



รายงานการวิจัย  
เรื่อง

การแปรรูปวัสดุเหลือทิ้งจากมะพร้าวเพื่อใช้ประโยชน์ในเชิงอุตสาหกรรม  
The Processing of the Wastes from Coconut for Using  
in Industrial

ผศ.ดร.ฐิตินาถ สุคนเขตร์  
ผศ.ดร.จันทร์สัจ วุฒิสัตย์วงศ์กุล  
ผศ.วันปิติ ธรรมศรี  
ผศ.ดร.ทัศนีย์ ทองก้านเหลือง  
ดร.นครินทร์ ศรีสุวรรณ  
นายกิตติศักดิ์ บัวศรี  
และคณะ

มหาวิทยาลัยสวนดุสิต

2560

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสวนดุสิต





รายงานการวิจัย  
เรื่อง

การแปรรูปวัสดุเหลือทิ้งจากมะพร้าวเพื่อใช้ประโยชน์ในเชิงอุตสาหกรรม  
The Processing of the Wastes from Coconut for Using  
in Industrial

ผศ.ดร.จิตินาถ สุขนเขตร์

ผศ.ดร.จันทร์สัจ วัฒนีสัตย์วงศ์กุล

ผศ.วันปิติ ธรรมศรี

(คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสวนดุสิต)

ผศ.ดร.ทัศนีย์ ทองก้านเหลือง

(คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี)

ดร.นครินทร์ ศรีสุวรรณ

(สถาบันนวัตกรรมเทคโนโลยีไทย-ฝรั่งเศส มจพ.)

นายกิตติศักดิ์ บัวศรี

(วิทยาลัยสารพัดช่างกาญจนบุรี)

และคณะ

มหาวิทยาลัยสวนดุสิต

2560

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสวนดุสิต

(งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณแผ่นดินด้านการวิจัย ปีงบประมาณ 2559)

หัวข้อวิจัย	การแปรรูปวัสดุเหลือทิ้งจากมะพร้าวเพื่อใช้ประโยชน์ในเชิงอุตสาหกรรม
ผู้ดำเนินการวิจัย	ผศ.ดร.ฐิตินาถ สุขคนเขตร์ ผศ.ดร.จันทร์สัจ จุฬิสัตย์วงศ์กุล ผศ.วันปิติ ธรรมศรี นายวีรชน ภูหินกอง ผศ.ดร.ทัศนีย์ ทองก้านเหลือง ดร.นครินทร์ ศรีสุวรรณ นายกิตติศักดิ์ บัวศรี
หน่วยงาน	หลักสูตรอาชีวอนามัยและความปลอดภัย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสวนดุสิต
ปี พ.ศ.	2560

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการแปรรูปวัสดุเหลือทิ้งจากมะพร้าว ได้แก่ กะลามะพร้าว และเส้นใยมะพร้าว เพื่อใช้ประโยชน์ในเชิงอุตสาหกรรม โดยการนำกะลามะพร้าวมาแปรรูปเป็น ถ่านกัมมันต์ เพื่อใช้ในการดูดซับโลหะหนักในน้ำเสียจากอุตสาหกรรม และนำเส้นใยมะพร้าวมาผลิต เป็นแผ่นใยไม้อัดจากเส้นใยมะพร้าวผสมต้นธูปฤาษี เพื่อใช้เป็นวัสดุทดแทนไม้ ในการสังเคราะห์ถ่าน กัมมันต์จะเผากะลามะพร้าวที่อุณหภูมิ อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้น กระตุ้นทางเคมีด้วยโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 1 โมลาร์ อัตราส่วนถ่านต่อสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1:3 กระตุ้นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ที่สภาวะนี้ให้ค่า ไอโอดีนนัมเบอร์สูงสุดเท่ากับ 503.45 มิลลิกรัมต่อกรัม จากการศึกษาการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม ในน้ำเสียสังเคราะห์พบว่า ถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วและแคดเมียมร้อยละ 98.33 และ 57.88 ตามลำดับ

ในการขึ้นรูปแผ่นใยไม้อัดจากเส้นใยมะพร้าวผสมต้นธูปฤาษี ใช้อัตราส่วนเส้นใยมะพร้าว:ต้นธูปฤาษี เท่ากับ 50:50 โดยน้ำหนักเส้นใยแห้ง ความหนาแน่นของแผ่นใยไม้อัด  $600 \text{ kg/m}^3$  และความหนาของแผ่นใยไม้อัด 15 mm. การขึ้นรูปแผ่นใยไม้อัดจากเส้นใยมะพร้าวผสมต้นธูปฤาษีนี้ ใช้กาวที่เป็นสารยึดติดแตกต่างกัน 2 ชนิด คือ กาวสังเคราะห์ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน (UF) และกาวสังเคราะห์ไอโซไซยาเนตเรซิน (pMDI) ที่ปริมาณ 10% จากนั้นนำแผ่นใยไม้อัดจากเส้นใยมะพร้าวผสมต้นธูปฤาษีไปทดสอบสมบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นขึ้นไม้อัดชนิดอัดราบ (มอก. 876-2547) พบว่าแผ่นใยไม้อัดจากเส้นใยมะพร้าวผสมต้นธูปฤาษีที่ใช้กาวสังเคราะห์ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน มีค่าความหนาแน่นเฉลี่ยเท่ากับ  $658.25 \pm 0.23 \text{ kg/m}^3$  ค่าความชื้นเท่ากับ  $9.38 \pm 0.31 \%$  ค่าการพองตัวตามความหนาเท่ากับ  $19.29 \pm 0.31 \%$  และมีค่าสมบัติเชิงกล คือ ค่าความต้านทานแรงดัด

