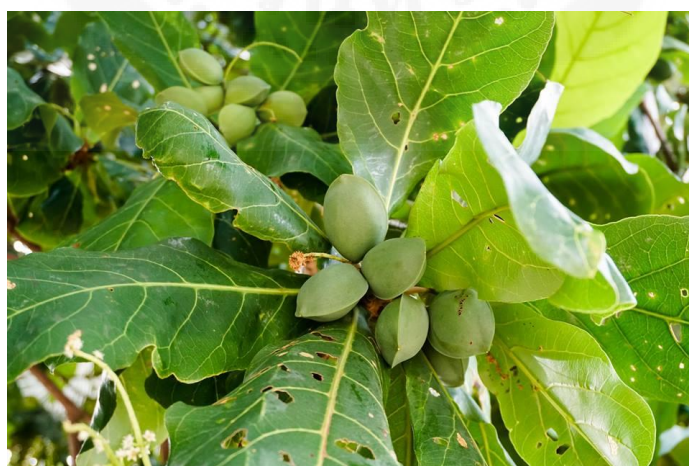


รูปที่ 14 ดอกหูกวาง

ที่มา : <http://cfbt.or.th/pb/index.php/article/51-trad>

2.4.4 ผล

มีลักษณะเป็นรูปทรงรีค่อนข้างแบนทางด้านข้าง ยาว 3-7 เซนติเมตร ผลมีสีแดง เหลือง หรือ เขียว เมื่อแห้งจะมีสีดำคล้ำ นอกจากนี้ผลของหูกวางยังมีสรรพคุณเป็นยาถ่ายอีกด้วย (ดังรูปที่ 15)



รูปที่ 15 ผลของต้นหูกวาง

ที่มา : <http://1ab.in/bJV1>

2.5 ปาร์ติเคิลบอร์ด (Particleboard)

ปาร์ติเคิลบอร์ดหรือแผ่นขึ้นไม้อัด ขึ้นรูปจากเศษชิ้นไม้ ชิปไม้ ขี้เลื่อย หรือวัสดุอื่นที่มีส่วนประกอบของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ที่ถูกทำให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ มารวมกันและประสานกันด้วยสารเคมีหรือสารอินทรีย์ ใช้ความร้อน ความดัน แรงอัด ความชื้นและตัวเร่งในการขึ้นรูป ปาร์ติเคิลบอร์ดมีหลากหลายชนิดสามารถแบ่งตามหลักเกณฑ์ต่าง ๆ ได้ดังนี้

2.5.1 แบ่งตามลักษณะชิ้นไม้

เป็นการเรียกชื่อปาร์ติเคิลบอร์ดโดยใช้ชื่อตามลักษณะชิ้นไม้ ลักษณะใดลักษณะหนึ่งที่น่ามาผลิตเป็นปาร์ติเคิลบอร์ด เช่น Chip Board, Flake Board, Strand Board และ Shaving Board เป็นต้น

2.5.1.1 ชิป (Chips) หมายถึง “ชิ้นไม้ที่มีขนาดสม่ำเสมอ กัน ได้จากการตัดด้วยใบมีดที่มีลักษณะคล้ายการสับในเครื่องตัดชิ้นไม้”

2.5.1.2 เกล็ด (Flake) หมายถึง “ชิ้นไม้บาง ๆ มีทิศทางของเส้นไม้ขนานกับผิว ได้จากการใช้ใบมีดตัดขนานกับแนวของเส้นไม้แต่ทำมุมกับแนวแกนของเส้นใย”

2.5.1.3 เกล็ดใหญ่ (Wafer) หมายถึง “ชิ้นไม้ที่มีลักษณะเช่นเดียวกับเกล็ด แต่มีความกว้างและความหนามากกว่า”

2.5.1.4 แถบ (Strand) หมายถึง “ชิ้นไม้ที่มีลักษณะเช่นเดียวกับเกล็ด แต่มีความยาวมากเมื่อเทียบกับความกว้างและมีความหนาสม่ำเสมอตลอดความยาวของแถบ”

2.5.1.5 ชักบ (Planer shaving) หมายถึง “ชิ้นไม้ที่มีรูปร่างเป็นแผ่นขนาดเล็ก มีความหนาไม่เท่ากัน คือหนาที่ปลายด้านหนึ่ง ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งจะบางและมีลักษณะเป็นแฉกขุ่น และมักจะโค้งงอ ซึ่งได้จากการไสไม้ด้วยเครื่องไสไม้ชนิดหัวตัดหมุน (rotary cutterhead)”

2.5.1.6 แท่ง (Splinter or sliver) หมายถึง “ชิ้นไม้ที่มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมเมื่омองทางหน้าตัด และมีความยาวตามแนวเส้นใย ไม่น้อยกว่า 4 เท่าของความหนา”

2.5.1.7 เม็ด (Granule) หมายถึง “ชิ้นไม้ที่มีลักษณะคล้ายขี้เลื่อย ซึ่งมีความกว้าง ความยาว และความหนาเกือบเท่ากัน” ⁽³¹⁾

2.5.2 แบ่งตามกระบวนการอัดขึ้นรูป

เป็นการนำลักษณะกรรมวิธีการอัดเป็นหลัก แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

2.5.2.1 ปาร์ติเคิลบอร์ดที่อัดในทิศทางตั้งฉากกับแผ่น หรือแผ่นขึ้นไม้อัดชนิดอัดราบ (Flat-Platen pressed Particleboard) เป็นการให้ทิศทางของแรงอัดตั้งฉากกับระนาบของแผ่น อาจทำให้เป็นแผ่นหรือทำต่อเนื่องกัน หรือปาร์ติเคิลที่อัดด้วยวิธีการบาร์เทรฟ (Bartrev process) เมื่อมองจากด้านสันจะมีการเรียงตัวของชิ้นไม้เป็นแนวราบกับระนาบของแผ่น

2.5.2.2 ปาร์ติเคิลบอร์ดที่อัดในทิศทางขนานกับพื้นราบของแผ่น หรือแผ่นขึ้นไม้อัดชนิดกระทุ้ง (Extruded Particleboard) เป็นการให้ทิศทางของแรงอัดขนานกับพื้นราบของแผ่นและทิศทางตามความยาวของแผ่นขึ้นไม้อัด อาจใช้วิธีอัดกระทุ้งผ่านแบบ (เครื่องอัดกระทุ้ง) หรือปาร์ติเคิลที่อัดด้วยวิธีโอกัลป์ (Okal Process) และ วิธีไครเบอ์ม (Kreibalm Process) เมื่อมองจากด้านสันจะมีการเรียงตัวของชิ้นไม้ตั้งฉากกับระนาบของแผ่น

2.5.3 แบ่งตามลักษณะการใช้ประโยชน์

2.5.3.1 ปาร์ติเคิลบอร์ดสำหรับการใช้งานภายนอกอาคาร (Exterior Particleboard) มีสมบัติทนต่อสภาวะแวดล้อมสูง

2.5.3.2 ปาร์ติเคิลบอร์ดสำหรับการใช้งานภายในอาคาร (Interior Particleboard) มีสมบัติทนต่อสภาวะแวดล้อมปานกลาง

2.5.3.3 ปาร์ติเคิลบอร์ดสำหรับใช้ปูรองพื้น (Particleboard Floor Underlayment) เป็นแผ่นปาร์ติเคิลที่ผ่านการขัดให้เรียบและมีความหนาสม่ำเสมอ

2.5.3.4 ปาร์ติเคิลบอร์ดสำหรับเก็บเสียง (Acoustical Particleboard) เป็นปาร์ติเคิลบอร์ดที่ผ่านการทำให้เป็นร่องในแบบต่าง ๆ เพื่อใช้สำหรับกรุเพดานและผนังห้องเพื่อลดการสะท้อนเสียงลง เช่น Acoustic Board

2.5.4 แบ่งตามความหนาแน่น

ตารางที่ 4 ชนิดของปาร์ติเคิลบอร์ดแบ่งตามความหนาแน่น

ชื่อ	ความหนาแน่น (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)		
	FAO (1957)	CS (236-66)	มอก.(876-2547)
2.5.4.1 ความหนาแน่นต่ำ (Low Density หรือ Insulation Board)	250-400	<590	-
2.5.4.2 ความหนาแน่นปานกลาง (Medium Density)	400-800	590-800	400-900
2.5.4.3 ความหนาแน่นสูง (High Density หรือ Hard Board)	810-1,200	>800	-

ที่มา : ดัดแปลงจาก ทศพร โพธิ์เนียม. (2559) ⁽³²⁾

ปาร์ติเคิลบอร์ดสามารถขึ้นรูปได้จากวัสดุและกาวหลากหลายชนิด เช่นกาวสังเคราะห์หรือกาวที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งในแต่ละวัสดุและชนิดของกาวจะใช้เปอร์เซ็นต์กาว ความดัน อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูปที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามจากตารางที่ 5 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิที่นิยมใช้ในการผลิตปาร์ติเคิลบอร์ดคือ 180-200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที

ตารางที่ 5 แสดงการผลิตปาร์ติเคิลบอร์ด

No.	วัสดุที่ใช้	ชนิดของกาวที่ใช้	% กาวที่ใช้	ความดัน (Pressure)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาทีก)	อ้างอิง
1	Recycled wood particles	Citric acid -sucrose Adhesive	12-20%	-	200	10	(4)
2	Recycled wood particles	Tannin - sucrose Adhesive	กลุ่ม 1 : 38-42% กลุ่ม 2,3 : 3-6%	น้อยกว่า 0.3 MPa	200	10	(5)
3	Recycled wood particles	Tannin - sucrose Adhesive	3-6%	MOR>18M Pa MOE>3GPa IB>0.3GPa	220	10	(33)
4	Teak wood particles	Citric acid -sucrose Adhesive	4-6%	3 MPa	180 และ 200 (ดีที่สุด)	10	(34)
5	Eucalyptus grandis	กาว 3 ชนิด anhydrous citric acid (CA), tannin-citric acid (TCA), ricinoleic acid	-	4 Mpa	180 ± 3	10	(35)
6	Recycled wood particles	กาวแทนนิน-ซูโครสที่มีการเติมกรดซิตริก	-	-	160, 180, 200 และ 220	10	(6)
7	wood-besed	- กาวแทนนิน-ซูโครส - กาวแทนนิน-ซูโครส-กรดซิตริก - กาวแทนนิน-ซูโครส-กรดไฮโดรคลอริก	กาวทั้ง 3 ชนิด ถูกเตรียมที่ ความเข้มข้น 40 wt% กาว ถูกพ่นลงไม้ที่ มีปริมาณเรซิน 20 wt%	-	180 และ 200	10	(36)
8	ซานอ้อยฟางข้าว (SSB)	กาวซิตริก-ซูโครส	CA content 20 wt %	-	200	10	(37)
9	ขี้กบ (wood shavings)	กาว urea-formaldehyde	6, 9 และ 12%	3.92 MPa	160	8	(38)
10	ขี้เลื่อย (Sawdust)	กาว Latex	ขี้เลื่อย : กาว 60:40	11 MPa	150	10	(39)

ตารางที่ 5 (ต่อ) แสดงการผลิตปาร์ติเคิลบอร์ด

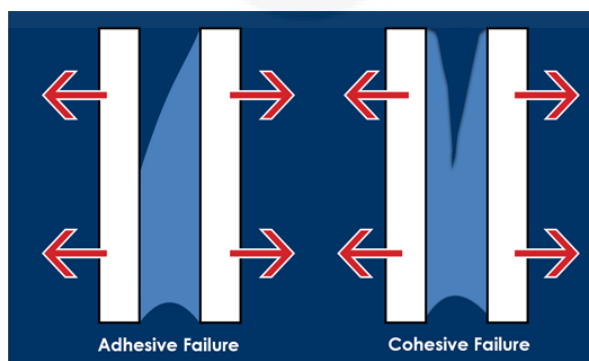
No.	Substrate	ชนิดของกาวที่ใช้	% กาวที่ใช้	ความดัน (Pressure)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	อ้างอิง
11	ซานอ้อย	กาวซีตริก-ซูโครส	ปริมาณกาว 20 wt% adhesive content	15 MPa	200	10	(40)
12	ขี้เลื่อย (sawdust)	Urea Formaldehyde Resin	-	10 (ตัน)	150	15	(41)
13	ขี้เลื่อย (sawdust)	cellulose nanocrystals (CNC)	CNC 10% กับ 5% cross-linking agents	200 kPa	180	30	(42)

2.7 กาว (Adhesive)

กาวหรือสารเชื่อมประสาน เป็นวัสดุที่มีหน้าที่ยึดติดวัสดุตั้งแต่ 2 ชิ้นขึ้นไปเข้าด้วยกัน ส่วนใหญ่กาวจะเป็นการยึดติดแบบถาวร และการยึดติดสามารถรับแรงได้ คุณภาพของกาวขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยเช่น สภาพพื้นผิวชิ้นงาน องค์ประกอบของวัสดุ การกระจายแรงบนพื้นผิวของวัสดุ

2.7.1 กลไกการยึดติด

การยึดติดของกาวหรือการเชื่อมประสาน (Adhesion) เป็นวิธีที่ทำให้วัสดุของแข็งติดกันด้วยวัสดุเชื่อมติดหรือกาว โดยความแข็งแรงของกาวอาจจะต้องใช้เวลา แรงกด หรือการแนบวัสดุทั้งสองชิ้นเข้าด้วยกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของงานและชนิดของกาว การยึดติดของกาวมีทั้งแบบถาวรซึ่งกาวจะใช้ได้ครั้งเดียวและเสียไปเมื่อถูกลอกหรือหักออก และแบบไม่ถาวรซึ่งสามารถใช้ซ้ำได้ กาวสามารถหลุดออกจากกันได้สองลักษณะ คือ กาวหลุดจากวัสดุที่เชื่อมติด (Adhesive failure) และเนื้อกาวแยกหลุดออกจากกัน (Cohesive failure) (ดังรูปที่ 16)

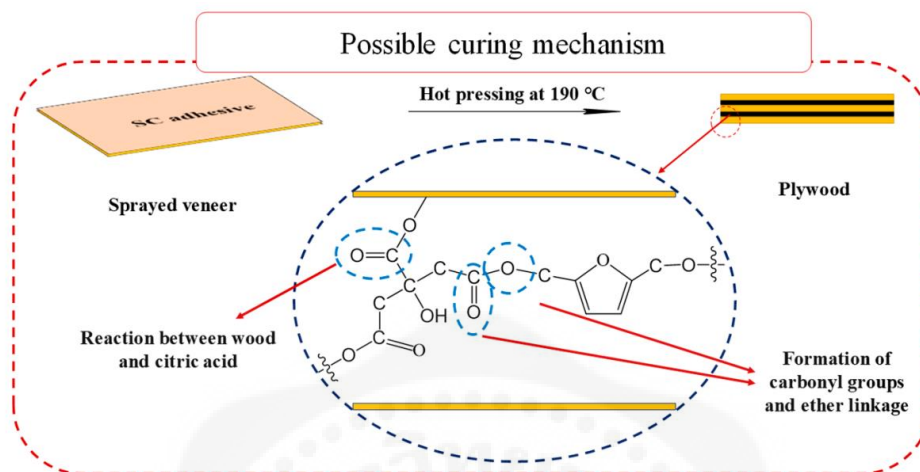


รูปที่ 16 การหลุดของกาว

ที่มา : <https://shorturl.asia/6VJFu>

2.7.1.1 กลไกการยึดติดของซูโครสกับกรดซิตริก

Shijing Sun และคณะ, (2019) พบว่า เมื่อซูโครสที่เป็นไดแซ็กคาไรด์ได้รับความร้อน จะเปลี่ยนสภาพกลายเป็นสารกลุ่มฟิวแรนที่มีชื่อว่า 5-Hydroxymethylfurfural (5-HMF) จากนั้นจะไปเกาะบริเวณตำแหน่ง -COOH ของกรดซิตริก เกิดเป็นกลุ่มคาร์บอนิลและพันธะอีเทอร์ ซึ่งมีสมบัติเป็นกาว ดังนั้น กาวจากซูโครส/กรดซิตริกจึงสามารถนำมาสังเคราะห์เป็นกาวได้

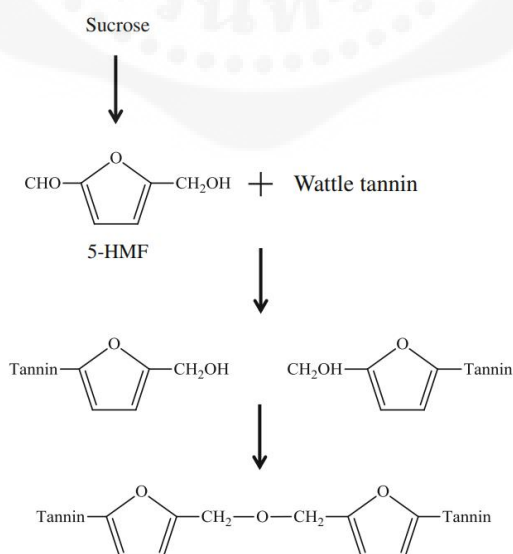


รูปที่ 17 แสดงกลไกการยึดติดของซูโครสกับกรดซิตริก

2.7.1.2 กลไกการยึดติดของซูโครสกับแทนนิน

Zhongyuan Zhao และ Kenji Umemura, (2014) พบว่า หลังจากซูโครสได้รับความร้อนแล้วเปลี่ยนสภาพกลายเป็น 5-Hydroxymethylfurfural (5-HMF) จะไปเกาะกับแทนนินบริเวณหมู่แอลดีไฮด์(ตำแหน่งคาร์บอนิล) จากนั้นจะเกิดเป็น Dimethylene Ether Bridge ซึ่งมีสมบัติเป็นกาว