เท่ากับ  $13.76 \pm 0.32$  MPa ค่ามอดุลัสยืดหยุ่นเท่ากับ  $1182 \pm 0.33$  MPa ค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าเท่ากับ  $0.38 \pm 0.33$  MPa และค่าความแข็งแรงการยึดเหนี่ยวของตะปูเกลียวด้านผิวเท่ากับ  $363.59 \pm 0.32$  N ส่วนแผ่นใยไม้อัดจากเส้นใยมะพร้าวผสมต้นรูปฤาษีที่ใช้กาวสังเคราะห์ไอโซไซยาเนตเรซิน มีค่าความหนาแน่นเฉลี่ยเท่ากับ  $669.22 \pm 0.25$  kg/m<sup>3</sup> ค่าความชื้นเท่ากับ  $8.54 \pm 0.33\%$  ค่าการพองตัวทางความหนาเท่ากับ  $12.45 \pm 0.32$  % และมีค่าสมบัติเชิงกล คือ ค่าความต้านทานแรงดัดเท่ากับ  $15.41 \pm 0.31$  MPa ค่ามอดุลัสยืดหยุ่นเท่ากับ  $1369 \pm 0.32$  MPa ค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าเท่ากับ  $0.74 \pm 0.34$  MPa และค่าความแข็งแรงการยึดเหนี่ยวของตะปูเกลียวด้านผิวเท่ากับ  $368.75 \pm 0.33$  N ซึ่งแผ่นใยไม้อัดจากเส้นใยมะพร้าวผสมต้นรูปฤาษีที่ใช้กาวทั้งสองชนิดมีสมบัติผ่านมาตรฐาน มอก. 876-2547 ยกเว้นค่ามอดุลัสยืดหยุ่นมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้คือ ไม่น้อยกว่า 1600 MPa และค่าการพองตัวตามความหนาของแผ่นใยไม้อัดจากเส้นใยมะพร้าวผสมต้นรูปฤาษีที่ใช้กาวสังเคราะห์ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน มีค่าสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้คือ ไม่เกิน 12% นอกจากนี้เมื่อนำแผ่นใยไม้อัดจากเส้นใยมะพร้าวผสมต้นรูปฤาษีไปทดสอบสมบัติเชิงความร้อนตามมาตรฐาน ASTM C 177-2010 พบว่าค่าการนำความร้อนและค่าความต้านทานความร้อนของแผ่นใยไม้อัดจากเส้นใยมะพร้าวผสมต้นรูปฤาษีที่ใช้กาวสังเคราะห์ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน เท่ากับ  $0.045$  w/m.k และ  $0.1574$  m<sup>2</sup>.k/w ตามลำดับ ส่วนแผ่นใยไม้อัดจากเส้นใยมะพร้าวผสมต้นรูปฤาษีที่ใช้กาวสังเคราะห์ไอโซไซยาเนตเรซิน ค่าการนำความร้อนและค่าความต้านทานความร้อนเท่ากับ  $0.175$  w/m.k และ  $0.1211$  m<sup>2</sup>.k/w ตามลำดับ

<b>Research Title</b>	The Processing of the Wastes from Coconut for Using in Industrial
<b>Researcher</b>	Thitinat Sukonket, Ph.D. Jantharat Wutisatwongkul, D.Eng. Wanpiti Thamsri Veerachon Phuhinkong ThadsaneeThongkanluang, D.Eng. Nakarin Srisuwan, Ph.D. Kittisak Buasri
<b>Organization</b>	Occupational Health and Safety Science Faculty of Science and Technology Suan Dusit University
<b>Year</b>	2017

This research aims to study the reforming of waste materials from the coconut for the beneficial in industrial. The coconut shell was used as the raw material for activated carbon synthesise for the heavy metal adsorption in waste water. Whereas the coir was mixed with Cattail and used as the plywood. The coconut shell was pisolized at 400 °C for 1 h and then activated by 1M sodium chloride solution at the ratio of char:NaCl 1:3 for 24 h and carbonized at 700°C. This condition yields the highest iodine number at 503.45 mg/g. From the study of adsorption of Lead (II) and cadmium (II) in the synthetic wastewater. It was found that the activated carbon from coconut shell showed the efficiency adsorptopn percentages of Lead (II) and cadmium (II) at 98.333 and 57.88 respectively.

Coconut fiber was used as the raw material for fiberboard. The process of fiberboard forming from coconut fiber mixed with *Typha angustifolia* fiber was produced at 50:50 by dry fiber weight. The density of fiberboard was 600 kg/m<sup>3</sup> and the thickness was 15 mm. There were 2 kinds of adhesive used in these coconut fiber mixed with *Typha angustifolia* fiber board forming for comparison study, synthetic Urea Formaldehyde resin (UF) and synthetic Isocyanate resin (pMDI) at 10%

concentration. Fiberboard from coconut fiber mixed with *Typha angustifolia* fiber was then tested the properties follow the TIS.876-2547 standard test method. The test results found that fiberboard which used Urea Formaldehyde resin adhesive had the averaged density of  $658.25 \pm 0.23 \text{ kg/m}^3$ ,  $9.38 \pm 0.31\%$  humidity,  $19.29 \pm 0.31\%$  of water absorption and thickness swelling and the mechanical properties such as flexural resistance was  $13.76 \pm 0.32 \text{ MPa}$ , the modulus of elasticity was  $1182 \pm 0.33 \text{ MPa}$ , the tensile strength perpendicular to the surface was  $0.38 \pm 0.33 \text{ MPa}$ , and the strength of the binding screws on the surface was  $363.59 \pm 0.32 \text{ N}$ . On the same way the fiberboard which used Isocyanate resin adhesive had the averaged density of  $669.22 \pm 0.25 \text{ kg/m}^3$ ,  $8.54 \pm 0.33 \%$  humidity,  $12.45 \pm 0.32 \%$  of water absorption and thickness swelling and the mechanical properties such as flexural resistance was  $15.41 \pm 0.31 \text{ MPa}$ , modulus of elasticity was  $1369 \pm 0.32 \text{ MPa}$ , the tensile strength perpendicular to the surface was  $0.74 \pm 0.34 \text{ MPa}$ , and the strength of the binding screws on the surface was  $368.75 \pm 0.33 \text{ N}$ . Both of fiberboard from coconut fiber mixed with *Typha angustifolia* fiber was passed the TIS .876-2547 specification except the modulus of elasticity value which were below the standard level of not less than 1600 MPa and the water absorption and thickness swelling of fiberboard used Urea Formaldehyde resin adhesive was over the specification value of not over 12%. Besides, fiberboard was tested of heat properties by ASTM C 177-2010. Heat conductivity and resistance of fiberboard from coconut fiber mixed with *Typha angustifolia* fiber with Urea Formaldehyde resin adhesive were  $0.045 \text{ w/m.k}$  and  $0.1574 \text{ m}^2.\text{k/w}$  respectively. When those for fiberboard from coconut fiber mixed with *Typha angustifolia* fiber with Isocyanate resin adhesive were  $0.175 \text{ w/m.k}$  and  $0.1211 \text{ m}^2.\text{k/w}$  respectively.