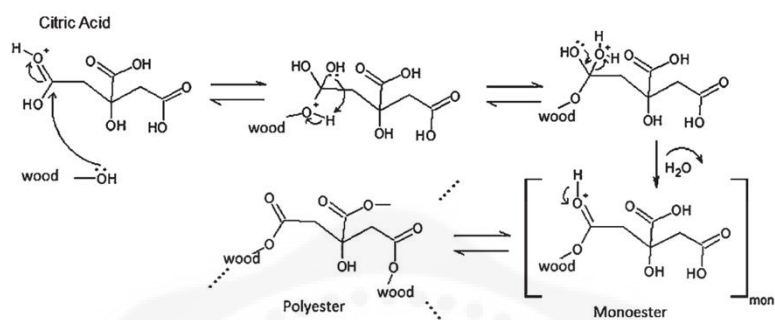
ดังนั้นการสังเคราะห์กาวจาก ซูโครส/กรดซิตริก/แทนนิน จึงเพิ่มความยุ่งยากให้กับโครงสร้างของกาว ซึ่งจะทำให้กาวมีการยึดติดที่ดีขึ้น และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย



รูปที่ 18 แสดงกลไกการยึดติดของซูโครสกับแทนนิน

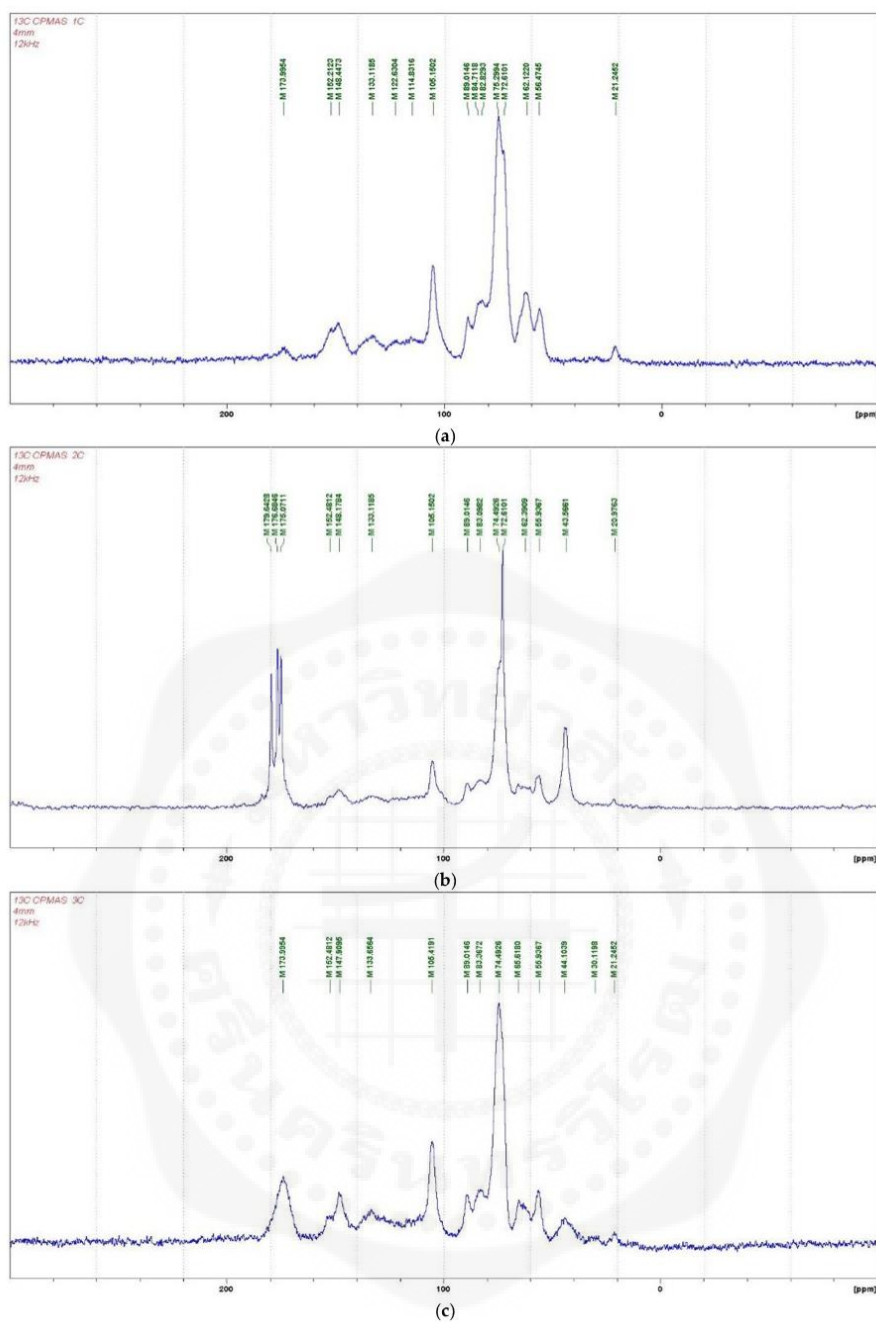
2.7.1.2 กลไกการยึดติดของกรดซิตริกกับไม้

Divino Eterno Teixeira และคณะ, (2020) พบว่าในแผ่นไม้อัดที่ใช้กาวแทนนิน/กรดซิตริก มีกลไกการยึดติดคือการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างกลุ่มคาร์บอกซิลิกของกรดซิตริกและกลุ่มไฮดรอกซิลของพอลิเมอร์ธรรมชาติจากไม้ (ลิกนิน เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส) (ดังรูปที่ 19) เนื่องจากกลุ่มไฮดรอกซิลบนสายอะลิฟาติกของลิกนินในไม้แสดงพฤติกรรมคล้ายแอลกอฮอล์จึงทำปฏิกิริยากับกรดซิตริก ส่งผลให้เกิดพันธะเอสเทอร์ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นกาว ทำให้มีการยึดติดที่ดีขึ้น



รูปที่ 19 แสดงกลไกการยึดติดของกรดซิตริกกับไม้

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยระบุว่าหมู่ไฮดรอกซิลบนสายอะลิฟาติกของลิกนินสามารถทำปฏิกิริยากับกรดซิตริกได้และคาดว่าเป็นปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเช่นเดียวกับกาวแทนนิน-กรดซิตริก ซึ่งสังเกตได้จากสเปกตรัม CP-MAS¹³ C NMR (ดังรูปที่ 20) ⁽⁴³⁾ สเปกตรัม(3a-3c) แสดงให้เห็นถึงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นของไม้และกรดซิตริกที่ 60 °C และการทำปฏิกิริยาด้วย Hot Pressing Temperature 180 °C ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงการเริ่มทำปฏิกิริยาระหว่างองค์ประกอบของไม้กับกรดซิตริก สามารถสังเกตสัญญาณได้จากแถบความถี่ 30 ppm ซึ่งหากกรดซิตริกไม่ทำปฏิกิริยาจะไม่มีเปลี่ยนแปลง หากเกิดปฏิกิริยาระหว่างไฮดรอกซิลกับกรดซิตริกจะเกิดแถบความถี่ที่ 30 ppm ซึ่งเกิดในกรณีที่ 180 °C ดังนั้นสิ่งที่สามารถสรุปได้จากสเปกตรัมนี้คือปฏิกิริยาระหว่างกลุ่มไฮดรอกซิลของลิกนินสามารถทำปฏิกิริยากับกรดซิตริกได้เช่นกันและคาดว่าจะปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน ⁽⁴³⁾



รูปที่ 20 CP-MAS¹³C NMR สเปกตรัมของ (a) คือไม้ ; (b) คือไม้ที่ Treat ด้วยกรดซิดริกที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และ (c) คือไม้ที่กาวผ่านการบ่มของแผ่นไม้อัดที่ Treat ด้วยกรดซิดริกและกดอัดที่ อุณหภูมิ 180°C

2.7.5 การสังเคราะห์กาว

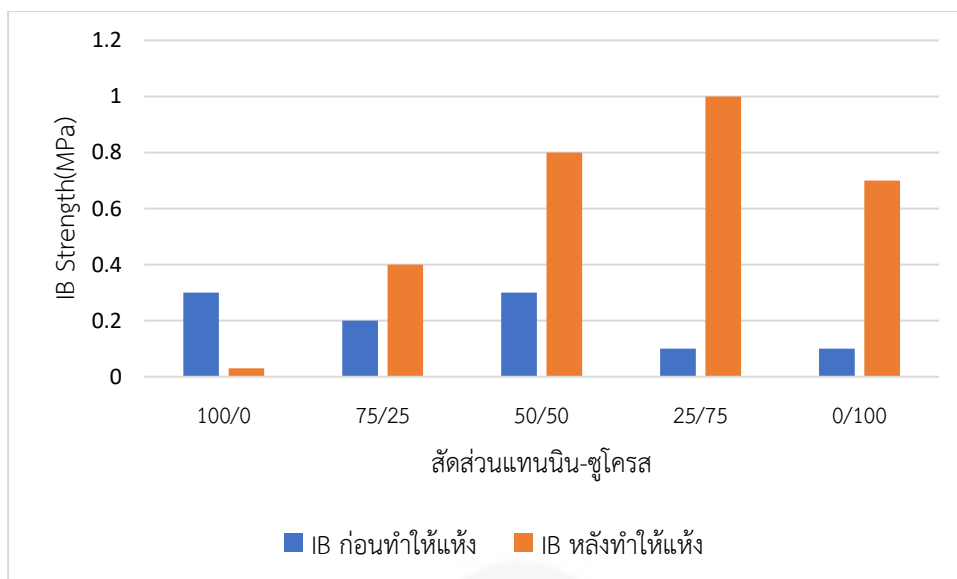
2.7.5.1 กาวจากซูโครส-กรดซิตริก

Kenji Umemura และคณะ, (2013) ได้ทำการศึกษาการกาวจากซูโครส/กรดซิตริก เพื่อใช้เป็นกาวสำหรับผลิตภัณฑ์ไม้ ในงานวิจัยใช้สัดส่วนซูโครส-กรดซิตริกที่ต่างกันเพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับกาวจากซูโครสและกรดซิตริก มีการทดสอบเพื่อหาค่า มอดูลัสการแตกหัก (MOR), มอดูลัสความยืดหยุ่น (MOE) และ IB strength ซึ่งจากการทดลองพบว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของซูโครสมีผลต่อค่า MOR, MOE และ IB strength โดยสัดส่วนของกรดซิตริก/ซูโครสที่ 100/0 มีค่า MOR, MOE และ IB strength เท่ากับ 10.7 MPa, 3.3 GPa และ 0.32 MPa ตามลำดับ และเมื่อสัดส่วนของกรดซิตริก/ซูโครสคือ 25/75 จะทำให้ค่า MOR, MOE และ IB strength มีค่าสูงขึ้นเป็น 20.1 MPa, 4.4 GPa และ 1.13 MPa ตามลำดับ จากผลการทดลองแสดงว่ากาวมีการยึดติดที่ดี และสามารถเป็นกาวธรรมชาติได้ นอกจากนี้การเติมกาวซูโครส/กรดซิตริกประมาณ 30 wt% จะทำให้ค่า MOR, MOE และ IB strength มีค่าสูงขึ้นถึง 20.6 MPa, 4.6 GPa และ 1.6 MPa ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม Ragil Widyorini และคณะ, (2016) ได้ศึกษาการกาวจากซูโครสและกรดซิตริกที่ใช้อุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปเป็น 180 °C และ 200 °C พบว่าการใช้อุณหภูมิที่สูงกว่าจะทำให้ปาร์ติเคิลบอร์ดมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น

ในขณะเดียวกัน Sukma Kusumah และคณะ, (2017) ได้ศึกษาการเพิ่มคุณสมบัติทางกลและทางกายภาพ โดยการเพิ่มซูโครสในการผลิตปาร์ติเคิลบอร์ดจากข้าวฟ่างหวาน (Sweet Sorghum Bagasse) งานวิจัยนี้จะศึกษาสัดส่วนของซูโครสและกรดซิตริกเพิ่มเติมจาก 25/75 เป็น 20/80, 15/85 และ 10/90 พบว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของซูโครสทำให้ค่า MOR และ MOE เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งผลให้ความแข็งแรงและความเปราะของปาร์ติเคิลบอร์ดเพิ่มขึ้น

2.7.5.2 กาวจากแทนนิน-ซูโครส

Zhongyuan Zhao และ Kenji Umemura, (2014)⁽⁴⁴⁾ ได้ศึกษาการสังเคราะห์กาวแทนนิน-ซูโครสในสัดส่วน 100/0, 75/25, 50/50, 25/75 และ 0/100 สำหรับการขึ้นรูปแผ่นปาร์ติเคิลบอร์ด กดร้อนที่อุณหภูมิ 200 °C เป็นเวลา 10 นาที พบว่าการลดปริมาณแทนนินสำหรับแผ่นปาร์ติเคิลบอร์ด โดยที่ไม่ทำให้แห้ง ส่งผลให้คุณสมบัติการยึดติดลดลง ค่า IB strength จึงลดลง แต่เมื่อพิจารณาปริมาณแทนนินที่ลดลงโดยที่ผ่านการทำให้แห้งพบว่าค่า IB strength มีค่าเพิ่มขึ้น ในทำนองเดียวกันค่า MOR และ MOE ของแผ่นปาร์ติเคิลบอร์ดก่อนและหลังจากการทำให้แห้ง เมื่อปริมาณแทนนินลดลงค่า MOR และ MOE เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นสัดส่วนแทนนิน-ซูโครสที่เหมาะสมที่สุดคือ 25/75 มีค่า IB strength เท่ากับ 1.0 MPa และต่อมา Zhongyuan Zhao และ Kenji Umemura, (2015)⁽⁴⁵⁾ ได้ศึกษาการเพิ่มอุณหภูมิในการกดร้อนเป็น 220 °C ใช้กาวแทนนิน/ซูโครสประมาณ 30-40% พบว่าค่า IB strength เพิ่มขึ้นเป็น 1.6 MPa (ดังรูปที่ 21) อาจเป็นผลมาจากน้ำมีการเคลื่อนที่ในระหว่างกระบวนการกดร้อน เมื่อน้ำเคลื่อนที่จากพื้นผิวไปยังแกนของแผ่นปาร์ติเคิลบอร์ดน้ำจะดึงเอาความร้อนออกมาซึ่งส่งผลต่อสมบัติการยึดติดของกาวแทนนิน/ซูโครส



รูปที่ 21 การเปรียบเทียบค่า IB Strength ของ Particleboard ก่อนและหลังจากการทำให้แห้ง

2.7.5.2 การจากแทนนิน-ซูโครส-กรดซิตริก

Zhongyuan Zhao และคณะ, (2016)⁽⁴⁶⁾ ได้ศึกษาอิทธิพลของการเติมกรดซิตริกในกาวแทนนิน/ซูโครส โดยใช้สัดส่วนแทนนิน/ซูโครส คือ 25/75 และเพิ่มกรดซิตริก 0.0, 0.4, 1.8, 4.8, 16, 25 และ 50 เมื่อเทียบเป็น Citric acid content (wt%) จะได้ 0.0, 0.4, 1.8, 4.6, 13.8, 20.0 และ 33.3 wt% ตามลำดับ ในงานวิจัยนี้ในอุณหภูมิการกดร้อนที่ 160, 180, 200 และ 220 °C พบว่ากรดซิตริก 33.3 wt% กดร้อนที่อุณหภูมิ 200 °C มีค่าเฉลี่ย MOR และ ค่า MOE คือ 21.5 MPa และ 4.9 GPa ตามลำดับ ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของกรดซิตริกจึงมีผลต่อสมบัติทางกลและทำให้อุณหภูมิการเกิดปฏิกิริยาของกาวลดลงด้วย^{(47) (36)}

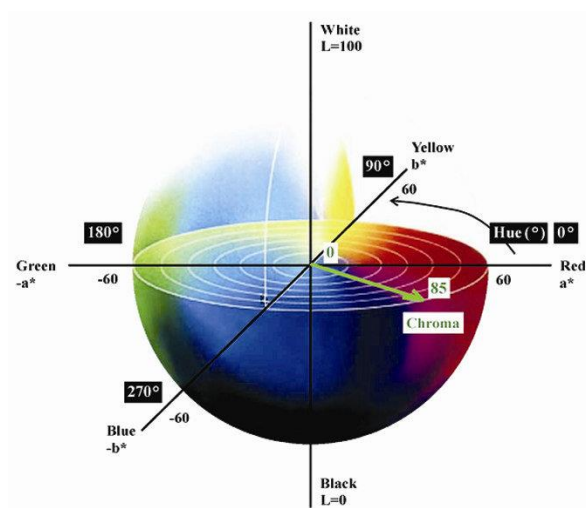
2.8 การวัดสี

สีสามารถอธิบายในลักษณะช่องว่างในภาพสามมิติ โดยการอธิบายของสีมักอยู่ในรูปของ CIELAB หรือ L*, a* และ b* ซึ่งเป็นการกำหนดค่าสีโดยใช้ทฤษฎีสีคู่ตรงข้าม 3 คู่ ได้แก่ สีขาวกับสีดำ สีแดงกับสีเขียว และ สีเหลืองกับสีน้ำเงิน แสดงดังรูปที่ 22

โดยค่า L* คือ ค่าที่บอกถึงความสว่างของสี มีค่าตั้งแต่ 0 (ดำ) ถึง 100 (ขาว)

a* คือ ค่าที่บอกความเป็นสีเขียวหรือสีแดงมีค่าตั้งแต่ -120 ถึง 120

b* คือ ค่าที่บอกความเป็นสีน้ำเงินหรือสีเหลือง มีค่าตั้งแต่ -120 ถึง 120



รูปที่ 22 แสดงสัญลักษณ์และแกนสีของทฤษฎีสีคู่ตรงข้าม

ที่มา : <https://www.ponpe.com/tech/770-colorimeter.html>

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการสังเคราะห์กาวจากซูโครส กรดซิตริก แทนินที่สกัดจากใบหูกวาง เพื่อให้ได้กาวที่มี การยึดติดที่ดีและมีความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยแบ่งเป็นขั้นตอนคือ การสกัดแทนนิน การสังเคราะห์กาว การขึ้นรูปปาร์ติเคิลบอร์ด การวัดขนาด การวัดความหนาแน่น การวัดความชื้น การวัดการพองตัวตามความหนา การวัดสี การวัดความต้านทานแรงดัดและมอดูลัสยืดหยุ่น การวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีด้วย FT-IR และ DSC

3.1 อุปกรณ์เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในการสังเคราะห์กาวซูโครส กรดซิตริก แทนิน