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากคณะผู้วิจัยได้รับความช่วยเหลือ ดูแลเอาใจใส่ เป็นอย่างดีจากหลายๆ ฝ่าย คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ผศ.ดร.ประยูร สุรินทร์ ในการแนะนำและ ตรวจสอบคุณภาพของงานวิจัย ขอขอบคุณผู้เชี่ยวชาญและบุคลากรของสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยสวนดุสิตทุกท่าน ที่สละเวลาในการตรวจทานแก้ไขข้อบกพร่องของการเขียนงานวิจัย ตรวจทานความถูกต้องของภาษา และพิจารณาความเหมาะสมของเนื้อหาและเครื่องมือที่ใช้ในการ วิจัย คณะผู้วิจัยขอขอบคุณบุคลากรและคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสวนดุสิต ที่ เอื้อเพื่อสถานที่และเครื่องมือในการทำวิจัย คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคุณวราธรรม อุ่นจิตติชัย ผู้อำนวยการกลุ่มงานพัฒนาอุตสาหกรรมไม้ สำนักงานวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ ที่ให้คำแนะนำและ อำนวยความสะดวกในการดำเนินการวิจัยการผลิตแผ่นเส้นใยไม้อัดจากเส้นใยมะพร้าวผสมตันธูปฤาษี คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยสวนดุสิตที่สนับสนุนทุนการวิจัยในครั้งนี้ คณะผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งใน ความกรุณาและความปรารถนาดีของท่านเป็นอย่างยิ่ง จึงขอขอบคุณไว้ในโอกาสนี้

คณะผู้วิจัย

2560

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ณ
สารบัญภาพ	ญ
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	<b>1</b>
ความเป็นมาและความสำคัญ	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	4
ขอบเขตการวิจัย	5
คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย	5
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
<b>บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	<b>7</b>
การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว	7
กะลามะพร้าว (Coconut shell)	7
ถ่านกัมมันต์ (activated carbon)	8
โลหะหนัก	15
สารดูดซับ (adsorbent)	22
การผลิตแผ่นไม้อัดจากเส้นใยมะพร้าวผสมต้นธูปฤาษี	24
องค์ประกอบของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร	24
ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ด	25
ทฤษฎีและกลไกของการยึดติดของกาว	29
คุณลักษณะของกาว และการใช้งานยึดติดไม้	31
การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง	34
กรอบแนวคิดในการวิจัย	47

	หน้า
<b>บทที่ 3    วิธีการดำเนินการวิจัย</b>	<b>49</b>
สารเคมี เครื่องแก้ว และเครื่องมือวิเคราะห์	49
วิธีการทดลอง	52
กะลามะพร้าวมาแปรรูปเป็นถ่านกัมมันต์	52
การเตรียมถ่านกะลามะพร้าว	52
การกระตุ้นถ่านกัมมันต์	57
การทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วโดยถ่านกัมมันต์ ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว	57
การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการดูดซับสารละลายแคดเมียม	59
แผ่นไม้อัดจากเส้นใยมะพร้าวผสมตันรูปถาชี	61
การเตรียมเส้นใยมะพร้าวและตันรูปถาชี	56
วิธีการทดสอบความเป็นกรดเป็นด่าง	57
วิธีการวิเคราะห์หาขนาดเส้นใย	58
การฟอร์มแผ่นเส้นใยอัดจากเส้นใยมะพร้าวผสมตันรูปถาชี	61
การเตรียมอัดแผ่นเส้นใยอัดจากเส้นใยมะพร้าวผสมตันรูปถาชี	62
วิธีการทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ	70
วิธีการทดสอบสมบัติเชิงกล	71
วิธีการทดสอบสมบัติเชิงความร้อน	71
 <b>บทที่ 4    ผลการวิจัย</b>	 <b>86</b>
ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว	86
ผลของเวลาที่มีผลต่อถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว	89
ผลของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์และเวลาใน การกระตุ้นที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ จากกะลามะพร้าว	90
ประสิทธิภาพการดูดซับการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์โดย ใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว	91
ประสิทธิภาพการดูดซับการดูดซับแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์โดย ใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว	95

	หน้า
การผลิตแผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมต้นธูปฤาษี	98
ผลการทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ	99
ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล	102
ผลการทดสอบสมบัติเชิงความร้อน	106
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ</b>	<b>109</b>
สรุปผลการวิจัย	109
อภิปรายผล	111
ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้	111
ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป	112
<b>บรรณานุกรม</b>	<b>113</b>
บรรณานุกรมภาษาไทย	113
บรรณานุกรมภาษาต่างประเทศ	117
<b>ภาคผนวก</b>	<b>119</b>
<b>ประวัติผู้วิจัย</b>	<b>123</b>

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	แสดงปริมาณวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรของพลังงานชีวมวลของแข็งปี 2553	2
2.1	องค์ประกอบของกะลามะพร้าว	7
2.2	คุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของถ่านกัมมันต์ชนิดผง	11
2.3	คุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด	11
2.4	แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของสารตะกั่ว	15
2.5	โรคที่เกิดจากสารตะกั่วหรือสารประกอบของตะกั่ว	19
2.6	แสดงคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของสารแคดเมียม	21
3.1	ผลการทดสอบความเป็นกรดเป็นด่างและการผ่อนค่าความเป็นกรดเป็นด่างของ เส้นใยมะพร้าวและต้นรูปถั่ว	64
3.2	การวิเคราะห์หาขนาดเส้นใยมะพร้าว	65
3.3	ผลการวิเคราะห์หาขนาดเส้นใยต้นรูปถั่ว	65
4.1	แสดงผลของอุณหภูมิการเผาถ่านชาร์ที่มีผลต่อถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว	86
4.2	แสดงผลของระยะเวลาการดูดซับที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วในน้ำเสีย สังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว	92
4.3	แสดงผลของปริมาณถ่านกัมมันต์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับน้ำเสีย สังเคราะห์ที่ปนเปื้อนตะกั่วโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว	93
4.4	แสดงผลของระยะเวลาการดูดซับที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วในน้ำเสีย สังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว	95
4.5	แสดงผลของปริมาณถ่านกัมมันต์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับแคดเมียมในน้ำ เสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว	96
4.6	ผลการศึกษาค่าความหนาแน่นของแผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมต้นรูปถั่ว	99
4.7	ผลการศึกษาค่าปริมาณความชื้นของแผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมต้นรูปถั่ว	100
4.8	ผลการศึกษาค่าการดูดซึมน้ำที่ 2 และ 24 ชั่วโมง ของแผ่นเส้นใยอัดมะพร้าว ผสมต้นรูปถั่ว	101
4.9	ผลการศึกษาค่าการพองตัวทางความหนาที่ 2 และ 24 ชั่วโมงของแผ่นเส้นใยอัด มะพร้าวผสมต้นรูปถั่ว	102