3.1.1 วัสดุและสารเคมี

1. ซูโครส
2. กรดซิตริก
3. ใบหูกวาง
4. กรดแทนนิก
5. เอทานอล
6. Folin-Ciocalteu Reagent
7. โซเดียมคาร์บอเนต
8. หลอดหยด
9. ขวดแก้วดูแรน (Bottle Duran)
10. ขี้เลื่อยจากไม้เนื้อแข็ง
11. กระดาษนาฬิกา
12. ปีกเกอร์
13. ปีเปต
14. หลอดทดลอง

3.1.2 เครื่องมือ

1. เครื่องอัด
2. เครื่องชั่งน้ำหนัก
3. เตาอบ
4. Autoclave
5. Fourier Transform Infrared Spectrometer (FTIR)
6. Differential Scanning Calorimetry (DSC)
7. เครื่อง Centrifuge
8. เครื่องวัดค่า pH
9. เครื่อง UV-VIS Spectrophotometer
10. ไมโครมิเตอร์
11. เวอร์เนียคาลิเปอร์
12. Imaging Spectro colorimeter
13. Universal Testing Machine (UTM)

3.2 การสกัดแทนนิน

1. นำใบหูกวางมาบดให้ละเอียดและเทลงใส่ขวด โดยแต่ละขวดจะใส่ใบหูกวางลงไป 5 กรัม และเติมน้ำปราศจากไอออน (Deionized Water หรือ DI) 100 มิลลิลิตร
2. นำวัตถุดิบที่เตรียมได้ในข้อ 1 ไปใส่ในเครื่อง Autoclave ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 40 นาที เพื่อเป็นการสกัดแทนนิน (Extracted Tannin) จากใบหูกวาง
3. เมื่อครบระยะเวลาที่กำหนด นำสารสกัดแทนนินมากรองเพื่อแยกใบหูกวางออก จากนั้นนำสารสกัดแทนนินไป Centrifuge เพื่อให้เกิดการตกตะกอน และเทสารสกัดแทนนินที่ได้เก็บลงในขวด
4. ดูดสารสกัดแทนนินออกจากขวดใส่ลงในกระเจกนาฟิกา จากนั้นนำไปอบอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมง เพื่อนำไปสังเคราะห์กาวและดูปริมาณของแข็งที่เหลือ จากนั้นนำไปหาปริมาณของแทนนินด้วยวิธี Folin-Ciocalteu



รูปที่ 23 สารสกัดแทนนินก่อนและหลัง Centrifuge

3.3 การวิเคราะห์หาปริมาณแทนนินด้วยวิธี Folin-ciocalteu

3.3.1 การสร้างกราฟมาตรฐานกรดแทนนิก

1. เจือจางกรดแทนนิก 100 ไมโครลิตรต่อเอทานอล 900 ไมโครลิตร
2. เตรียมสารละลายสัดส่วน ดังในตารางที่ 6 ลงในทิวป์ โดยจะวัดความเข้มข้นของกรดแทนนิกที่ 0, 20, 40, 60, 80 และ 100 (มิลลิกรัม/ลิตร)
3. นำสารละลายทั้งหมดไปตั้งในที่มืด 90 นาที และนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร
4. นำค่าดูดกลืนแสง และความเข้มข้นของสารมาตรฐานกรดแทนนิก มาเขียนกราฟมาตรฐาน และหาค่าความชัน เพื่อใช้วิเคราะห์ปริมาณแทนนินในสารสกัด

ตารางที่ 6 สัดส่วนสารละลายที่ใช้ในการสร้างกราฟมาตรฐาน

ความเข้มข้นสารละลาย มาตรฐานกรดแทนนิก (mg/l)	กรดแทนนิก (μ l)	เอทานอล (μ l)	Folin-ciocalteu reagent (μ l)	น้ำกลั่น (μ l)	โซเดียมคาร์บอเนต (μ l)
0	0	80	80	100	400
20	16	64			
40	32	48			
60	48	32			
80	64	16			
100	80	0			

3.3.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารแทนนินสกัดจากใบหูกวาง

1. นำผงแทนนินที่ได้มาละลายในน้ำกลั่นในสัดส่วน 0.0104 กรัม ต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร
2. เตรียมสารละลายสัดส่วน ดังในตารางที่ 7 ลงในทิวป์
3. นำสารละลายทั้งหมดไปตั้งในที่มืด 90 นาที และนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร
4. นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ในแต่ละตัวอย่างไปเทียบกับกราฟมาตรฐาน และหาปริมาณแทนนิน

ตารางที่ 7 แสดงถึงสัดส่วนของสารละลายที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณแทนนิน

สารละลาย	ปริมาณ (ไมโครลิตร)
สารสกัดแทนนิน	80
น้ำกลั่น	1000
Folin-ciocalteu reagent	80
โซเดียมคาร์บอเนต	400

3.3 การสังเคราะห์กาก

1. ชั่งน้ำหนักซูโครส กรดซิตริก และแทนนินตามอัตราส่วนในตารางที่ 8
2. นำสารทั้ง 3 ชนิดมาเทรวมกันในบีกเกอร์ และค่อยๆเติมน้ำกลั่นให้ปริมาตรรวมเท่ากับ 10 มิลลิลิตร โดยใช้ Solid Content ของซูโครส-กรดซิตริก เท่ากับ 40 wt% และเติมแทนนินตามอัตราส่วนในตารางที่ 8 (Solid Content คือ ปริมาณของแข็งที่ละลายในสารละลายทั้งหมด)

ตารางที่ 8 แสดงอัตราส่วนระหว่างซูโครส กรดซิตริก และแทนนิน

สัดส่วนซูโครส : กรดซิตริก : แทนนิน	น้ำหนักซูโครส : กรดซิตริก : แทนนิน (g/10ml)
75 : 25 : 0	3 : 1 : 1
75 : 25 : 25	3 : 1 : 2
75 : 25 : 50	3 : 1 : 3
75 : 25 : 75	3 : 1 : 4



รูปที่ 24 การสังเคราะห์กาวจากซูโครส/ซิตริก/แทนนิน

3.5 การขึ้นรูปปาร์ติเคิลบอร์ด

ในงานวิจัยนี้จะแบ่งการขึ้นรูปปาร์ติเคิลบอร์ดเป็น 2 ตอน ซึ่งในตอนแรกจะขึ้นรูปปาร์ติเคิลบอร์ดที่ใช้ อุณหภูมิการกดร้อน 160 องศาเซลเซียส และในตอนที่ 2 จะเพิ่มอุณหภูมิการกดร้อนเป็น 180, 200 และ 220 องศาเซลเซียส ซึ่งจะมีขั้นตอนการทำ ดังนี้

1. เตรียมขี้เลื่อยจากไม้เนื้อแข็ง (Wood shaving) โดยร่อนผงของขี้เลื่อยออก
2. พ่นกาวซูโครส/ซิตริก/แทนนิน ลงบนขี้เลื่อย โดยมีปริมาณ Resin Content คือ 30 %โดยมวล
3. นำขี้เลื่อย (ที่พ่นกาวแล้ว) ไปใส่ในแม่แบบ และนำเข้าเครื่องอัด โดยอุณหภูมิในการกดร้อนในตอน ที่ 1 คือ 160 องศาเซลเซียส และตอนที่ 2 จะเพิ่มอุณหภูมิการกดร้อนเป็น 180, 200 และ 220 องศาเซลเซียส ความดัน 4 MPa เป็นเวลา 2 นาที ความดัน 2 MPa เป็นเวลา 2 นาที และ ความดัน 1 MPa เป็นเวลา 2 นาที



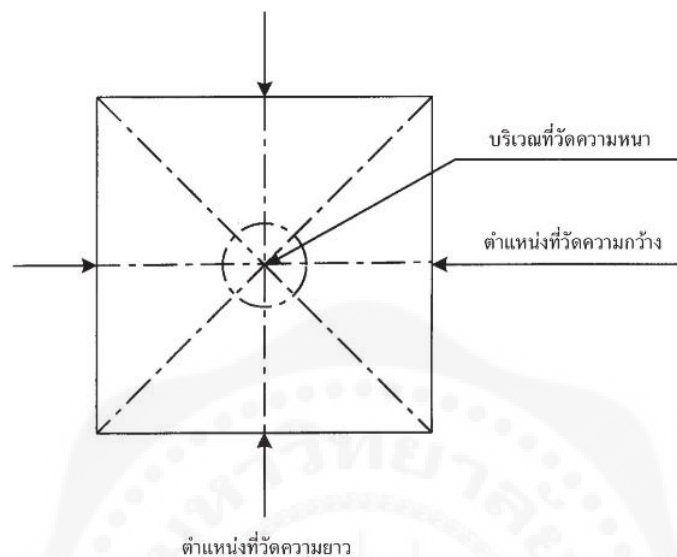
รูปที่ 25 เครื่องอัดขึ้นรูปปาร์ติเคิลบอร์ด



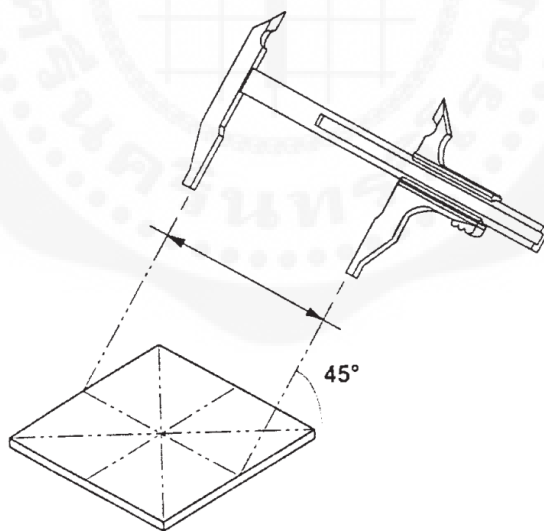
รูปที่ 26 แม่แบบโลหะ

3.6 การวัดขนาดปาร์ติเคิลบอร์ด

1. นำชิ้นงานมาชั่งโดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนัก
2. วัดความหนาที่จุดกึ่งกลางของชิ้นงาน ตามรูปที่ 27 โดยใช้ไมโครมิเตอร์
3. วัดความกว้างและความยาวที่แนวกึ่งกลางของชิ้นงานบริเวณขอบชิ้นงานโดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์ วางเครื่องมือให้ทำมุมกับแนวระนาบของชิ้นงาน ประมาณ 45° ดังรูปที่ 28



รูปที่ 27 ตำแหน่งที่วัดความกว้าง ความยาว และความหนาของชิ้นงานทดสอบ



รูปที่ 28 แสดงวิธีการวัดความกว้าง ความยาวของปาร์ติเคิลบอร์ด

3.7 การวัดความแน่นของปาร์ติเคิลบอร์ด

1. นำชิ้นงานทดสอบมาชั่งน้ำหนักโดยใช้เครื่องชั่ง
2. วัดความกว้าง ความยาว และความหนาใช้เครื่องมือในข้อ 3.6
3. รายงานผลโดยคำนวณความหนาแน่นโดยใช้สูตร

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

เมื่อ ค่าความหนาแน่นมีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m^3)

m คือ มวลชิ้นงานทดสอบ (กรัม)

V คือ ปริมาตรของชิ้นทดสอบ (ลูกบาศก์มิลลิเมตร)

3.8 การวัดปริมาณความชื้นของปาร์ติเคิลบอร์ด

1. ชั่งน้ำหนักชิ้นงานทดสอบ โดยใช้เครื่องชั่ง เป็นน้ำหนักชิ้นงานก่อนอบ
2. อบชิ้นงานที่อุณหภูมิ 103 ± 2 องศาเซลเซียส
3. นำไปตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์
4. ชั่งน้ำหนักชิ้นงานอีกครั้ง เป็นน้ำหนักชิ้นงานหลังอบ
5. รายงานผล โดยหาค่าปริมาณความชื้นจากสูตร

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

โดย ค่าปริมาณความชื้นมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ (%)

m_1 คือ มวลชิ้นงานก่อนอบ (กรัม)

m_2 คือ มวลชิ้นงานหลังอบ (กรัม)

3.9 การวัดการพองตัวตามความหนา

1. ทำเครื่องหมายและวัดความหนาตามจุด เป็นความหนาก่อนแช่น้ำ
2. นำชิ้นงานไปแช่น้ำที่อุณหภูมิ 20 ± 2 องศาเซลเซียส โดยตั้งชิ้นงานให้ตั้งฉากกับระดับผิวน้ำขอบบนอยู่ใต้ผิวน้ำ 25 มิลลิเมตร แต่ละชิ้นงานต้องห่างจากกัน และต้องห่างจากผนังและก้นภาชนะที่ใส่น้ำไม่น้อยกว่า 10 มิลลิเมตร
3. เมื่อแช่ชิ้นงานครบ 1 ชั่วโมงแล้ว รีบนำชิ้นงานมาซับน้ำที่ผิวออกให้หมดด้วยผ้าหมาด
4. ปลดชิ้นงานทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 1 ชั่วโมง และนำชิ้นงานมาวัดความหนาตามตำแหน่งเดิม เป็นความหนาหลังแช่น้ำ
5. รายงานผลโดยคำนวณหาการพองตัวตามความหนาจากสูตร

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

เมื่อ ค่าการพองตัวตามความหนา มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ (%)

t_1 คือ ความหนาของชิ้นงานก่อนแช่น้ำ (มิลลิเมตร)

t_2 คือ ความหนาของชิ้นงานหลังแช่น้ำ (มิลลิเมตร)

3.10 การวัดสี

ในงานวิจัยนี้จะใช้การวัดสีของแผ่นปาร์ติเคิลบอร์ดเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของสีเมื่อเพิ่มปริมาณแทนนินและเพิ่มอุณหภูมิในการอัดขึ้นรูป โดยจะใช้การวัดสี 2 แบบ คือ

3.10.1. การวัดสีโดยใช้เครื่อง Imaging Spectrocolorimeter

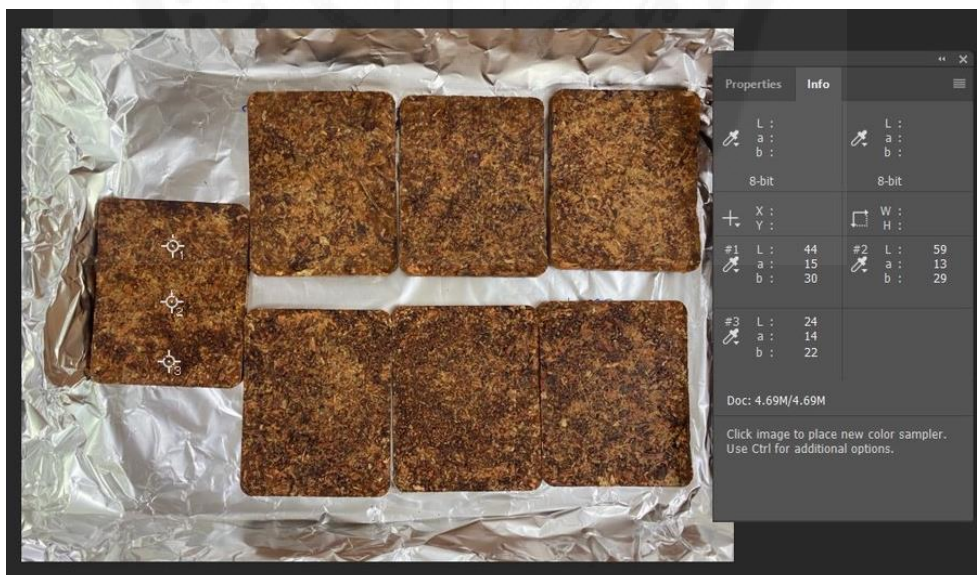
เริ่มจากการนำชิ้นงานทดสอบมาวางที่พื้นขนาน จากนั้นใช้เครื่อง colorimeter วัดสีของชิ้นงาน สุ่มวัด 3 จุด โดยจะมีค่า L^* , a^* และ b^* ขึ้นที่เครื่อง colorimeter จากนั้นบันทึกค่าและหาค่าเฉลี่ยในแต่ละแผ่น



รูปที่ 29 เครื่อง Imaging Spectrocolorimeter

3.10.2 การวัดสีเชิงภาพถ่ายโดยใช้โปรแกรม Photoshop

นำภาพถ่ายชิ้นงานที่ถ่ายด้วยมือถือ มาวิเคราะห์ภาพถ่ายด้วยโปรแกรม Adobe Photoshop CC 2019 โดยวัดค่าสีให้อยู่ในระบบ CIELAB หรือ L^* , a^* และ b^* และแปลงเป็น HEX เพื่อแปลงเป็นโค้ดสี



รูปที่ 30 การวิเคราะห์เชิงภาพถ่ายโดยใช้โปรแกรม Photoshop

3.11 การวัดความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น

เตรียมชิ้นงานกว้างขนาด 60 มิลลิเมตร ยาว 75 มิลลิเมตร หนา 3 มิลลิเมตร และนำไปทดสอบด้วยเครื่อง Universal Testing Machine (UTM 5 TONS) ตามมาตรฐาน ASTM D-790

3.12 การวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีด้วย FTIR

1. เตรียมซูโครส กรดซิตริก แทนนินสกัด กรดแทนนิก ตัวอย่างละ 1 กรัม แล้วแยกใส่ไว้ในถุงซิปล็อค
2. เตรียมการซูโครส/ซิตริก/แทนนิน สัดส่วน 75/25/25 และ การซูโครส/ซิตริก สัดส่วน 75/25 ก่อน Cure ตัวอย่างละ 1 มิลลิลิตร ลงในทิวป์
3. นำการซูโครส/ซิตริก/แทนนิน สัดส่วน 75/25/25 และ การซูโครส/ซิตริก สัดส่วน 75/25 ตัวอย่างละ 1 มิลลิลิตร ไปอบที่ 160 องศาเซลเซียส 30 นาที เมื่ออบเสร็จแล้วนำตัวมาชูดแล้วแยกใส่ถุงซิปล็อค
4. นำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่องมือ Fourier Transform Infrared Spectrometer (FTIR)

3.13 การวิเคราะห์ทางเคมีด้วย DSC

1. เตรียมการซูโครส/ซิตริก สัดส่วน 75/25 ปริมาณ 1 มิลลิลิตร ลงในทิวป์
2. เตรียมการซูโครส/ซิตริก/แทนนิน สัดส่วน 75/25/25, 75/25/50 และ 75/25/75 ปริมาณ 1 มิลลิลิตร ลงในทิวป์
3. เมื่อเตรียมสารละลายดังข้อที่ 1 และข้อที่ 2 แล้วนำสารละลายไปทดสอบด้วย Differential Scanning Calorimetry (DSC)

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 การสกัดแทนนินจากใบหูกวาง

จากการสกัดแทนนินจากใบหูกวางด้วยการ Autoclaves ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เวลา 40 นาที และนำสารสกัดแทนนินไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ทำให้ทราบค่า Crude Tannin Yield, Tannin Yield, ความหนาแน่นของแทนนิน, ค่า pH ของแทนนิน ดังนี้

4.1.1 Crude Tannin Yield (สารสกัดแทนนินดิบ)

ตารางที่ 9 แสดงสารสกัดแทนนินจากใบหูกวางหลังจากการอบ

ลำดับ	ปริมาตรสารสกัด (ml)	น้ำหนักสาร (g)	น้ำหนักถ้วย (g)	น้ำหนักแห้งถ้วย (g)	ผงสารสกัดแทนนิน (g)	ผงสารสกัดแทนนินรวม (g)
1	20	17.73	31.35	31.66	0.31	1.65
2	20	19.04	33.55	33.87	0.32	
3	20	20.25	31.98	32.32	0.34	
4	20	20.24	36.04	36.37	0.33	
5	20	20.21	34.91	35.26	0.35	

จากผงสารสกัดแทนนินจะสามารถคำนวณหา Crude Tannin Yield ได้จากสมการ

$$\text{Crude Tannin Yield} = \frac{\text{ผงสารสกัดแทนนิน}}{\text{น้ำหนักใบหูกวางที่ใช้}} \times 100$$

จากตารางที่ 9 จะเห็นว่าปริมาณสารสกัด 100 ml จะได้ผงแทนนินรวมทั้งหมด 1.65 g โดยนำมาคิดเป็น Crude Tannin Yield เท่ากับ 33%

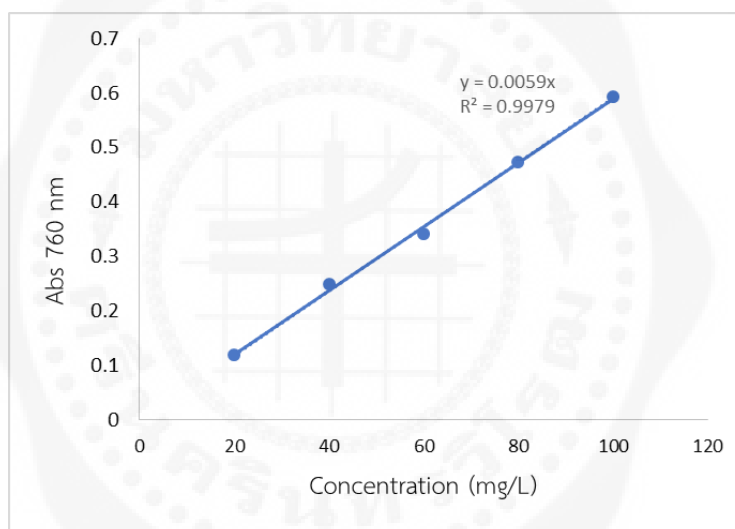
4.1.2 การสร้างกราฟมาตรฐานกรดแทนนิก

ในการสร้างกราฟมาตรฐานกรดแทนนิกโดยให้สารที่สกัดได้ทำปฏิกิริยากับสารละลาย Folin-Ciocalteu แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer โดยใช้กรดแทนนิกเป็นสารมาตรฐาน ซึ่งจะวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตรที่ความเข้มข้น 20, 40, 60, 80 และ 100 mg/L ตามลำดับ

ตารางที่ 10 ค่าดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานกรดแทนนิก

ความเข้มข้นกรดแทนนิก (mg/L)	ค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร
20	0.119
40	0.248
60	0.342
80	0.427
100	0.592

จากตารางที่ 10 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานกรดแทนนิกที่ความยาวคลื่นเท่ากับ 760 นาโนเมตร สามารถนำไปสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลาย มาตรฐานกรดแทนนิก ได้ดังรูปที่ 31



รูปที่ 31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของ

สารละลายมาตรฐานกรดแทนนิก

ซึ่งจากกราฟเส้นตรงจะทำให้ได้สมการ $[Abs] = 0.0059 [ความเข้มข้น]$ จะสามารถนำไปคำนวณหา Tannin Yield ได้

4.1.3 Tannin Yield

หลังจากได้กราฟมาตรฐานแล้วจะทำการวิเคราะห์หาปริมาณแทนนินจากใบหูกวางเทียบกับกราฟมาตรฐานกรดแทนนิก ซึ่งจะได้ปริมาณแทนนินดังในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ปริมาณแทนนินที่สกัดได้จากใบหูกวาง

ครั้งที่	ค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 760 nm	สารสกัดแทนนิน (%(w/w))	ค่าเฉลี่ย (%(w/w))
1	0.428	72.67	70.10
2	0.417	70.68	
3	0.395	66.96	

4.1.4 ความหนาแน่นของแทนนิน (Density)

ตารางที่ 12 แสดงความหนาแน่นของสารสกัดแทนนิน

ครั้งที่	ความหนาแน่น (g/ml)	ค่าเฉลี่ย(g/ml)
1	1.04	1.03
2	1.02	
3	1.04	

4.1.5 ค่า pH ของแทนนิน

ตารางที่ 13 แสดงค่า pH ของสารสกัดแทนนิน

ครั้งที่	ค่า pH	ค่าเฉลี่ย
1	4.56	4.54
2	4.53	
3	4.54	

4.2 ผลการทดสอบสมบัติของปาร์ติเคิลบอร์ด ตอนที่ 1 (ในสัดส่วน 0%, 25%, 50%, 75%, 100% แทนนินและตัวควบคุมที่ไม่ใส่กาว)

4.2.1 ค่า pH และความหนาแน่นของกาว

ตารางที่ 14 แสดงค่า pH และความหนาแน่นของกาว

ประเภท	ค่า pH	ความหนาแน่น (g/ml)
Tannin 0	1.80	1.12
Tannin 25	2.15	1.19
Tannin 50	2.27	1.20
Tannin 75	2.40	1.23
Tannin 100	2.27	1.33

จากตารางที่ 14 พบว่าค่า pH ของกาวมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณแทนนินเพิ่มขึ้น แต่กาวที่มีสัดส่วนแทนนิน 100 พบว่าค่า pH ลดลง และการเพิ่มขึ้นของแทนนินส่งผลให้ความหนาแน่นของกาวเพิ่มขึ้นอีกด้วย

4.2.2 ขนาดของปาร์ติเคิลบอร์ด

ตารางที่ 15 แสดงขนาดของแผ่นปาร์ติเคิลบอร์ด

ตัวอย่าง	ความกว้าง (mm.)	ความยาว (mm.)	ความหนา (mm.)
Control	60.0	75.4	5.07
Tannin 0	60.2 $\pm$ 0.06	75.1 $\pm$ 0.06	3.32 $\pm$ 0.05
Tannin 25	60.1 $\pm$ 0.06	75.2 $\pm$ 0.06	3.40 $\pm$ 0.03
Tannin 50	60.1 $\pm$ 0.10	75.1 $\pm$ 0.06	3.36 $\pm$ 0.03
Tannin 75	60.0 $\pm$ 0.06	75.3 $\pm$ 0.10	3.64 $\pm$ 0.05

จากตาราง 15 จะเห็นว่าปาร์ติเคิลบอร์ดมีขนาดใกล้เคียงกัน คือมีความกว้างประมาณ 60 มิลลิเมตร ความยาวประมาณ 75 มิลลิเมตร และความหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร และ Control มีความหนาประมาณ 5 มิลลิเมตร เนื่องจากเป็นตัวอย่างที่ขึ้นรูปโดยไม่ใส่กาว ซึ่งความหนาของปาร์ติเคิลบอร์ดทั้งหมดผ่านตามมาตรฐาน มอก. 876-2004 ที่กำหนดความหนาให้อยู่ในช่วง 3 มิลลิเมตร – 6 มิลลิเมตร

4.2.3 ความหนาแน่นของปาร์ติเคิลบอร์ด

ตารางที่ 16 แสดงความหนาแน่นของแผ่นปาร์ติเคิลบอร์ด

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (g)	ความหนาแน่น (kg/m^3)
Control	14.41	628
Tannin 0	15.44 ± 0.20	1028 ± 4.08
Tannin 25	15.97 ± 0.09	1039 ± 4.60
Tannin 50	15.73 ± 0.09	1036 ± 5.60
Tannin 75	16.31 ± 0.10	988 ± 16.75

ตามมาตรฐาน มอก.876-2004 กำหนดให้ปาร์ติเคิลบอร์ดมีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 400 – 900 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร ซึ่งจากตารางที่ 16 พบว่าปาร์ติเคิลบอร์ดมีค่าความหนาแน่นมากกว่าช่วงที่มาตรฐานกำหนดทั้งหมด ซึ่งถือว่าไม่ผ่านมาตรฐาน แต่ตัวอย่างที่เป็น Control ซึ่งเป็นตัวอย่างที่ขึ้นรูปโดยไม่ใช้กาว มีค่าอยู่ในช่วงที่มาตรฐานกำหนด โดยมีค่าเท่ากับ 628.25 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร

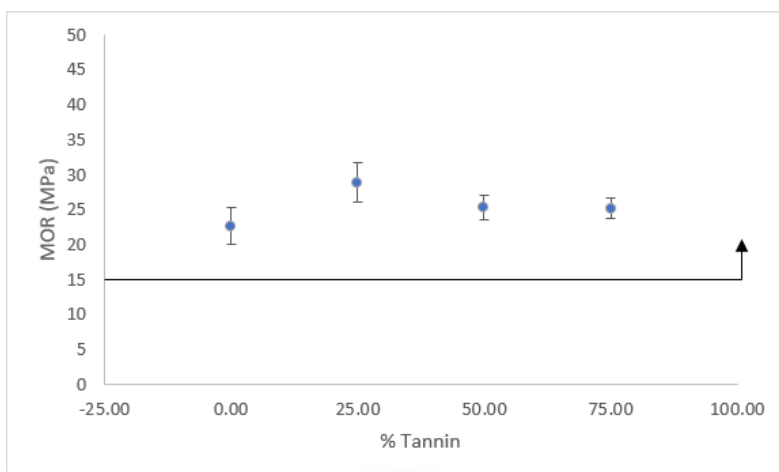
4.2.4 ความชื้นของปาร์ติเคิลบอร์ด

ตารางที่ 17 แสดงร้อยละความชื้นของปาร์ติเคิลบอร์ด

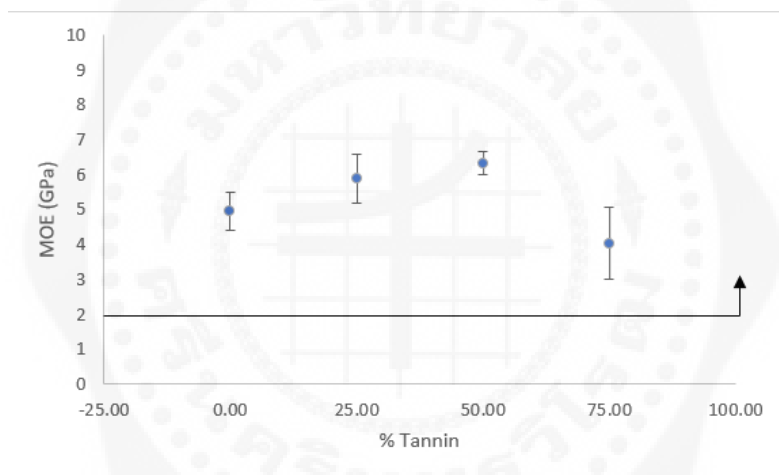
ประเภท	น้ำหนักก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	%ความชื้น
Control	14.41	13.90	3.67
Tannin 0	15.44 ± 0.19	14.91 ± 0.20	3.53 ± 0.15
Tannin 25	15.97 ± 0.09	15.43 ± 0.07	3.50 ± 0.10
Tannin 50	15.73 ± 0.10	15.22 ± 0.09	3.33 ± 0.09
Tannin 75	16.31 ± 0.11	15.73 ± 0.09	3.66 ± 0.08

มาตรฐาน มอก. 876-2004 กำหนดร้อยละความชื้นอยู่ในช่วง 4% - 13 % จากตารางที่ 17 จะเห็นว่าร้อยละความชื้นของปาร์ติเคิลบอร์ดทั้งหมดมีค่าต่ำกว่า 4% ซึ่งถือว่าต่ำกว่าที่มาตรฐานกำหนด

4.2.5 ค่า MOR และ ค่า MOE



รูปที่ 32 แสดงค่า MOR ของปาร์ติเคิลบอร์ด

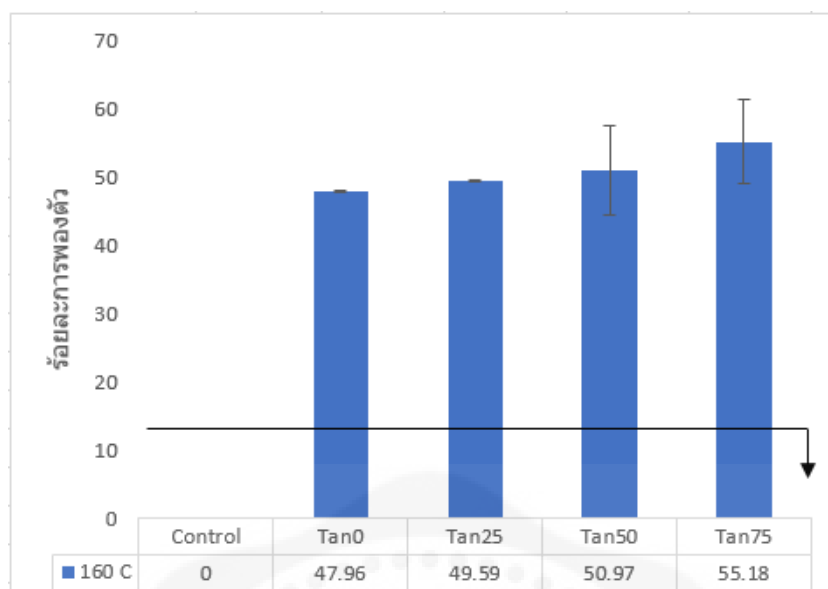


รูปที่ 33 แสดงค่า MOE ของปาร์ติเคิลบอร์ด

จากรูปที่ 32 และ 33 จะเห็นว่าค่า MOR และค่า MOE ของปาร์ติเคิลบอร์ดที่ใช้กาวยัดส่วน 25% แทนนิน มีค่า MOR เฉลี่ยสูงที่สุดซึ่งเท่ากับ 28.84 MPa และมีค่า MOE เฉลี่ยคือ 5.88 ซึ่งผ่านตามาตรฐาน มอก.876-2004

เมื่อเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้าของ Zhongyuan Zhao และคณะ, (2016)⁽⁴⁶⁾ ที่ขึ้นรูปปาร์ติเคิลบอร์ดด้วยกาวยโครส/ซีตริก/กรดแทนนิก สัดส่วน 75/25/25 มีค่า MOR และ ค่า MOE คือ 21.50 MPa และ 4.90 GPa ตามลำดับ พบว่างานวิจัยของเราที่ขึ้นรูปด้วยกาวยโครส/ซีตริก/แทนนิน(จากใบหูกวาง) สัดส่วน 75/25/25 มีค่า MOR และค่า MOE คือ 28.84 MPa และ 5.88 GPa ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าการวิจัยของเรามีค่า MOR และค่า MOE ที่สูงกว่า ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการใช้กาวยโครส/ซีตริก/แทนนิน(จากใบหูกวาง) สามารถนำมาทำเป็นกาวได้และมีการยึดติดที่ดี

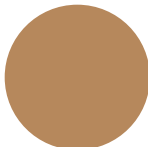
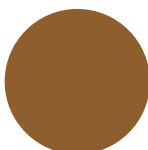
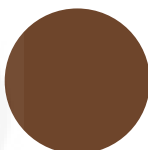
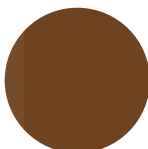
4.2.6 การพองตัวตามความหนา (Thickness Swelling)



รูปที่ 34 แสดงร้อยละการพองตัวตามความหนาของปาร์ติเคิลบอร์ด

จากรูปที่ 34 จะเห็นได้ว่าร้อยละการพองตัวตามความหนาของปาร์ติเคิลบอร์ดเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณแทนนินมากขึ้น และร้อยละการพองตัวตามความหนาของปาร์ติเคิลบอร์ดมีค่ามากกว่า 12% ซึ่งไม่ผ่านตามมาตรฐาน มอก.876-2004

4.2.7 การวัดสี

ค่าที่วัด/ ประเภท	การวัดสีด้วยโปรแกรม Adobe Photoshop	ปาร์ติเคิลบอร์ด	สีที่ได้
<u>Control</u>			
L*	60.25 ± 11.93		
a*	12.38 ± 7.38		
b*	30.13 ± 0.74		
<u>Tannin 0</u>			
L*	44.42 ± 1.54		
a*	14.34 ± 1.61		
b*	35.01 ± 1.79		
<u>Tannin 25</u>			
L*	33.81 ± 3.10		
a*	14.98 ± 1.28		
b*	27.96 ± 4.23		
<u>Tannin 50</u>			
L*	33.61 ± 3.01		
a*	14.69 ± 1.17		
b*	22.73 ± 3.76		
<u>Tannin 75</u>			
L*	32.95 ± 1.65		
a*	15.64 ± 0.40		
b*	28.79 ± 1.80		