ตารางที่	หน้า	
4.10	ผลการศึกษาค่าความต้านทานแรงดัดและความต้านทานมอดุลัสยืดหยุ่นของแผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมต้นธูปฤาษี	103
4.11	ผลการศึกษาค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมต้นธูปฤาษี	104
4.12	ผลการศึกษาค่าความแข็งแรงการยึดเหนี่ยวของตะปูเกลียวด้านผิวของแผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมต้นธูปฤาษี	105
4.13	ผลการศึกษาค่าการนำความร้อนและความต้านทานความร้อนของแผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมต้นธูปฤาษี	106
4.14	การเปรียบเทียบค่าการนำความร้อนและความต้านทานความร้อนของวัสดุประเภทต่างๆ	107
ก 1.1	Porous stainless steel (PSS)	120
ก 1.2	Porous stainless steel + Oxidation (PSS + oxi) (Thermal Oxidation) oxidized at 600 oC, 6 h.	121
ก 1.3	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> porous stainless steel (PSS- Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	122

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	กรอบแนวคิดการวิจัย	48
3.1	เปลือกมะพร้าวและเส้นใยมะพร้าวที่ผ่านการบดย่อย	51
3.2	ต้นรูปภาชีและเส้นใยต้นรูปภาชีที่ผ่านการบดย่อย	52
3.3	แผนผังการผลิตแผ่นไม้อัดจากเส้นใยมะพร้าวผสมต้นรูปภาชี	61
3.4	เครื่องย่อยเส้นใยมะพร้าวและต้นรูปภาชี	62
3.5	เครื่องร่อนแยกขนาด	63
3.6	วิธีการทดสอบความเป็นกรดเป็นด่างและการผ่อนค่าความเป็นกรดเป็นด่าง	63
3.7	ตะแกรงร่อนและการวัดขนาดเส้นใย	64
3.8	เครื่องวัดปริมาณความชื้นของวัสดุ	66
3.9	เครื่องผสมและการพันสารยึดติด	66
3.10	การฟอร์มแผ่นเส้นใยอัดจากเส้นใยมะพร้าวผสมต้นรูปภาชี	67
3.11	การเตรียมอัดแผ่นเส้นใยอัดด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก	67
3.12	การอัดร้อนแผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมต้นรูปภาชี	68
3.13	การปรับสภาวะอุณหภูมิของแผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมต้นรูปภาชี	69
3.14	การตัดขนาดแผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมต้นรูปภาชี	69
3.15	แผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมต้นรูปภาชี	70
3.16	แผนผังการทดสอบสมบัติเชิงกายภาพแผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมต้นรูปภาชี	70
3.17	แผนผังการทดสอบสมบัติเชิงกลแผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมต้นรูปภาชี	71
3.18	แผนผังการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนแผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมต้นรูปภาชี	71
3.19	ตำแหน่งที่วัดความกว้าง ยาว และความหนา ของชิ้นงานทดสอบ	74
3.20	ตู้อบความชื้น	75
3.21	ชุดทดสอบการดูดซึมน้ำและการพองตัวทางความหนา	76
3.22	เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล	76
3.23	การพองตัวทางความหนาหลังแช่น้ำที่ 2 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง	78
3.24	ลักษณะการทดสอบค่าความต้านทานแรงดัดและมอดูลัสยืดหยุ่น	79
3.25	เครื่องทดสอบความต้านทานแรงดัดและมอดูลัสยืดหยุ่น	80
3.26	การทดสอบแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า	82

ภาพที่		หน้า
3.27	การทดสอบค่าความต้านทานแรงยึดเหนี่ยวของตะปูเกลียว	83
3.28	เครื่องทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนและขึ้นตัวอย่างขึ้นทดสอบ	85
4.1	แสดงผลของอุณหภูมิในการเผาถ่านชาร์ที่มีผลต่อปริมาณถ่าน	87
4.2	แสดงผลของอุณหภูมิในการเผาถ่านชาร์ที่มีผลต่อปริมาณความชื้น	87
4.3	แสดงผลของอุณหภูมิในการเผาถ่านชาร์ที่มีผลต่อความหนาแน่น	88
4.4	แสดงผลของอุณหภูมิในการเผาถ่านชาร์ที่มีผลต่อค่าไอโอดีนนมเบอร์	88
4.5	แสดงผลของเวลาในการเผาถ่านที่มีผลต่อค่าไอโอดีนนมเบอร์	89
4.6	แสดงผลของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่มีผลต่อค่าไอโอดีนนมเบอร์	90
4.7	แสดงผลของเวลาในการกระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่มีผลต่อค่าไอโอดีนนมเบอร์	91
4.8	แสดงผลของเวลาการดูดซับที่มีผลต่อปริมาณการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว	92
4.9	แสดงผลของเวลาการดูดซับที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว	93
4.10	แสดงผลของปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ดูดซับที่มีผลต่อปริมาณการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว	94
4.11	แสดงผลของปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ดูดซับที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว	94
4.12	แสดงผลของเวลาการดูดซับที่มีผลต่อปริมาณการดูดซับแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว	95
4.13	แสดงผลของเวลาการดูดซับที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว	96
4.14	แสดงผลของปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ดูดซับที่มีผลต่อปริมาณการดูดซับแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว	96
4.15	แสดงผลของปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ดูดซับที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว	97
4.16	ลักษณะของแผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมตันรูปถั่ว	98