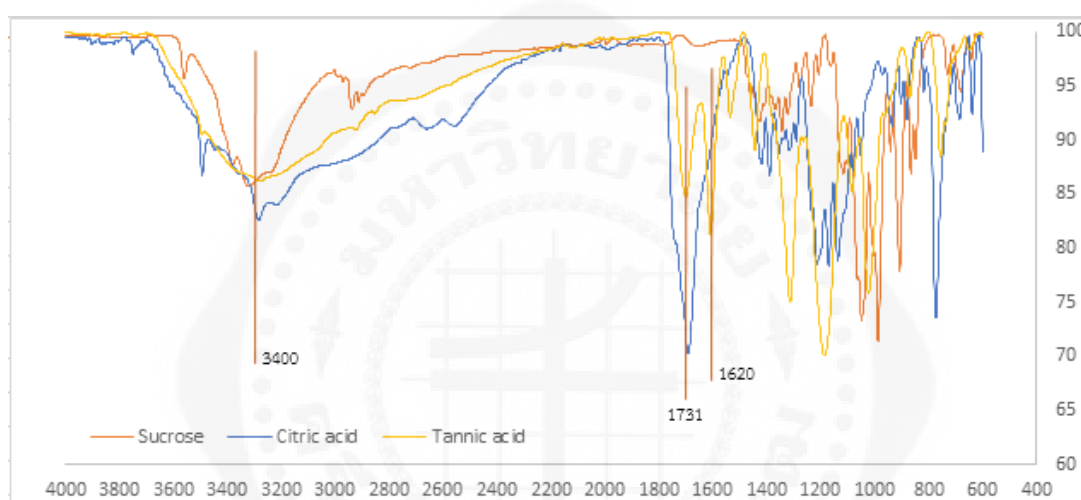
ตารางที่ 18 แสดงค่า L* a* b* และโค้ดสีของปาร์ติเคิลบอร์ด

จากตารางที่ 18 พบว่าเมื่อปริมาณของแทนนินมีผลต่อความเข้มของปาร์ติเคิลบอร์ด โดยเมื่อปริมาณของแทนนินเพิ่มขึ้นสีของปาร์ติเคิลบอร์ดเข้มขึ้นตามไปด้วย

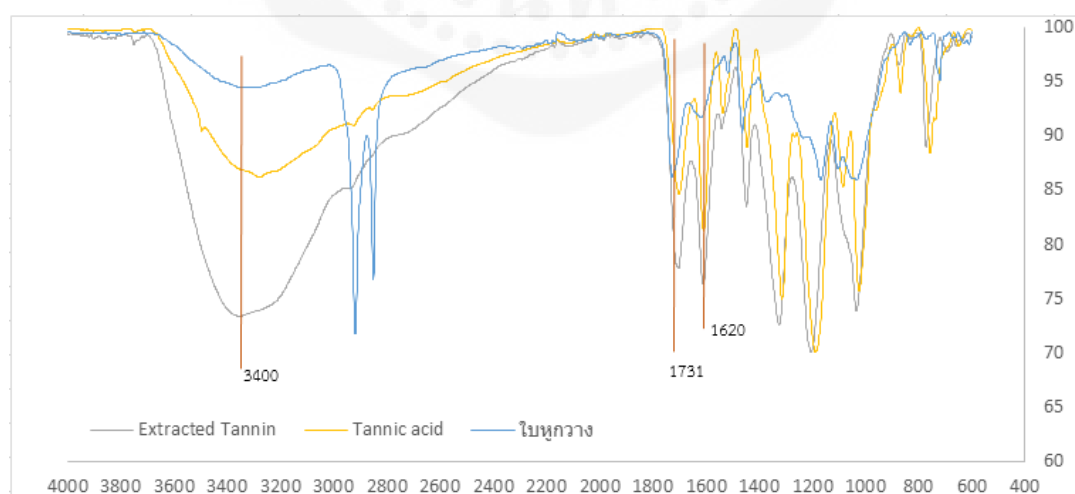
4.2.8 ผลการศึกษาหมู่ฟังก์ชันด้วย FTIR

ตารางที่ 19 แสดงหมู่ฟังก์ชันทางเคมี

เลขคลื่น (cm^{-1})	หมู่ฟังก์ชัน
3,600 – 3,200	O-H Stretching
1780 – 1535	C=O Stretching
1,820-1,670	C-C Stretching
1,300-1,000	C-O Stretching

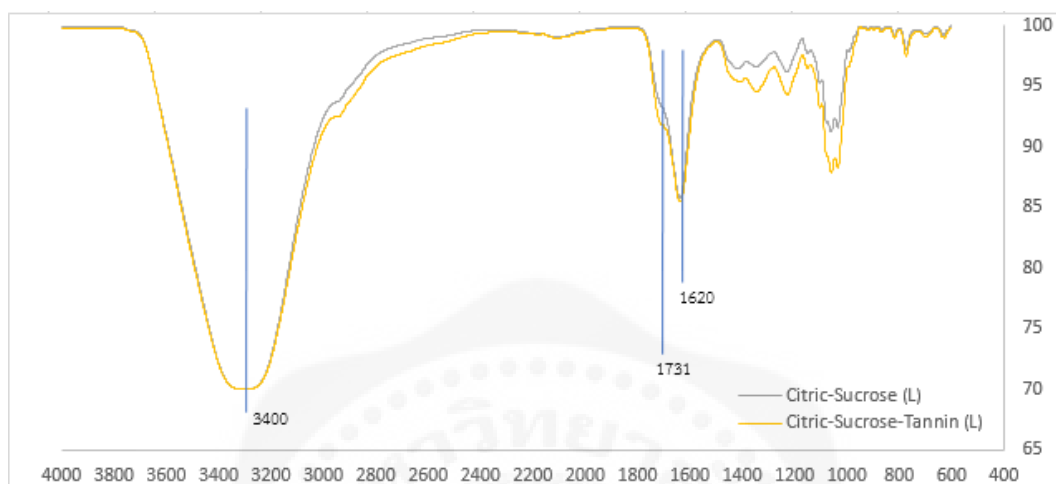


รูปที่ 35 แสดงสเปกตรัมของซโครส แทนนินสกัด และกรดแทนนิก



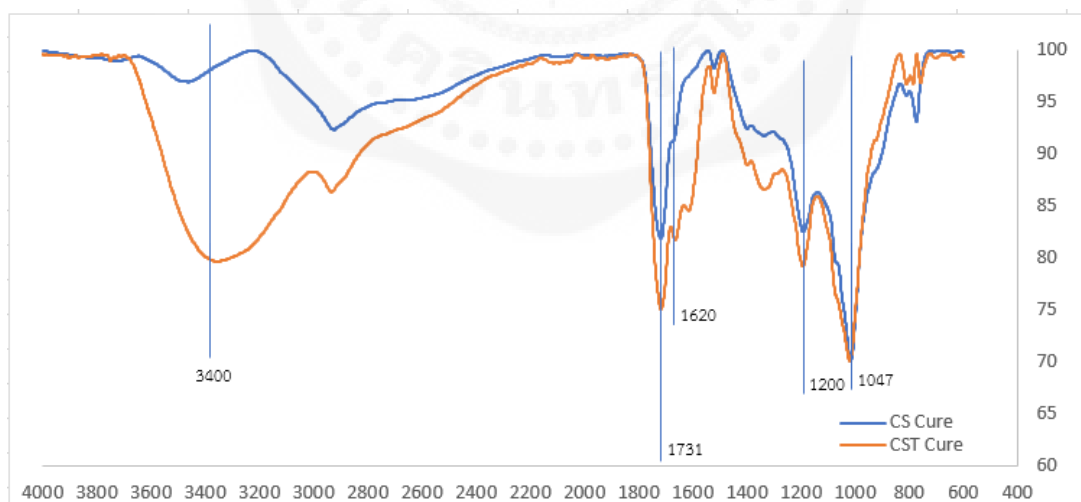
รูปที่ 36 แสดงสเปกตรัมของสารสกัดแทนนิน กรดแทนนิก และใบหูกวาง

จากรูปที่ 35 และ 36 จะเห็นว่า พบพีคที่ 3400 cm^{-1} ในซูโครส กรดซิตริก กรดแทนนิก แทนนินสกัด และใบหูกวาง ซึ่งเกิดจากการสั่นแบบยืดของหมู่ OH พบพีค 1731 cm^{-1} ในซูโครส กรดแทนนิก แทนนินสกัด และใบหูกวาง ซึ่งเกิดจากการสั่นแบบยืดของ C=O ที่มาจากหมู่คาร์บอกซิล และพบพีค 1620 cm^{-1} ในกรดแทนนิก และสารสกัดแทนนิน ซึ่งเกิดจากการสั่นแบบยืดของ C=C ในวงแหวนเบนซีน



รูปที่ 37 สเปกตรัมของกาวยูโครส-ซิตริกและกาวยูโครส-ซิตริก-แทนนิน ก่อน Cure

จากรูปที่ 37 จะเห็นว่ากาวยูทั้งสองชนิดจะพบพีคที่ 3400 cm^{-1} ซึ่งเกิดจากการสั่นแบบยืดของหมู่ -OH พบพีค 1731 cm^{-1} ซึ่งเกิดจากการสั่นแบบยืดของ C=O ที่มาจากหมู่คาร์บอกซิล และพบพีค 1620 cm^{-1} ซึ่งเกิดจากการสั่นแบบยืดของ C=C ในวงแหวนเบนซีน

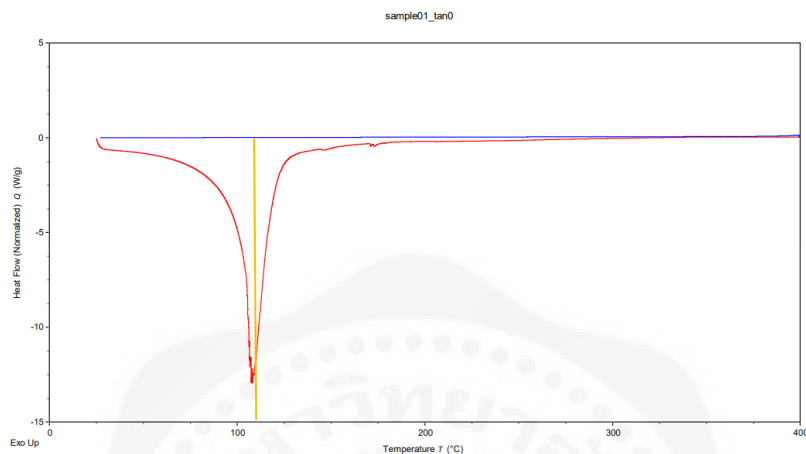


รูปที่ 38 แสดงสเปกตรัมของกาวยูโครส-ซิตริกและกาวยูโครส-ซิตริก-แทนนิน หลัง Cure

จากรูปที่ 38 จะพบว่ากาวยูทั้งสองชนิดจะพบพีคที่ 3400 cm^{-1} ซึ่งเกิดจากการสั่นแบบยืดของหมู่ -OH พบพีคที่ 1731 cm^{-1} ซึ่งเกิดจากการสั่นแบบยืดของ C=O ที่มาจากหมู่คาร์บอกซิล พบพีคที่ 1047 cm^{-1}

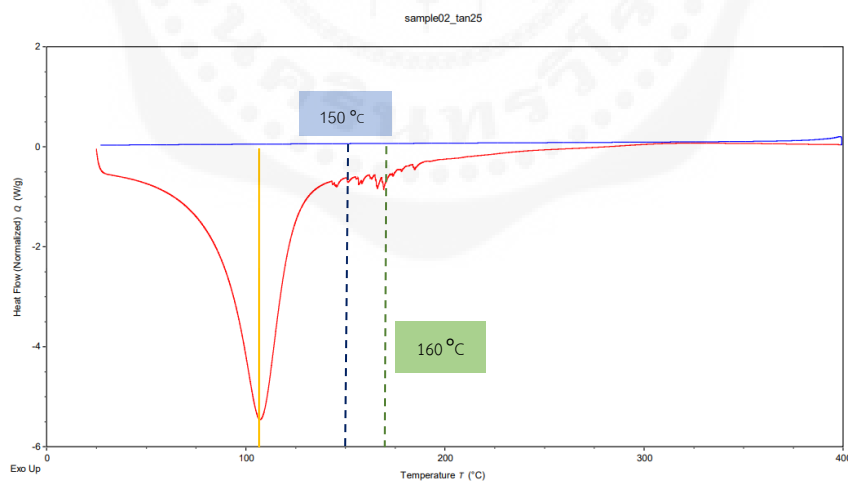
ซึ่งเกิดจากการสั่นแบบยืดของ C-O-C ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยากันระหว่างกรดซิตริกและหมู่ OH เกิดเป็นเอสเทอร์ พบพีค 1200 cm^{-1} ซึ่งเกิดจากการสั่นแบบยืดของ C-O ในเอสเทอร์ และพบพีค 1620 cm^{-1} ในกาวยูโรส/ซิตริก/แทนนิน ซึ่งเกิดจากการสั่นแบบยืดของ C=C ในวงแหวนเบนซีน

4.2.9 การวิเคราะห์ทางเคมีด้วย DSC



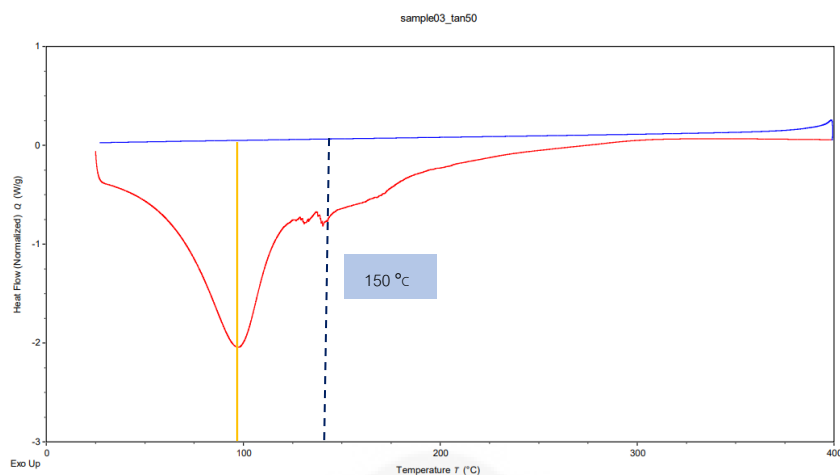
รูปที่ 39 แสดงผล DSC ของกาวยูโรส-ซิตริก

ที่ DSC Curve แสดงผลของกาวยูโรส-ซิตริก พบว่าเกิดปฏิกิริยา Endothermic พีคที่ 107 องศาเซลเซียส คาดว่าเป็นช่วงของการหลอมเหลวของน้ำ



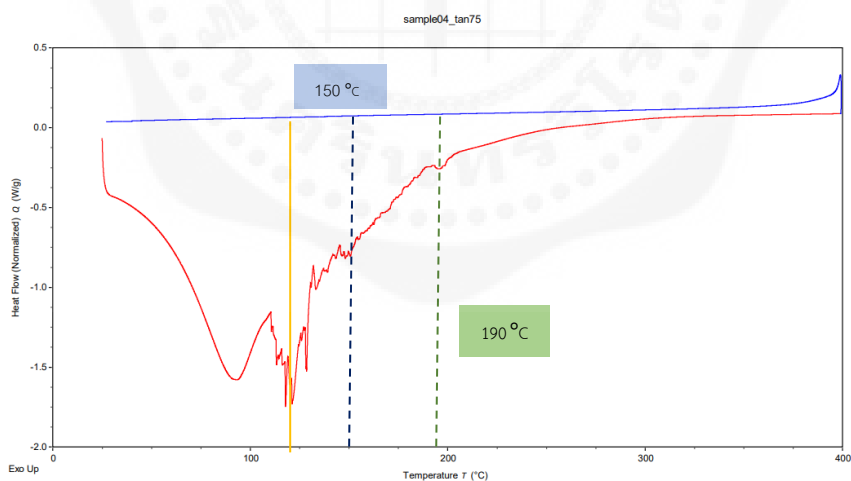
รูปที่ 40 แสดงผล DSC ของกาวยูโรส 25%แทนนิน

ที่ DSC Curve แสดงผลของกาวยูโรส/ซิตริก/แทนนิน สูตร 75/25/25 พบว่าเกิดปฏิกิริยา Endothermic พีคที่ 107 องศาเซลเซียส คาดว่าเป็นช่วงของการหลอมเหลวของน้ำ สังเกตพีคที่ 150 และ 160 องศาเซลเซียส คาดว่าเป็นช่วงของการหลอมเหลวของกรดซิตริกและยูโรส ตามลำดับ



รูปที่ 41 แสดงผล DSC ของกาวยสูตร 50%แทนนิน

ที่ DSC Curve แสดงผลของกาวยูโครส/ชิตริก/แทนนิน สูตร 75/25/50 พบว่าเกิดปฏิกิริยา Endothermic พิกที่ 97 องศาเซลเซียส คาดว่าเป็นช่วงของการหลอมเหลวของน้ำ และสังเกตพิกที่ 150 องศาเซลเซียสคาดว่าเป็นช่วงของการหลอมเหลวของกรดชิตริก



รูปที่ 42 แสดงผล DSC ของกาวยสูตร 75%แทนนิน

ที่ DSC Curve แสดงผลของกาวยูโครส/ชิตริก/แทนนิน สูตร 75/25/75 พบว่าเกิดปฏิกิริยา Endothermic พิกที่ 117 องศาเซลเซียส คาดว่าเป็นช่วงของการหลอมเหลวของน้ำ สังเกตพิกที่ 150 และ 190 องศาเซลเซียส คาดว่าเป็นช่วงของการหลอมเหลวของกรดชิตริกและยูโครส ตามลำดับ

สรุปผลการทดลองตอนที่ 1

จากการทดลองขึ้นรูปปาร์ติเคิลบอร์ดด้วยกาวยูโรส/ซิทริก/แทนนิน ในสัดส่วนที่ต่างกัน พบว่าสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการขึ้นรูปปาร์ติเคิลบอร์ดคือ 75/25/25 ซึ่งทำให้ปาร์ติเคิลบอร์ดมีค่า MOR สูงที่สุดคือ 28.84 MPa และค่า MOE คือ 5.88 GPa แต่การพองตัวตามความหนาวยังไม่ผ่านตามมาตรฐาน มอก. 876-2004

ดังนั้นในตอนต่อไป 2 จึงเลือกศึกษาอุณหภูมิการอัดที่สูงขึ้น โดยจะศึกษาที่สัดส่วน ยูโรส/ซิทริก 75/25 และ ยูโรส/ซิทริก/แทนนิน 75/25/25 ที่อุณหภูมิการอัดที่ 180, 200 และ 220 องศาเซลเซียส