## บทที่ 1

### บทนำ

#### ความเป็นมาและความสำคัญ

มะพร้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่คนไทยรู้จักและยึดเป็นอาชีพเพาะปลูกมานานนับร้อย เป็นพืชที่ปลูกได้ง่าย ไม่ต้องดูแลรักษามากนัก มีปลูกกันทั่วไปโดยเฉพาะในเขตภาคใต้ ในอดีตมะพร้าว เป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญมากเนื่องจากเป็นที่ต้องการของโรงงานอุตสาหกรรมน้ำมันพืช ประกอบกับความต้องการใช้บริโภคภายในประเทศมีมาก แต่ในปัจจุบันได้มีพืชน้ำมันชนิดอื่น เช่น ปาล์มน้ำมัน เป็นต้น เข้ามาทดแทน ทำให้ราคามะพร้าวตกต่ำส่งผลต่อรายได้ของเกษตรกรผู้ปลูก มะพร้าว จากการสำรวจสถานการณ์การผลิตในประเทศไทย โดยสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรพบว่า มีพื้นที่การผลิตมะพร้าว และผลผลิตมะพร้าวของประเทศไทยลดลงในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา โดยมี สาเหตุมาจากปัญหาภัยแล้ง แมลงศัตรูพืชระบาด รวมถึงผลตอบแทนที่เกษตรกรได้รับน้อยลง จึงไม่ จูงใจให้เกษตรกรขยายพื้นที่ปลูก แต่การบริโภคทั่วโลกมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะในกลุ่มสหภาพ ยุโรป 27 ประเทศ ที่มีการบริโภคมะพร้าวเพิ่มมากขึ้น เพื่อนำไปใช้ในการผลิตของภาคอุตสาหกรรม เบเกอรี่ ซึ่งมีสัดส่วนการผลิตมากที่สุดของโลก ในขณะที่เดียวกับการบริโภคภายในประเทศของไทย นอกจากในอดีตที่มีการใช้มะพร้าวเพื่อบริโภคในครัวเรือนแล้ว ปัจจุบันการใช้มะพร้าวใน ภาคอุตสาหกรรมมีแนวโน้มการขยายตัวเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะการใช้มะพร้าวในอุตสาหกรรมกะทิ สำเร็จรูป ที่มีการใช้ปริมาณมากถึง 800,000 ลูกต่อวัน ดังนั้น กระทรวงพาณิชย์และกระทรวงเกษตร และสหกรณ์จึงออกมาตรการแก้ไขปัญหาดตามกรอบยุทธศาสตร์ 2555 ให้มีการแก้ปัญหาในด้าน การเพาะปลูกเพิ่มผลผลิตรวมถึงพัฒนาการแปรรูป เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มจากผลิตภัณฑ์มะพร้าวให้แก่ เกษตรกร และภาคอุตสาหกรรม จากการศึกษาปริมาณวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรของพลังงาน ชีวมวลของแข็งปี 2553 ดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่าประเทศไทยมีปริมาณวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร จากมะพร้าวที่ใช้เฉพาะการผลิตพลังงานชีวมวล ทั้งในรูปกะลา เปลือก และก้านใบ รวม 1.78 ล้านตันต่อปี แต่เมื่อเปรียบเทียบปริมาณวัสดุเหลือใช้จากข้อมูลปริมาณการผลิตมะพร้าวของประเทศไทยปี 2554 ที่มีปริมาณ 1.06 ล้านตัน คาดว่าจะมีปริมาณวัสดุเหลือใช้จากมะพร้าวอีกเป็นจำนวนมากที่ไม่ได้ นำมาใช้ประโยชน์ คณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจจะนำวัสดุเหลือใช้จากมะพร้าวมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ ที่มีประโยชน์และสามารถเพิ่มมูลค่าให้แก่วัสดุเหลือใช้จากมะพร้าว โดยในงานวิจัยนี้คณะผู้วิจัยได้ให้ ความสนใจกับกะลามะพร้าวและใยมะพร้าว

ตารางที่ 1.1 แสดงปริมาณวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรของพลังงานชีวมวลของแข็งปี 2553

ชนิด	วัสดุเหลือใช้	ปริมาณวัสดุเหลือใช้ (ตัน/ปี)
อ้อยโรงงาน	กากอ้อย	20,848,763
	ยอดและใบ	14,036,791
ข้าว	แกลบ	7,258,230
	ฟางข้าว	38,218,115
ปาล์มน้ำมัน	ทางใบและก้าน	2,456,651
	ใบปาล์ม	1,345,739
	กะลา	1,165,103
	ทะลาย	1,941,838
มะพร้าว	เปลือก	733,453
	กะลา	320,642
	ก้านใบ	730,857
มันสำปะหลัง	เหง้า	2,002,522
	ลำต้น	2,662,695
ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	ซังข้าวโพด	841,890
	ลำต้น ยอด ใบ	3,973,365
ฝ้าย	ลำต้น	6,651
ถั่วลิสง	เปลือก	15,759
ถั่วเหลือง	ลำต้นยอดใบเปลือก	208,590
ข้าวฟ่าง	ใบและต้น	69,153
ยางพารา	ถ่านไม้	906,379
	ไม้พิน	756,842
	เศษไม้	308,230
	ซีเลื่อย	103,761
สับประรด	ต่อซังสับประรด	1,131,699
รวมวัสดุเหลือใช้		94,792,746

จากการศึกษาวิจัยการใช้ประโยชน์จากกะลามะพร้าว มีการนำกะลามะพร้าวมาเผาและ กระตุ้นด้วยวิธีการทางกายภาพหรือทางเคมีเพื่อให้ได้ถ่านที่มีรูพรุนเรียกว่าถ่านกัมมันต์ ซึ่งใช้เป็น ตัวดูดซับสารพิษ สี และกลิ่นที่เป็นมลภาวะอย่างกว้างขวาง ถ่านกัมมันต์สามารถผลิตได้จากวัสดุ ทางการเกษตรหลายชนิด เช่น ชานอ้อย กะลาปาล์ม เหง้ามันสำปะหลัง กะลามะพร้าว เป็นต้น ถ่านกะลามะพร้าวเป็นถ่านกัมมันต์ที่มีประสิทธิภาพสูงเมื่อเทียบกับวัสดุอื่นๆ เนื่องจากกะลามะพร้าว

มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นคาร์บอน ประกอบด้วย fixed carbon ประมาณร้อยละ 62.95 โดยน้ำหนัก (Satya sai, P.M. and Ahamed, J. 1997) และมีพื้นที่ผิวได้สูงถึง 1,200 ตารางเมตรต่อน้ำหนักเพียง 1 กรัม การที่ถ่านกัมมันต์ผลิตจากวัสดุเริ่มต้นที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ มีความสามารถในการดูดซับได้ดีเนื่องจากมีพื้นที่ผิวสูงและมีรูพรุนขนาดเล็กเป็นจำนวนมากได้นั้น จำเป็นต้องผ่านกระบวนการกระตุ้นเสียก่อน วิธีที่นิยม คือ การกระตุ้นด้วยสารเคมี ซึ่งสารเคมีที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรม ได้แก่ แคลเซียมคลอไรด์ ซิงค์คลอไรด์ กรดฟอสฟอริก และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นต้น แต่สารเคมีดังกล่าวมีราคาสูงและสารเคมีบางชนิดมีอันตราย คณะผู้วิจัยจึงเลือกใช้ตัวกระตุ้นทางเคมีเป็นเกลือโซเดียมคลอไรด์ ซึ่งเป็นสารที่ไม่มีอันตราย สามารถหาได้ง่าย และมีราคาถูกเมื่อเทียบกับตัวกระตุ้นชนิดอื่นๆ โดยจะทำการศึกษาเปรียบเทียบกับตัวกระตุ้นซิงค์คลอไรด์ที่ใช้ในการผลิตในปัจจุบัน ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จะนำไปใช้ในการดูดซับโลหะหนักในน้ำทิ้งอุตสาหกรรม โลหะหนักมีหลายชนิดแต่ชนิดที่ก่อให้เกิดอันตรายใหญ่ส่วนใหญ่ ได้แก่ แคดเมียม และตะกั่ว อันตรายของโลหะเหล่านี้ เกิดเนื่องจากโลหะเหล่านี้เมื่อเข้าไปในสิ่งมีชีวิต จะไปรบกวนการทำงานของเซลล์โดยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์บางชนิด แทนที่โลหะสำคัญของ enzymes ทำให้เอนไซม์ทำงานได้น้อยลงหรือไม่ได้เลย และอาจเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของชีวโมเลกุล โดยตะกั่วเป็นโลหะหนัก พบได้ทั่วไปทั้งในดิน หิน น้ำ พืช และอากาศ มีคุณสมบัติเด่น คือ มีจุดหลอมเหลวต่ำ มีความหนาแน่นสูง มีความอ่อนตัวสูง ความแข็งแรงอยู่ในเกณฑ์ต่ำ มีคุณสมบัติหล่อลื่น และต้านทานการกัดกร่อนได้ดี ปัจจุบันตะกั่วถูกใช้ในอุตสาหกรรมมากที่สุด โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมแบตเตอรี่รถยนต์ งานทำแบตเตอรี่ ทำโลหะเจือ การทำท่อในอุตสาหกรรมเคมี ใช้ห่อหุ้มลวด ใช้พันสายเคเบิลใต้ทะเล กระจกสุนปืน และใช้ผสมสีทาบ้าน แต่เนื่องจากตะกั่วเป็นสารที่ส่งผลกระทบต่อมนุษย์อย่างรุนแรง ซึ่งหากผู้ได้รับตะกั่วมากเกินไปจะทำให้สมองทำงานบกพร่องและสติปัญญาเสื่อม จากสถิติงานประกันสังคมในปี 2552 - 2555 พบว่ามีโรคที่เกิดจากสารตะกั่วหรือสารประกอบของตะกั่วที่ทำให้ต้องสูญเสียอวัยวะบางส่วนคิดเป็นร้อยละ 0.74 และต้องหยุดงานคิดเป็นร้อยละ 99.25 ของผู้ที่ได้รับอันตรายทั้งหมด ปัจจุบันการกำจัดตะกั่วมีหลายวิธี เช่น การตกตะกอนด้วยสารเคมีบางชนิด การแลกเปลี่ยนไอออน การแยกด้วยแผ่นเยื่อบาง ส่วนแคดเมียมเป็นโลหะทรานซิชัน พบมากในอุตสาหกรรมแบตเตอรี่ หลอดไฟ เครื่องบิน รถยนต์ สารกำจัดศัตรูพืชและทันตกรรม ลักษณะทางกายภาพเป็นโลหะสีเงินขาวแวววาวเป็นสีน้ำเงินจางๆ ไม่มีกลิ่น มีสถานะเป็นของแข็ง ความเป็นพิษของแคดเมียม คือ เมื่อหายใจเข้าไปจะก่อให้เกิดการระคายเคือง เนื่องจากสารนี้มีฤทธิ์กัดกร่อน ทำให้เจ็บคอ หายใจลำบากถ้าหากสัมผัสทางผิวหนังจะก่อให้เกิดการระคายเคือง มีผื่นแดง ก่อให้เกิดโรคมะเร็ง ไตทำงานผิดปกติ นอกจากนี้ยังทำให้เกิดโรคความดันโลหิตสูง ปวดกระดูกสันหลัง แขนขา ซึ่งจะทำให้ไตพิการได้ การรับสัมผัสมีด้วยกัน 3 วิธี คือ ระบบทางเดินหายใจ ระบบทางเดินอาหาร และระบบผิวหนัง การกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียโดยใช้วิธีการดูดซับด้วยวัสดุดูดซับ ซึ่งค่อนข้างมีราคาที่สูง การใช้ตัว

ดูดซับที่เตรียมจากสารเคมีที่มีราคาถูกลง น่าจะเป็นทางเลือกที่ดี ในการใช้ลดมลพิษจากโลหะหนักในน้ำทิ้งอุตสาหกรรม

นอกจากจะใช้ประโยชน์จากกะลามะพร้าวเป็นสารดูดซับโลหะหนักในน้ำทิ้งอุตสาหกรรมแล้ว มะพร้าวยังมีส่วนประกอบที่มีเส้นใยสูง โดยเฉพาะเซลลูโลสที่มีปริมาณสูงถึงร้อยละ 60-80 ของสารประกอบทั้งหมด ในปัจจุบันมีการนำวัสดุมาใช้ประโยชน์สำหรับอุตสาหกรรมการผลิตแผ่นเส้นใยอัด เพราะสามารถช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ เหมาะในการนำมาผลิตหรือเป็นส่วนผสมของแผ่นเส้นใยอัดได้ เมื่อมองถึงคุณสมบัติของวัสดุเหลือทิ้งแล้ว เพื่อศึกษาแนวทางและความเป็นไปได้ในการนำวัสดุที่เหลือทิ้งมาใช้เป็นวัตถุดิบได้อีกทางเลือกหนึ่ง ทั้งนี้เพื่อไม่เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมด้วย และช่วยส่งเสริมการสร้างแผ่นผลิตภัณฑ์ใหม่ให้กับอุตสาหกรรมก่อสร้างพร้อมกับการช่วยประหยัดทรัพยากรธรรมชาติได้ จากการศึกษาพบว่ามีการผลิตแผ่นผลิตภัณฑ์ขึ้นไม่อัดมวลเบาจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรหลายชนิด เช่น ต้นมันสำปะหลัง (วันเพ็ญ ทานศิริฤกษ์และคณะ, 2546) ใยสับปะรด (วิจิต เพชรกลัดและคณะ, 2546) ผักตบชวา (กำพล ชูปริดาและคณะ, 2546) ไม้ไผ่ (ศุภกิจ ใจจักร์ธรรมและคณะ, 2546) ใบเตยหนาม (ประเสริฐศักดิ์ พะสิริและคณะ, 2546) แกลบ (ฐานันดร รัศมีและคณะ, 2548) และ(Ajiwe & Okeoke, 1998) ต้นไมยราบยักษ์ (พงศวิทย์ ลิ้มปิติศุทธ์และคณะ, 2547) ใบชาใช้แล้ว (Yalinkilic *et al.*, 1998) ฟางข้าว (Yang & Kim, 2004) และฟางข้าวสาเลี (Han *et al.*, 1998) เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการใช้เส้นใยมะพร้าว (ธนพันธุ์ ศิริรักษ์และคณะ, 2547) โดยได้ทำการศึกษาแผ่นพื้นปาร์เก้จากเส้นใยมะพร้าวอัดแน่นโดยผลิตเป็นแผ่นเส้นใยอัดความหนาแน่นปานกลาง 750-800 กก./ชม.<sup>2</sup> แล้วนำไปทดสอบ หาคคุณสมบัติทางกายภาพและทางกล

จากการศึกษาความเป็นไปได้จากงานวิจัยที่ผ่านมา คณะผู้วิจัยมีความสนใจทำแผ่นเส้นใยอัดจากเส้นใยมะพร้าวผสมต้นธูปฤาษี ซึ่งเป็นการนำวัสดุที่เหลือทิ้งมาใช้เป็นส่วนผสมเพื่อลดต้นทุนการผลิตเป็นวัตถุดิบเพื่อปรับปรุงและพัฒนาให้เกิดประโยชน์ในงานอุตสาหกรรมวัสดุก่อสร้าง คือ เป็นแผ่นเส้นใยอัดจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรโดยนำเส้นใยมะพร้าวมาผสมกับเส้นใยต้นธูปฤาษีมาอัดขึ้นรูปเพื่อพัฒนาเป็นแผ่นเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมได้อีกทางเลือกหนึ่ง

ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงเป็นการวิจัยที่มุ่งเน้นนำวัสดุเหลือใช้จากมะพร้าว ได้แก่ กะลาและเส้นใยมะพร้าวมาแปรรูปเป็นวัสดุที่มีมูลค่ามากขึ้น และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมได้

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักประเภทต่าง ๆ ด้วยถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้จากการใช้โซเดียมคลอไรด์กับซิงค์คลอไรด์

2. ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์สำหรับใช้ดูดซับโลหะหนักในน้ำทิ้งอุตสาหกรรม

3. เพื่อศึกษากระบวนการผลิตแผ่นใยไม้อัดจากเส้นใยมะพร้าวผสมต้นรูปฤาษี เพื่อศึกษาสมบัติของแผ่นใยไม้อัดจากเส้นใยมะพร้าวผสมต้นรูปฤาษี

### ขอบเขตการวิจัย

มะพร้าวและพืชที่หาได้ในพื้นที่ภาคกลางตอนล่าง ครอบคลุม 8 จังหวัด กาญจนบุรี นครปฐม ราชบุรี สุพรรณบุรี ประจวบคีรีขันธ์ เพชรบุรี สมุทรสาคร และสมุทรสงคราม

### คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย

**ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon)** หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบธรรมชาติหรืออินทรีย์วัตถุซึ่งมีคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบหลัก มาผ่านกรรมวิธีก่อกัมมันต์ (activation process) จนได้ผลิตภัณฑ์สีดำ มีโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นรูพรุน มีพื้นที่ผิวสูง มีสมบัติในการดูดซับสารต่าง ๆ ได้ดี

**กะลามะพร้าว (Coconut shell)** คือ ส่วนหนึ่งที่ได้จากเปลือกแข็งด้านในลูกมะพร้าว (มะพร้าวเป็นพืชยืนต้นชนิดหนึ่งจัดอยู่ในตระกูลปาล์ม) กะลามะพร้าวมีคุณสมบัติพิเศษก็คือ มีน้ำมันเคลือบ ติดไฟง่าย เหมาะสำหรับนำมาเป็นเชื้อเพลิง นอกจากนั้นยังสามารถติดไฟอยู่ได้นาน

**กระบวนการดูดซับ (Adsorption Process)** หมายถึง กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการสะสมตัวของสาร หรือความเข้มข้นของสารที่บริเวณพื้นผิวหรือระหว่างผิวหน้า (interface) กระบวนการนี้สามารถเกิดที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่าง 2 สภาวะใด ๆ เช่น ของเหลวกับของเหลว ก๊าซกับของเหลว ก๊าซกับของแข็ง หรือของเหลวกับของแข็ง

**โลหะหนัก (Heavy Metal)** หมายถึง ธาตุที่มีน้ำหนักมากกว่าน้ำ 5 เท่า หรือมีความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5 ขึ้นไป ซึ่งมีเลขอะตอมตั้งแต่ 23-92 จำนวนทั้งหมด 72 ธาตุ ในคาบที่ 4-7 เช่น แคดเมียม โครเมียม โปรท ตะกั่ว เป็นต้น ซึ่งธาตุโลหะหนักเหล่านี้ บางชนิดมีประโยชน์ในทางอุตสาหกรรม บางชนิดมีประโยชน์ต่อร่างกาย แต่บางชนิดก็เป็นพิษต่อร่างกาย