4.3 ผลการทดสอบสมบัติของปาร์ติเคิลบอร์ด ตอนที่ 2 (ในสัดส่วน 0%,25% แทนนิน อัดที่อุณหภูมิ 180 ,200 และ 220 องศาเซลเซียส)

4.3.1 ขนาดของแผ่นปาร์ติเคิลบอร์ด

ตารางที่ 20 แสดงขนาดของปาร์ติเคิลบอร์ด

ตัวอย่าง	อุณหภูมิ	ความกว้าง (mm.)	ความยาว (mm.)	ความหนา (mm.)
0%tannin	160 °C	60.2 ± 0.06	75.1 ± 0.06	3.32 ± 0.05
25%tannin		60.1 ± 0.06	75.2 ± 0.06	3.40 ± 0.03
0%tannin	180 °C	60.2 ± 0.10	75.0 ± 0.06	3.30 ± 0.07
25%tannin		60.2 ± 0.06	75.1 ± 0.10	3.45 ± 0.11
0%tannin	200 °C	60.3 ± 0.12	75.1 ± 0.10	3.12 ± 0.01
25%tannin		60.2 ± 0.10	75.1 ± 0.12	3.36 ± 0.02
0%tannin	220 °C	60.2 ± 0.06	75.1 ± 0.06	3.28 ± 0.13
25%tannin		60.1 ± 0.10	75.1 ± 0.12	3.35 ± 0.14

จากตารางที่ 20 จะเห็นว่าการเพิ่มอุณหภูมิการกดไม่ได้ส่งผลต่อความหนาของปาร์ติเคิลบอร์ด ซึ่งจะมีขนาดใกล้เคียงกัน คือมีความกว้างประมาณ 60 มิลลิเมตร ความยาวประมาณ 75 มิลลิเมตร และความหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร ซึ่งความหนาของปาร์ติเคิลบอร์ดทั้งหมด ผ่านตามมาตรฐาน มอก.876-2004 ซึ่งกำหนดความหนาให้อยู่ในช่วง 3 มิลลิเมตร – 6 มิลลิเมตร

4.3.2 ความหนาแน่นของแผ่นปาร์ติเคิลบอร์ด

ตารางที่ 21 แสดงความหนาแน่นของปาร์ติเคิลบอร์ด

ตัวอย่าง	อุณหภูมิ	น้ำหนัก (g)	ความหนาแน่น (kg/m^3)
0%tannin	160 °C	15.44 $\pm$ 0.20	1028 $\pm$ 4.08
25%tannin		15.97 $\pm$ 0.09	1039 $\pm$ 4.60
0%tannin	180 °C	15.23 $\pm$ 0.09	1021 $\pm$ 22.73
25%tannin		15.19 $\pm$ 0.14	974 $\pm$ 22.49
0%tannin	200 °C	14.94 $\pm$ 0.05	1059 $\pm$ 4.15
25%tannin		15.08 $\pm$ 0.22	994 $\pm$ 7.45
0%tannin	220 °C	14.70 $\pm$ 0.11	992 $\pm$ 34.81
25%tannin		15.15 $\pm$ 0.10	1003 $\pm$ 43.01

จากตารางที่ 21 จะเห็นว่าในตอนที่ 2 ความหนาแน่นของปาร์ติเคิลบอร์ดมีค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วง 400-900 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร ซึ่งยังมีค่าเกินกว่ามาตรฐาน มอก. 876-2004 กำหนด

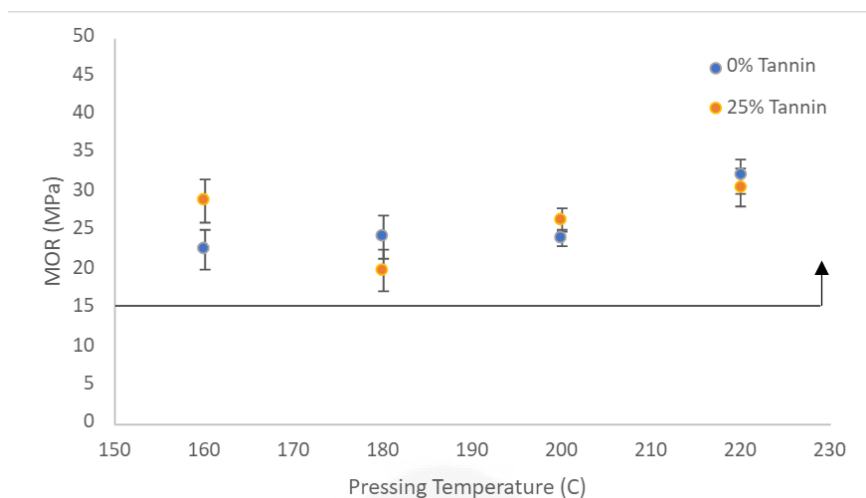
4.3.3 ความชื้นของแผ่นปาร์ติเคิลบอร์ด

ตารางที่ 22 แสดงร้อยละความชื้นของปาร์ติเคิลบอร์ด

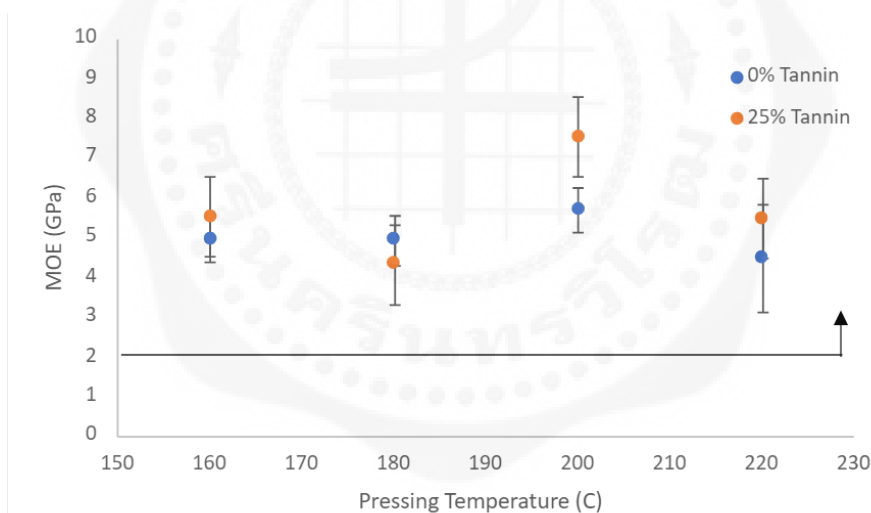
ประเภท	อุณหภูมิ	น้ำหนักก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	%ความชื้น
0%tannin	160 °C	15.44 $\pm$ 0.19	14.91 $\pm$ 0.20	3.53 $\pm$ 0.15
25%tannin		15.97 $\pm$ 0.09	15.43 $\pm$ 0.07	3.50 $\pm$ 0.10
0%tannin	180 °C	15.50 $\pm$ 0.09	14.91 $\pm$ 0.10	3.98 $\pm$ 0.17
25%tannin		15.55 $\pm$ 0.09	15.04 $\pm$ 0.12	3.39 $\pm$ 0.27
0%tannin	200 °C	15.19 $\pm$ 0.04	14.71 $\pm$ 0.03	3.30 $\pm$ 0.10
25%tannin		15.37 $\pm$ 0.19	14.95 $\pm$ 0.17	2.81 $\pm$ 0.10
0%tannin	220 °C	14.95 $\pm$ 0.12	14.55 $\pm$ 0.12	2.75 $\pm$ 0.03
25%tannin		15.42 $\pm$ 0.12	15.03 $\pm$ 0.10	2.60 $\pm$ 0.16

จากตารางที่ 22 พบว่าอุณหภูมิการกีดร้อนมีผลต่อร้อยละความชื้นของปาร์ติเคิลบอร์ด เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นร้อยละความชื้นของปาร์ติเคิลบอร์ดลดลงตามไปด้วย โดยปาร์ติเคิลบอร์ดทั้งหมดมีค่าร้อยละความชื้นน้อยกว่า 4% ซึ่งถือว่าต่ำกว่าที่มาตรฐานกำหนด

4.3.4 ค่า MOR และ ค่า MOE



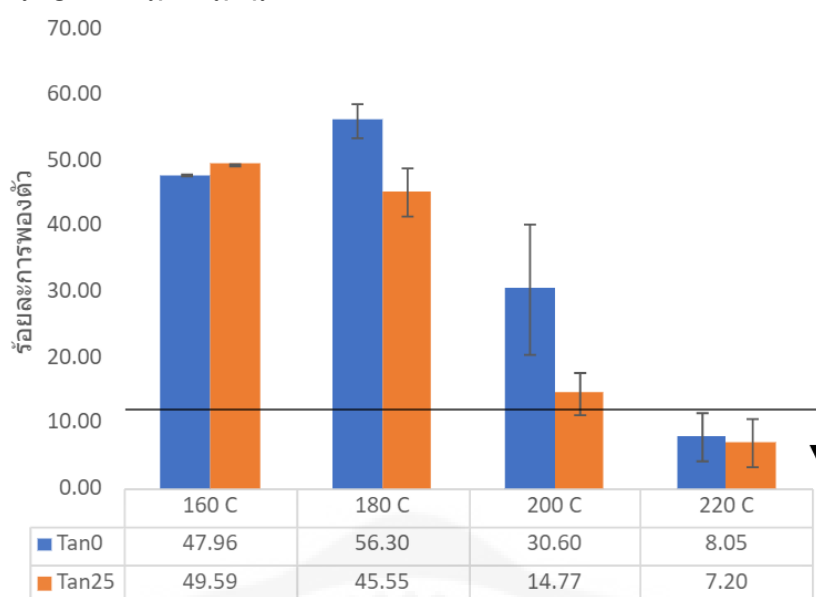
รูปที่ 43 แสดงค่า MOR ของปาร์ติเคิลบอร์ด (โดยสีฟ้า คือ 0% แทนนิน และสีส้ม คือ 25% แทนนิน)



รูปที่ 44 แสดงค่า MOE ของปาร์ติเคิลบอร์ด (โดยสีฟ้า คือ 0% แทนนิน และสีส้ม คือ 25% แทนนิน)

จากรูปที่ 43 และ 44 จะเห็นว่าปาร์ติเคิลบอร์ดที่ขึ้นรูปด้วยกาวยูโรส/ซีตริก/แทนนิน สัดส่วน 75/25/25 อุณหภูมิการกดร้อนที่ 200 องศาเซลเซียส มีค่า MOR และ ค่า MOE คือ 26.46 MPa และมีค่า MOE สูงที่สุด คือ 7.53 GPa ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของคุณ Zhongyuan Zhao และ Kenji Umemura ที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับอุณหภูมิการอัดขึ้นรูปที่สูงขึ้น พบว่าอุณหภูมิส่งผลต่อความแข็งแรงของปาร์ติเคิลบอร์ด โดยเมื่อให้อุณหภูมิสูงขึ้น ค่า MOR และค่า MOE สูงขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าอุณหภูมิการอัดขึ้นรูปที่เหมาะสมที่สุดคือ 200 องศาเซลเซียส

4.3.5 การพองตัวตามความหนา

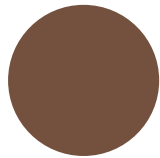
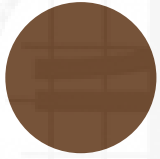
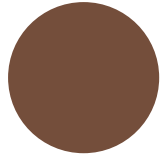
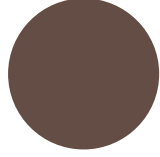
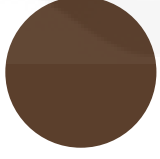
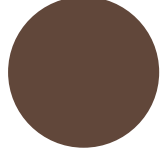
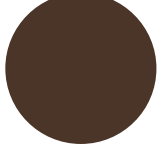
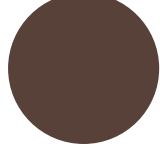


รูปที่ 45 แสดงถึงร้อยละการพองตัวตามความหนาของปาร์ติเคิลบอร์ด

จากรูปที่ 45 พบว่าการซูโครส/ซีตริก/แทนนิน สัดส่วน 75/25/25 ที่อุณหภูมิการอัดที่ 200 องศาเซลเซียส ร้อยละการพองตัวตามความหนา มีค่าเท่ากับ 14.77% ซึ่งยังไม่ผ่านตามมาตรฐาน มอก. 876-2004 แต่ที่อุณหภูมิการอัดที่ 220 องศาเซลเซียส ร้อยละการพองตัวตามความหนา มีค่าลดลงเท่ากับ 7.20% ซึ่งผ่านตามมาตรฐาน มอก. 876-2004 จึงสรุปได้ว่าเมื่ออุณหภูมิการอัดสูงขึ้น ร้อยละการพองตัวตามความหนา มีแนวโน้มลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ คุณ Mohammed Hakkou และคณะ. (2005)⁽⁴⁸⁾ ที่ได้ศึกษาการให้ความร้อนกับไม้ พบว่าเมื่อให้อุณหภูมิสูงขึ้น การพองตัวตามความหนาจะลดลงเนื่องจาก ไม้ที่มีคุณสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic) ซึ่งเมื่อมีการให้ความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 130 °C - 160 °C เซลลูโลสจะมีการเปลี่ยนแปลง ทำให้เริ่มมีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นกว่า 160 °C จะทำให้ไม้ต้านทานน้ำมากขึ้น

4.3.6 การวัดสี

ตารางที่ 23 แสดงค่า L^* , a^* และ b^* ของปาร์ติเคิลบอร์ดที่ใช้อุณหภูมิต่างกัน

ค่าที่วัด/ประเภท			เครื่องมือ					
Photoshop			เครื่องวัดสี					
<u>0%Tan 180 °C</u>			สีที่ได้				สีที่ได้	
	ด้านสีอ่อน	ด้านสีเข้ม	ด้านสีอ่อน	ด้านสีเข้ม	ด้านสีอ่อน	ด้านสีเข้ม	ด้านสีอ่อน	ด้านสีเข้ม
L*	45.55 ± 2.09	35.36 ± 1.34			44.38 ± 2.10	38.53 ± 2.25		
a*	17.40 ± 1.96	15.50 ± 1.75			15.50 ± 0.52	14.40 ± 1.35		
b*	33.40 ± 3.25	29.88 ± 2.95			23.50 ± 1.10	19.38 ± 2.33		
<u>25%Tan 180°C</u>								
L*	36.20 ± 1.40				38.10 ± 0.87			
a*	12.40 ± 4.13				11.89 ± 0.25			
b*	19.41 ± 0.91				17.28 ± 0.35			
<u>0%Tan 200 °C</u>								
L*	35.72 ± 2.66				37.17 ± 2.14			
a*	12.32 ± 2.62				13.12 ± 0.39			
b*	22.35 ± 2.46				17.81 ± 1.53			
<u>25%Tan 200 °C</u>								
L*	34.37 ± 0.62				35.23 ± 1.93			
a*	8.83 ± 2.21				8.01± 1.32			
b*	14.73 ± 3.74				9.13 ± 1.26			
<u>0%Tan 220 °C</u>								
L*	29.52 ± 4.32				32.82 ± 0.64			
a*	9.80 ± 1.16				9.13 ± 0.48			
b*	16.34 ± 7.61				12.46 ± 0.48			
<u>25%Tan 220 °C</u>								
L*	24.67 ± 1.41				29.73 ± 1.72			
a*	7.83 ± 2.49				7.83 ± 0.64			
b*	12.01 ± 8.02				8.82 ± 1.41			

จากตารางที่ 23 พบว่าปริมาณของแทนนินมีผลต่อความเข้มของปาร์ติเคิลบอร์ด เมื่อใช้
อุณหภูมิในการอัดสูงขึ้น ความสว่างของแผ่นปาร์ติเคิลบอร์ดจะลดลง ส่งผลให้สีของแผ่นปาร์ติเคิลบอร์ดเข้มขึ้น

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่าสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการสังเคราะห์กาวซูโครส/ซิตริก/แทนนิน คือ 75/25/25 และอุณหภูมิการอัดขึ้นรูปที่เหมาะสมที่สุดคือ 200 องศาเซลเซียส โดยใช้ความดัน 4 MPa เวลา 2 นาที 2 MPa เวลา 2 นาที และ 1 MPa เวลา 2 นาที โดยมีค่า MOR คือ 26.46 MPa และมีค่า MOE คือ 7.53 GPa และเมื่ออุณหภูมิการอัดเพิ่มขึ้นจะทำให้ร้อยละการพองตัวตามความหนาและร้อยละความชื้นลดลงอีกด้วย นอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของปริมาณแทนนินส่งผลให้แสงสว่างของปาร์ติเคิลบอร์ดลดลง ดังนั้นการเติมแทนนินที่สกัดจากใบหูกวางในกาวซูโครส/ซิตริก สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการยึดติดของกาวสำหรับขึ้นรูปปาร์ติเคิลบอร์ดจากขี้เลื่อยได้ อีกทั้งยังเป็นกาวที่มีความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาต่อมีดังนี้

1. ควรมีการศึกษาและวัดความหนืดของกาวในแต่ละสัดส่วน
2. ควรมีอุปกรณ์หรือเครื่องมือในการพ่นกาวที่แม่นยำมากขึ้น เพื่อให้กาวจะได้ถูกพ่นลงบนขี้เลื่อยได้ทั่วถึงกันมากขึ้นและลดการเกาะกลุ่มของกาวหรือข้อผิดพลาดที่จะเกิดขึ้น
3. ควรมีการศึกษาว่าแทนนินที่สกัดจากใบหูกวางเป็นแทนนินชนิดใด
4. ควรทำ Freeze Dry ก่อนนำไปวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีด้วย DSC เพื่อลดการเกิดฟิสิกของน้ำ

บรรณานุกรม

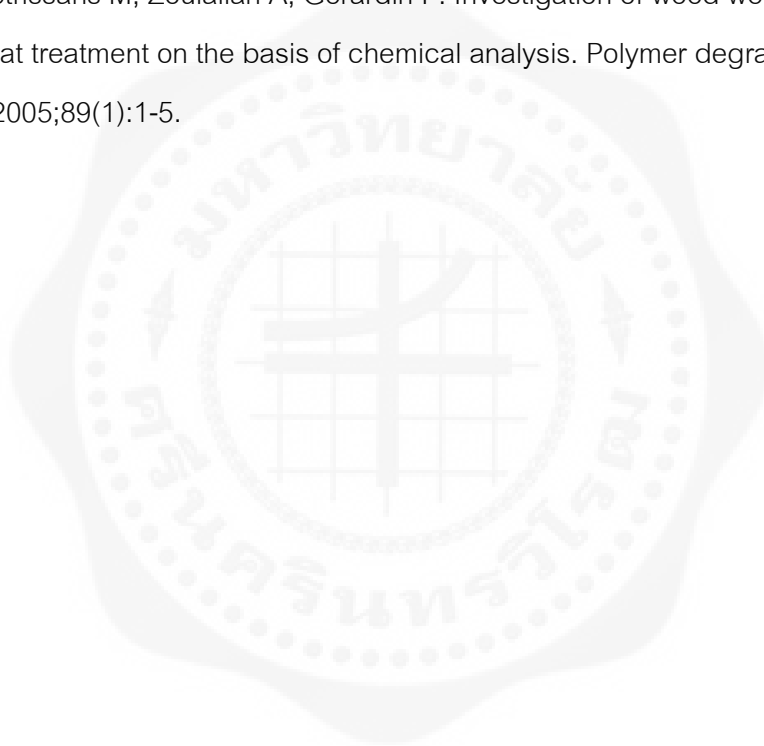
1. ศูนย์สารสนเทศการเจรจาการค้าระหว่างประเทศ กรมเจรจาการค้าระหว่างประเทศ. สถานการณ์การส่งออกเฟอร์นิเจอร์และชิ้นส่วนของไทยในปี 2563. [อินเทอร์เน็ต]. 2564 [เข้าถึงได้จาก: <https://api.dtn.go.th/files/v3/60628befef414015cf1de295/download>]
2. Ferdosian F, Pan Z, Gao G, Zhao B. Bio-based adhesives and evaluation for wood composites application. *Polymers (Basel)*. 2017;9(2). สิ่งพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์ 2017/02/17.
3. Umemura K, Inoue A, Kawai S. Development of new natural polymer-based wood adhesives i: Dry bond strength and water resistance of konjac glucomannan, chitosan, and their composites. *Journal of Wood Science*. 2003;49(3):221-6.
4. Umemura K, Sugihara O, Kawai S. Investigation of a new natural adhesive composed of citric acid and sucrose for particleboard. *Journal of wood science*. 2013;59(3):203-8.
5. Zhao Z, Umemura K. Investigation of a new natural particleboard adhesive composed of tannin and sucrose. *Journal of Wood Science*. 2014;60(4):269-77.
6. Zhao Z, Umemura K, Kanayama K. Effects of the addition of citric acid on tannin-sucrose adhesive and physical properties of the particleboard. *BioResources*. 2016;11(1):1319-33.
7. Kim S, Kim H-J. Curing behavior and viscoelastic properties of pine and wattle tannin-based adhesives studied by dynamic mechanical thermal analysis and ft-ir-atr spectroscopy. *Journal of adhesion science and technology*. 2003;17(10):1369-83.
8. Eterno Teixeira D, do Carmo Pereira D, Diniz Nakamura AP, Silva Brum S. Adhesivity of bio-based anhydrous citric acid, tannin-citric acid and ricinoleic acid in the properties of formaldehyde-free medium density particleboard (mdp). *Wood Industry/Drvna Industrija*. 2020;71(3).
9. พรพิมล พิมลรัตน์, นิรุติ หวังชัย, สุพันธ์ณี สุวรรณภักดี, และพัชรวาลย์ ศรยะศักดิ์. เอกสารประกอบการอบรมสารสกัดแทนนินจากใบหูกวาง: วิธีการเตรียมอย่างง่ายและการประยุกต์ใช้ในพลาสติกชีวภาพ. 2560.
10. จินากานต์ อักษร. การพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัดชุดโครสกลูโคสและฟรุคโทสแบบกระดาษสำหรับอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาล. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี; 2019.
11. Lee SH, Md Tahir P, Lum WC, Tan LP, Bawon P, Park B-D, และคณะ. A review on citric acid as green modifying agent and binder for wood. *Polymers*. 2020;12(8):1692.

12. โครงการเพิ่มศักยภาพฐานข้อมูลอุตสาหกรรมฐานชีวภาพ. รายละเอียดข้อมูลสารเคมีชีวภาพประเภทกรดซิตริก (citric acid) [อินเทอร์เน็ต]. [เข้าถึงได้จาก:
http://asp.plastics.or.th:8001/files/article_file/20181016080559u.pdf
13. นิตยสารชีวจิต. แทนนิน [อินเทอร์เน็ต]. 2549 [เข้าถึงได้จาก:
<https://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B9%81%E0%B8%97%E0%B8%99%E0%B8%99%E0%B8%B4%E0%B8%99>
14. Siamchemi. แทนนิน (tannin) [อินเทอร์เน็ต]. [เข้าถึงได้จาก:
<https://www.siamchemi.com/%E0%B9%81%E0%B8%97%E0%B8%99%E0%B8%99%E0%B8%B4%E0%B8%99/>
15. BurdĚjová L, Moravcová D, Strouhalová D, Lunerová K. Pressurized water extraction—the fast and efficient method for isolation of bioactive proteins from viscum album leaves. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*. 2021;195:113850.
16. . Natural dye extraction from teak leaves (tectona grandis) using ultrasound assisted extraction method for dyeing on cotton fabric. *MATEC Web of Conferences*; 2018: EDP Sciences.
17. . Preliminary study: Kinetics of oil extraction from sandalwood by microwave-assisted hydrodistillation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*; 2016: IOP Publishing.
18. Motlagh SR, Elgharbawy AA, Khezri R, Harun R, Omar R. Ionic liquid-based microwave-assisted extraction of protein from nanochloropsis sp. *Biomass. Biomass Conversion and Biorefinery*. 2021:1-12.
19. Su L, Deng Y, Chen N, Zhang X, Huang T. Infrared-assisted extraction followed by high performance liquid chromatography to determine angoroside c, cinnamic acid, and harpagoside content in scrophularia ningpoensis. *BMC complementary and alternative medicine*. 2019;19(1):1-7.
20. De Castro ML, Priego-Capote F. Soxhlet extraction: Past and present panacea. *Journal of chromatography A*. 2010;1217(16):2383-9.
21. Puah C, Choo Y, Ma A, Chuah C. Supercritical fluid extraction of palm carotenoids. *American Journal of Environmental Science*. 2005;1(4):264-9.

22. Valladares-Diestra K, de Souza Vandenberghe LP, Soccol CR. Oilseed enzymatic pretreatment for efficient oil recovery in biodiesel production industry: A review. *BioEnergy Research*. 2020;13(4):1016-30.
23. Cuong DX, Hoan NX, Dong DH, Thuy LTM, Van Thanh N, Ha HT, และคณะ. Tannins: Extraction from plants. Tannins-Structural properties, Biological Properties and Current Knowledge. 2019.
24. Wina E, Susana IW, Tangendjaja B. Biological activity of tannins from acacia mangium bark extracted by different solvents. *Media Peternakan*. 2010;33(2):103-.
25. Setianingsih NI. Extraction process for reducing tannin of mangrove fruit [*bruguiera gymnorhiza* (Lamarck, 1798)] as a raw material for food flour. *Aquatic Procedia*. 2016;7:231-5.
26. Kamarudin NA, Markom M, Latip J. Effects of solvents and extraction methods on herbal plants *phyllanthus niruri*, *orthosiphon stamineus* and *labisia pumila*. *Indian Journal of Science and Technology*. 2016;9(21):3-7.
27. Barrau E, Fabre N, Fouraste I, Hoste H. Effect of bioactive compounds from sainfoin (*onobrychis viciifolia* scop.) on the in vitro larval migration of *haemonchus contortus*: Role of tannins and flavonol glycosides. *Parasitology*. 2005;131(4):531-8.
28. . Extraction of tannin from oil palm empty fruit bunch as a rust deactivator. *Regional Symposium on Chemical Engineering*; 2005: Citeseer.
29. Baaka N, Ammar M, Saad M, Khiari R. Properties of tannin-glyoxal resins prepared from lyophilized and condensed tannin. *J Text Eng Fash Technol*. 2017;3:705-11.
30. สมจิตนา พุทรมาศย์ และ วรวิทย์ สุวรรณสาร. การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของใบหูกวาง (*terminalia catappa* L.) และผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำและการยับยั้งแบคทีเรียในน้ำ.
31. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 876-2547 (Thai Industrial Standard). แผ่นขึ้นไม้อัดชนิดอัดราบ. 2547;121:1-2.
32. ทศพร โพธิ์เนียม. การผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดจากต้นอูปลาและการประยุกต์ใช้สำหรับงานประดิษฐ์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์; 2559.
33. Zhao Z, Umemura K. Investigation of a new natural particleboard adhesive composed of tannin and sucrose. 2. Effect of pressing temperature and time on board properties, and characterization of adhesive. *Bioresources*. 2015;10(2):2444-60.

34. Widyorini R, Nugraha PA, Rahman MZA, Prayitno TA. Bonding ability of a new adhesive composed of citric acid-sucrose for particleboard. *BioResources*. 2016;11(2):4526-35.
35. Teixeira DE, do Carmo Pereira D, Diniz Nakamura AP, Brum SS. Adhesivity of bio-based anhydrous citric acid, tannin-citric acid and ricinoleic acid in the properties of formaldehyde-free medium density particleboard (mdp). *Drvna industrija: Znanstveni Časopis za pitanja drvne tehnologije*. 2020;71(3):235-42.
36. Sun S, Zhao Z. Influence of acid on the curing process of tannin-sucrose adhesives. *BioResources*. 2018;13(4):7683-97.
37. Kusumah SS, Arinana A, Hadi YS, Guswenrivo I, Yoshimura T, Umemura K, และคณะ. Utilization of sweet sorghum bagasse and citric acid in the manufacturing of particleboard. Iii: Influence of adding sucrose on the properties of particleboard. *BioResources*. 2017;12(4):7498-514.
38. Faria DL, Lopes TA, Mendes LM, Guimarães JB. Valorization of wood shavings waste for the production of wood particulate composites. *Matéria (Rio de Janeiro)*. 2020;25.
39. Thongnuanchan B, Nokkaew K, Kaesaman A, Nakason C. Epoxidized natural rubber-bonded para rubber wood particleboard. *Polymer Engineering & Science*. 2007;47(4):421-8.
40. . Surface modification of eco-friendly particleboard made from sorghum bagasse and citric acid sucrose adhesive. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*; 2020: IOP Publishing.
41. Kevin EI, Ochanya OM, Olukemi AM, Bwanhot STN, Uche I. Mechanical properties of urea formaldehyde particle board composite. *American Journal of Chemical and Biochemical Engineering*. 2018;2(1):10-5.
42. Fagbemi OD, Andrew JE, Sithole B. Beneficiation of wood sawdust into cellulose nanocrystals for application as a bio-binder in the manufacture of particleboard. *Biomass Conversion and Biorefinery*. 2021:1-12.
43. Del Menezzi C, Amirou S, Pizzi A, Xi XD, Delmotte L. Reactions with wood carbohydrates and lignin of citric acid as a bond promoter of wood veneer panels. *Polymers*. 2018;10(8).
44. Zhao ZY, Umemura K. Investigation of a new natural particleboard adhesive composed of tannin and sucrose. *J Wood Sci*. 2014;60(4):269-77.

45. Zhao ZY, Umemura K. Investigation of a new natural particleboard adhesive composed of tannin and sucrose. 2. Effect of pressing temperature and time on board properties, and characterization of adhesive. *Bioresources*. 2015;10(2):2444-60.
46. Zhao ZY, Umemura K, Kanayama K. Effects of the addition of citric acid on tannin-sucrose adhesive and physical properties of the particleboard. *Bioresources*. 2016;11(1):1319-33.
47. Teixeira DE, Pereira DD, Nakamura APD, Brum SS. Adhesivity of bio-based anhydrous citric acid, tannin-citric acid and ricinoleic acid in the properties of formaldehyde free medium density particleboard (mdp). *Drvna Industrija*. 2020;71(3):235-42.
48. Hakkou M, Pétrissans M, Zoulalian A, Gérardin P. Investigation of wood wettability changes during heat treatment on the basis of chemical analysis. *Polymer degradation and stability*. 2005;89(1):1-5.



ภาคผนวก ก

ตารางข้อมูลการทดลองอื่นๆ



ภาคผนวก ก
ตารางข้อมูลการทดลองอื่น ๆ

การสกัดแทนนิน

ตารางภาคผนวกที่ 1 ปริมาณแทนนินที่สกัดได้จากใบหูกวาง

ประเภท	ครั้งที่	ค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 760 nm	ปริมาณแทนนิน	สารสกัดแทนนิน (%(w/w))	ค่าเฉลี่ย
กรองแก้ว	1	0.424	71.88	72.67	70.10
	2	0.442	74.93		
	3	0.420	71.20		
กรองแก้ว	1	0.430	72.89	70.68	
	2	0.430	72.89		
	3	0.391	66.28		
Centrifuge	1	0.399	67.64	66.96	
	2	0.412	69.84		
	3	0.374	63.40		

ขึ้นรูปปาร์ติเคิลบอร์ดตอนที่ 1

ตารางภาคผนวกที่ 2 แสดงขนาดของปาร์ติเคิลบอร์ด

ตัวอย่าง	แผ่นที่	ความกว้าง (mm.)	ความยาว (mm.)	ความหนา (mm.)
Control	1	60.0	75.4	5.07
	1	60.2	75.1	3.27
	2	60.2	75.1	3.37
Tan0	3	60.1	75.1	3.33
	1	60.2	75.2	3.36
	2	60.1	75.1	3.41
Tan25	3	60.1	75.2	3.43
	1	60.2	75.1	3.35
	2	60.0	75.1	3.41
Tan50	3	60.0	75.1	3.34
	1	60.0	75.5	3.66
	2	60.0	75.3	3.59
Tan75	3	60.1	75.4	3.69

ตารางภาคผนวกที่ 3 แสดงความหนาแน่นของปาร์ติเคิลบอร์ด

ตัวอย่าง	แผ่นที่	ปริมาตร (mm ³)	น้ำหนัก (g)	ความหนาแน่น (kg/m ³)
Control	1	22936.7	14.41	628.25
Tan0	1	14783.7	15.27	1032.89
	2	15235.8	15.64	1026.53
	3	15030.0	15.41	1025.28
Tan25	1	15210.9	15.89	1044.65
	2	15391.1	15.97	1037.61
	3	15502.0	16.06	1036.00
Tan50	1	15145.4	15.67	1034.64
	2	15365.5	15.84	1030.88
	3	15050.0	15.68	1041.86
Tan75	1	16579.8	16.19	976.49
	2	16219.6	16.34	1007.42
	3	16721.4	16.4	980.78

ตารางภาคผนวกที่ 4 แสดงร้อยละความชื้นของปาร์ติเคิลบอร์ด

ประเภท	ลำดับ	น้ำหนัก	น้ำหนักหลังอบ	%ความชื้น	ค่าเฉลี่ย
Control	1	14.41	13.90	3.67	3.67
0%tannin	1	15.27	14.73	3.67	3.53
	2	15.64	15.13	3.37	
	3	15.41	14.88	3.56	
25%tannin	1	15.89	15.36	3.45	3.50
	2	15.97	15.44	3.43	
	3	16.06	15.50	3.61	
50%tannin	1	15.67	15.16	3.36	3.33
	2	15.84	15.32	3.39	
	3	15.68	15.19	3.23	
75%tannin	1	16.19	15.63	3.58	3.66
	2	16.34	15.76	3.68	
	3	16.40	15.81	3.73	

ตารางภาคผนวกที่ 5 แสดงค่า MOR ของปาร์ติเคิลบอร์ด

ลำดับ	ค่า MOR (MPa)					
	Control	0%tannin	25%tannin	50%tannin	75%tannin	100%tannin
1	0.45	20.58	31.88	27.23	23.82	-
2		25.52	28.19	23.91	26.67	-
3		22.58	26.44	24.71	24.76	-
ค่าเฉลี่ย	0.45	22.58	28.84	25.28	25.08	-

หมายเหตุ : ค่า MOR นี้ยังไม่ตัดแผ่นไม้ที่มีค่า error

ตารางภาคผนวกที่ 6 แสดงค่า MOE ของปาร์ติเคิลบอร์ด

ลำดับ	ค่า MOE (GPa)					
	Control	0%tannin	25%tannin	50%tannin	75%tannin	100%tannin
1	0.05	4.39	5.38	6.44	4.75	-
2		4.92	6.37	6.58	3.30	-
3		5.49	4.79	5.95	9.35	-
ค่าเฉลี่ย	0.05	4.93	5.09	6.32	4.02	-

หมายเหตุ : ค่า MOE นี้ยังไม่ตัดแผ่นไม้ที่มีค่า error

ตารางภาคผนวกที่ 7 แสดงค่าการพองตัวตามความหนาของปาร์ติเคิลบอร์ด

Thickness swelling	แผ่นที่	ความหนาก่อนแช่ (mm.)				ความหนาหลังแช่ (mm.)				ร้อยละการพองตัว	เฉลี่ยจากการรวมแผ่น (ร้อยละ)
		จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	ค่าเฉลี่ย	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	ค่าเฉลี่ย		
Control	1.1	5.19	5.1	5.15	5.15	-	-	-	-	-100.00	-100.00
	1.2	4.94	5.08	4.97	5.00	-	-	-	-	-100.00	
Tan0	1.1	3.26	3.21	3.21	3.23	4.87	4.69	5.29	4.95	53.41	48.83
	1.2	3.22	3.45	3.25	3.31	4.7	4.71	4.9	4.77	44.25	
	2.1	3.44	3.33	3.26	3.34	5.26	4.85	5.3	5.14	53.64	49.24
	2.2	3.43	3.32	3.42	3.39	5.12	4.95	4.66	4.91	44.84	
	3.1	3.33	3.35	3.31	3.33	4.86	4.77	4.97	4.87	46.15	45.82
	3.2	3.35	3.33	3.32	3.33	4.88	4.69	4.98	4.85	45.50	
Tan25	1.1	3.37	3.29	3.26	3.31	4.88	4.78	4.97	4.88	47.48	47.79
	1.2	3.36	3.44	3.45	3.42	5.04	5.07	5.07	5.06	48.10	
	2.1	3.41	3.45	3.37	3.41	5.01	4.95	5.05	5.00	46.73	50.27
	2.2	3.45	3.37	3.38	3.40	5.08	5.16	5.45	5.23	53.82	
	3.1	3.43	3.46	3.5	3.46	4.95	5.05	5.29	5.10	47.16	50.71
	3.2	3.45	3.44	3.3	3.40	5.28	5.2	5.24	5.24	54.27	
Tan50	1.1	3.45	3.37	3.22	3.35	5.11	5.25	5.04	5.13	53.39	51.05
	1.2	3.38	3.43	3.23	3.35	4.98	4.82	5.13	4.98	48.71	
	2.1	3.51	3.62	3.33	3.49	4.79	4.88	5.05	4.91	40.73	47.79
	2.2	3.27	3.32	3.4	3.33	5.12	4.98	5.37	5.16	54.85	
	3.1	3.43	3.26	3.29	3.33	4.7	4.61	5.48	4.93	48.20	54.07
	3.2	3.4	3.21	3.45	3.35	5.26	5.35	5.48	5.36	59.94	
Tan75	1.1	3.61	3.6	3.58	3.60	5.87	5.57	5.83	5.76	60.06	52.18
	1.2	3.61	3.79	3.75	3.72	5.64	5.2	5.25	5.36	44.30	
	2.1	3.52	3.7	3.52	3.58	5.69	5.71	5.76	5.72	59.78	59.71
	2.2	3.57	3.67	3.54	3.59	5.66	5.49	6.06	5.74	59.65	
	3.1	3.55	3.73	3.73	3.67	5.63	5.73	5.64	5.67	54.41	53.64
	3.2	3.61	3.77	3.72	3.70	5.8	5.32	5.85	5.66	52.88	

ตารางภาคผนวกที่ 8 แสดงค่า L^* , a^* และ b^* ของแผ่นปาร์ติเคิลบอร์ด

ค่าที่วัด/ประเภท	ระบบวิเคราะห์เชิงภาพถ่าย(Photoshop)		
	1	2	3
Control			
L^*	60.25	-	-
a^*	12.38		
b^*	30.13		
Tan25			
L^*	45.78	44.74	42.75
a^*	15.54	14.96	12.51
b^*	36.17	32.95	35.90
Tan50			
L^*	35.00	30.16	35.68
a^*	13.40	15.66	15.03
b^*	25.71	23.96	18.50
Tan75			
L^*	32.84	34.65	31.35
a^*	15.28	15.57	16.08
b^*	30.75	27.20	28.43

การขึ้นรูปปาร์ติเคิลบอร์ดตอนที่ 2

ตารางภาคผนวกที่ 9 แสดงขนาดของปาร์ติเคิลบอร์ด

ตัวอย่าง	แผ่นที่	ความกว้าง (mm.)	ความยาว (mm.)	ความหนา (mm.)
0%tannin 180 °C	1	60.2	75.0	3.36
	2	60.1	75.0	3.23
	3	60.3	75.1	3.32
25%tannin 180 °C	1	60.2	75.0	3.36
	2	60.2	75.2	3.57
	3	60.3	75.1	3.42
0%tannin 200 °C	1	60.2	75.0	3.11
	2	60.2	75.2	3.11
	3	60.4	75.1	3.13
25%tannin 200 °C	1	60.2	75.0	3.36
	2	60.3	75.2	3.37
	3	60.1	75.0	3.34
0%tannin 220 °C	1	60.2	75.0	3.37
	2	60.2	75.1	3.34
	3	60.2	75.1	3.13
25%tannin 220 °C	1	60.1	75.0	3.36
	2	60.0	75.0	3.49
	3	60.2	75.2	3.21

ตารางภาคผนวกที่ 10 แสดงความหนาแน่นของปาร์ติเคิลบอร์ด

ตัวอย่าง	แผ่นที่	ปริมาตร (mm ³)	น้ำหนัก (g)	ความหนาแน่น (kg/m ³)
0%tannin 180 °C	1	15170	15.16	999.31
	2	14559	15.21	1044.70
	3	15035	15.33	1019.64
25%tannin 180 °C	1	15170	15.05	992.06
	2	16162	15.33	948.55
	3	15488	15.18	980.14
0%tannin 200 °C	1	14042	14.88	1059.70
	2	14079	14.96	1062.57
	3	14198	14.97	1054.39
25%tannin 200 °C	1	15170	15.04	991.40
	2	15281	15.32	1002.52
	3	15055	14.88	988.37
0%tannin 220 °C	1	15216	14.82	974.00
	2	15100	14.65	970.19
	3	14151	14.62	1033.16
25%tannin 220 °C	1	15145	15.06	994.37
	2	15705	15.15	964.66
	3	14532	15.25	1049.42

ตารางภาคผนวกที่ 11 แสดงน้ำหนักก่อน/หลังอบ และเปอร์เซ็นต์ความชื้นของปาร์ติเคิลบอร์ด

ประเภท	ลำดับ	น้ำหนักก่อนอบ	น้ำหนักหลังอบ	%ความชื้น	ค่าเฉลี่ย
0%tannin 180 °C	1	15.43	14.85	3.91	3.98
	2	15.48	14.86	4.17	
	3	15.6	15.02	3.86	
25%tannin 180 °C	1	15.46	14.91	3.69	3.39
	2	15.63	15.15	3.17	
	3	15.55	15.05	3.32	
0%tannin 200 °C	1	15.15	14.68	3.20	3.30
	2	15.2	14.7	3.40	
	3	15.23	14.74	3.32	
25%tannin 200 °C	1	15.29	14.87	2.82	2.81
	2	15.59	15.15	2.90	
	3	15.24	14.84	2.70	
0%tannin 220 °C	1	15.09	14.69	2.72	2.75
	2	14.91	14.51	2.76	
	3	14.86	14.46	2.77	
25%tannin 220 °C	1	15.31	14.95	2.41	2.60
	2	15.41	15.01	2.66	
	3	15.55	15.14	2.71	

ตารางภาคผนวกที่ 12 แสดงค่า MOR ของรพาร์ติเคิลบอร์ด

ลำดับ	ค่า MOR (MPa)					
	0%tannin	25%tannin	0%tannin	25%tannin	0%tannin	25%tannin
	180 °C	180 °C	200 °C	200 °C	220 °C	220 °C
1	21.05	22.61	34.54	36.59	30.45	31.89
2	26.33	19.65	24.77	25.33	31.31	27.93
3	25.31	17.21	23.31	27.58	34.61	32.23
ค่าเฉลี่ย	24.23	19.82	27.54	29.83	32.12	30.68
sd	2.80	2.70	6.11	5.96	2.20	2.39
%error	11.56	13.64	22.17	19.97	6.84	7.79

ตารางภาคผนวกที่ 13 แสดงค่า MOE ของรพาร์ติเคิลบอร์ด

ลำดับ	ค่า MOE (GPa)					
	0%tannin	25%tannin	0%tannin	25%tannin	0%tannin	25%tannin
	180 °C	180 °C	200 °C	200 °C	220 °C	220 °C
1	4.218	5.55	6.10	7.11	8.92	5.17
2	5.401	4.46	5.30	5.81	3.52	3.87
3	5.16	4.18	4.08	7.96	5.42	5.78
ค่าเฉลี่ย	4.93	4.73	5.16	6.96	5.95	4.94
sd	0.63	0.73	1.02	1.08	2.74	0.98
%error	12.69	15.35	19.74	15.59	46.01	19.73

ตารางภาคผนวกที่ 14 แสดงร้อยละการพองตัวตามความหนา

Thickness swelling	แผ่นที่	ความหนาก่อนแช่				ความหนาหลังแช่				ร้อยละการพองตัว
		จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	ค่าเฉลี่ย	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
0% Tannin 180 C	1.1	3.37	3.32	3.11	3.27	5.12	5.09	5.00	5.07	55.20
	1.2	3.45	3.32	3.27	3.35	5.15	5.17	5.35	5.22	56.08
	2.1	3.18	3.16	3.27	3.20	5.04	4.92	5.09	5.02	56.61
	2.2	3.28	3.32	3.40	3.33	5.46	5.06	5.48	5.33	60.00
	3.1	3.26	3.26	3.32	3.28	5.20	4.69	5.11	5.00	52.44
	3.2	3.43	3.41	3.51	3.45	5.46	5.29	5.55	5.43	57.49
25% Tannin 180 C	1.1	3.39	3.41	3.55	3.45	5.67	4.63	5.11	5.14	48.89
	1.2	3.29	3.36	3.49	3.38	5.07	4.63	5.24	4.98	47.34
	2.1	3.40	3.54	3.58	3.51	5.10	4.81	5.02	4.98	41.92
	2.2	3.52	3.61	3.72	3.62	5.29	5.15	5.62	5.35	48.02
	3.1	3.28	3.29	3.28	3.28	4.68	4.93	4.89	4.83	47.21
	3.2	3.38	3.31	3.30	3.33	4.57	4.58	4.83	4.66	39.94
0% Tannin 200 C	1.1	3.32	3.14	3.04	3.17	3.66	3.64	3.88	3.73	17.68
	1.2	3.23	3.1	3.01	3.11	3.99	3.56	3.89	3.81	22.48
	2.1	3.16	3.15	3.15	3.15	4.11	3.94	3.89	3.98	26.22
	2.2	3.10	3.05	3.11	3.09	4.41	4.10	4.27	4.26	38.01
	3.1	3.15	3.17	3.21	3.18	4.45	4.24	4.28	4.32	36.10
	3.2	3.10	3.11	3.16	3.12	4.55	4.11	4.75	4.47	43.12
25% Tannin 200 C	1.1	3.22	3.25	3.34	3.27	3.88	3.70	3.88	3.82	16.82
	1.2	3.31	3.27	3.19	3.26	3.62	3.79	3.40	3.60	10.64
	2.1	3.10	3.26	3.35	3.24	3.96	3.79	3.84	3.86	19.36
	2.2	3.23	3.33	3.45	3.34	3.81	3.66	3.73	3.73	11.89
	3.1	3.40	3.27	3.17	3.28	3.78	3.67	3.88	3.78	15.14
	3.2	3.15	3.21	3.31	3.22	3.78	3.48	3.84	3.70	14.79
0% Tannin 220 C	1.1	3.06	3.12	3.15	3.11	3.25	3.25	3.34	3.28	5.47
	1.2	3.08	3.12	3.21	3.14	3.36	3.18	3.32	3.29	4.78
	2.1	3.19	3.26	3.34	3.26	3.61	3.77	3.80	3.73	14.20
	2.2	3.27	3.33	3.44	3.35	3.61	3.57	3.89	3.69	10.26
	3.1	3.13	3.17	3.24	3.18	3.41	3.38	3.51	3.43	7.97
	3.2	3.08	3.14	3.18	3.13	3.22	3.24	3.47	3.31	5.64
25% Tannin 220 C	1.1	3.49	3.32	3.23	3.35	3.80	3.49	3.68	3.66	9.26
	1.2	3.53	3.33	3.18	3.35	3.63	3.46	3.48	3.52	5.28
	2.1	3.40	3.52	3.58	3.50	3.55	3.40	3.60	3.52	0.48
	2.2	3.55	3.51	3.39	3.48	3.86	3.71	3.58	3.72	6.70
	3.1	3.24	3.15	3.08	3.16	3.47	3.28	3.28	3.34	5.91
	3.2	3.42	3.34	3.32	3.36	3.92	3.71	4.02	3.88	15.58

ตารางภาคผนวกที่ 15 แสดงค่า L^* , a^* และ b^* ของปาร์ติเคิลบอร์ด

ค่าที่วัด/ประเภท	เครื่องมือ						
	ระบบวิเคราะห์เชิงภาพถ่าย			เครื่องวัดสี			
0%Tan 180 °C	ด้านสีอ่อน						
	1	2	3	1	2	3	
	L*	43.37	45.74	47.54	43.83	46.70	42.60
	a*	18.01	15.20	18.98	15.60	14.93	15.97
	b*	30.16	33.38	36.67	23.27	24.70	22.53
	c*	-	-	-	28.07	28.90	27.57
	h	26.00	30.33	28.67	56.20	58.93	54.67
0%Tan 180 °C	ด้านสีเข้ม						
	1	2	3	1	2	3	
	L*	33.85	35.86	36.38	38.70	40.70	36.20
	a*	15.54	17.23	13.74	14.13	15.87	13.20
	b*	28.15	33.29	28.20	20.13	21.23	16.77
	c*	29.33	30.33	29.67	24.67	26.50	21.33
	h	33.85	35.86	36.38	54.97	53.20	51.73
25%Tan 180 °C	1	2	3	1	2	3	
L*	35.15	35.65	37.78	34.83	37.63	39.03	
a*	12.64	8.16	16.41	12.70	13.20	13.47	
b*	18.42	19.58	20.23	16.10	18.30	19.03	
c*	-	-	-	20.50	22.57	23.33	
h	22.67	30.33	27.00	51.73	54.20	54.70	
0%Tan 200 °C	1	2	3	1	2	3	
L*	34.38	33.99	38.78	34.83	37.63	39.03	
a*	10.32	11.36	15.29	12.70	13.20	13.47	
b*	20.80	21.06	25.18	16.10	18.30	19.03	
c*	-	-	-	20.50	22.57	23.33	
h	27.67	26.67	27.00	51.73	54.20	54.70	
25%Tan 200 °C	1	2	3	1	2	3	
L*	33.66	34.79	34.66	29.27	31.30	33.13	
a*	6.98	8.23	11.27	6.50	8.97	8.57	
b*	10.41	16.77	16.99	7.70	9.63	10.07	
c*				10.20	13.20	13.23	
h	25.67	24.67	25.00	49.50	47.10	49.37	

ตารางภาคผนวกที่ 15 (ต่อ) แสดงค่า L^* , a^* และ b^* ของปาร์ติเคิลบอร์ด

ค่าที่วัด/ประเภท	เครื่องมือ					
	ระบบวิเคราะห์เชิงภาพถ่าย			เครื่องวัดสี		
0%Tan 220 °C	1	2	3	1	2	3
L^*	35.15	35.65	37.78	34.83	37.63	39.03
a^*	12.64	8.16	16.41	12.70	13.20	13.47
b^*	18.42	19.58	20.23	16.10	18.30	19.03
c^*	-	-	-	20.50	22.57	23.33
h	22.67	30.33	27.00	51.73	54.20	54.70
25%Tan 220 °C	1	2	3	1	2	3
L^*	26.28	23.65	24.08	29.47	31.57	28.17
a^*	5.03	9.76	8.71	8.17	8.23	7.10
b^*	6.18	21.16	8.70	8.50	10.37	7.60
c^*	-	-	-	11.80	13.30	11.17
h	25.33	30.33	27.00	45.63	51.40	50.60

ภาคผนวก ข

แสดงรูปในการทดลอง อื่นๆ



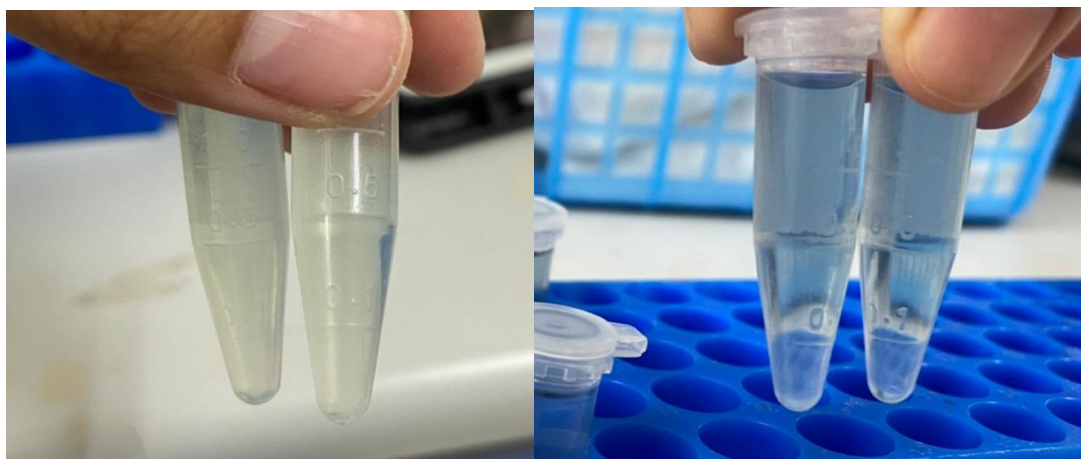
ภาคผนวก ข
รูปภาพในการทดลองอื่น ๆ



รูปภาพภาคผนวกที่ 1 ใบหูกวางบด



รูปภาพภาคผนวกที่ 2 สารสกัดแทนนินหลังอบ



รูปภาพภาคผนวกที่ 3 การวิเคราะห์ปริมาณแทนนินก่อน/หลังนำไปไว้ในที่มืด 90 นาที



รูปภาพภาคผนวกที่ 4 ความแตกต่างของสีปาร์ติเคิลบอร์ดที่อุณหภูมิต่างกัน



รูปภาพภาคผนวกที่ 5 ปาร์ติเคิลบอร์ดที่ไม่ใส่กากและใส่กากหลังแช่น้ำ 1 ชั่วโมง



รูปภาพภาคผนวกที่ 6 กาวซูโครส/ซิตริก/แทนนิน สูตร 75/25/100 ที่มีความหนืดมาก

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล พิจิตรา สรรศรี
วัน เดือน ปี เกิด 17 สิงหาคม 2543
สถานที่เกิด อุบลราชธานี
วุฒิการศึกษา พ.ศ. 2560
มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนหอวังปทุมธานี จังหวัดปทุมธานี
พ.ศ. 2564
วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ชื่อ-สกุล สุชาดา จินดาอินทร์
วัน เดือน ปี เกิด 16 มิถุนายน 2543
สถานที่เกิด ปทุมธานี
วุฒิการศึกษา พ.ศ. 2560
มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนหอวังปทุมธานี จังหวัดปทุมธานี
พ.ศ. 2564
วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