**ไม้อัด (Plywood)** ประกอบด้วยแผ่นไม้บาง ๆ ที่ทำจากการลอกและผานไม้ แล้วนำมาอัดทับกันเป็นแผ่นโดยมีลักษณะการวางในทิศทางสลับกันด้วยกาว แผ่นที่อยู่ผิวด้านนอกจะเป็นผิวไม้บางที่ผานเป็นแผ่นส่วนไม้ไส้ด้านในจะเป็นไม้ที่ได้จากการลอก

**ใยมะพร้าว (Coir)** เป็นเส้นใยที่ได้จากส่วนที่เป็นเปลือกชั้นในที่อยู่ระหว่างผลและเปลือกชั้นนอก ถือเป็นเส้นใยที่ได้จากเมล็ด (Seed Fiber) สัณฐานชาติของใยมะพร้าวเป็นเส้นน้ำตาลมีความแข็งแรง ทนต่อความชื้นและ น้ำได้ดี ทนต่อการขัดสีได้ดีมาก นิยมใช้ทำพรมเช็ดเท้า เสื่อ เชือก ถ้าย้อมสีมักย้อมสีเข้มหรือสีดำ เพราะฟอกให้เป็นสีขาวยาก ปัจจุบันใช้ใยมะพร้าวทำที่นอน เก้าอี้ นวม สปริง และเครื่องเรือนอื่นๆ ในลักษณะเดียวกัน ทำพรมเช็ดเท้า ทำเชือก เป็นต้น

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้กระบวนการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์ที่ให้ถ่านที่มีสมบัติที่ดีในการใช้เป็นวัสดุดูดซับโลหะหนักในน้ำทิ้งอุตสาหกรรม ซึ่งถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้นี้จะเป็นวัสดุทางเลือกสำหรับการดูดซับโลหะหนัก เป็นวัสดุที่มีต้นทุนการผลิตต่ำ เนื่องจากกะลามะพร้าวเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร หาได้ง่าย มีราคาถูก และกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ เป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับกะลามะพร้าวทำให้เกิดประโยชน์สูงสุด ผลงานวิจัยนี้สามารถนำไปขยายผลในระดับชุมชนและอุตสาหกรรมได้ สามารถเผยแพร่หรือลงตีพิมพ์ในวารสารทางวิชาการ ตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติ พร้อมทั้งนำเสนอผลงานทางวิชาการในรูปแบบต่างๆ ตลอดจนนำผลิตในเชิงพาณิชย์ได้

การผลิตแผ่นไม้อัดจากเส้นใยมะพร้าวและต้นธูปฤาษี สามารถให้บริการความรู้แก่ประชาชน เพื่อเผยแพร่ให้กับชุมชนและผู้ประกอบการย่อยอุตสาหกรรมการผลิตอื่น ๆ นำไปใช้ในการผลิตแผ่นแผ่นเส้นใยอัดจากเส้นใยมะพร้าวและต้นธูปฤาษีและสามารถนำแผ่นเส้นใยอัดไปใช้ในงานได้จริง สามารถให้บริการความรู้แก่ภาคธุรกิจ เพื่อนำเศษวัสดุที่เป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุพร้อมนำมาประยุกต์ใช้งานและหาประสิทธิภาพ ของแผ่นและเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียและศึกษาต้นแบบในการผลิตแผ่นเส้นใยอัดจากเส้นใยมะพร้าวผสมต้นธูปฤาษี นำไปสู่การผลิตเชิงพาณิชย์ เพื่อเผยแพร่ให้กับผู้ประกอบการอุตสาหกรรมการผลิตอื่น ๆ นำไปใช้ในการผลิตเส้นใยอัดจากเส้นใยมะพร้าวผสมต้นธูปฤาษีเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการผลิตต่อไปได้ เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต เพื่อนำเศษวัสดุที่เป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร มาเพิ่มมูลค่าในการผลิต

## บทที่ 2

### แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว

##### 1) กะลามะพร้าว (Coconut shell)

กะลามะพร้าว คือ ส่วนหนึ่งที่ได้จากเปลือกแข็งด้านในลูกมะพร้าว กะลามะพร้าวมีคุณสมบัติพิเศษก็คือ มีน้ำมันเคลือบ ติดไฟง่าย เหมาะสำหรับนำมาเป็นเชื้อเพลิง นอกจากนี้ยังสามารถติดไฟอยู่ได้นาน องค์ประกอบของกะลามะพร้าวแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของกะลามะพร้าว

Coconut shell compound (dry basis)		
Compound	On air dried material (%)	On dried weight at 105 °C (%)
Moisture	8.7	-
Cold water soluble	0.19	0.20
Hot water soluble	3.25	3.57
Alcohol soluble	2.29	2.51
Benzene soluble	0.25	0.27
1% Alkaline soluble	17.15	18.80
Ash	0.56	0.61
Lignin	33.30	36.51
Cellulose	48.40	53.06
Total pentosans	26.70	29.27
Pentosans in Cellolose	-	20.54
Pentosans in Cellolose (on basis of cellulose)	-	38.69

ที่มา: Reginald Child, S. Ramanathan, 1938

ในอดีต กะลามะพร้าวเป็นเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่ไม่ค่อยมีราคา คนสมัยก่อนมักนำไปใช้ทำเชื้อเพลิงหรือทำเครื่องใช้ในครัวเรือน เช่น กระบวยตักน้ำ ทัพพี ถ้วย ชาม เป็นต้น

ความสำคัญของกะลามะพร้าวในสมัยก่อนมีค่าไม่มากนัก แต่ในปัจจุบันมีการนำกะลามะพร้าวมาใช้ประโยชน์ทางด้านพลังงาน โดยผลิตเป็นเชื้อเพลิงจากชีวมวล และนำมาใช้ผลิตถ่านกัมมันต์สำหรับใช้เป็นวัสดุดูดซับอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน เนื่องจากกะลามะพร้าวมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นคาร์บอน ประกอบด้วย Fixed carbon ประมาณ 62.95% โดยน้ำหนัก (Satya sai, P.M. and Ahamed, Jaleel, 1997) และถ่านกัมมันต์ที่มีประสิทธิภาพสูงส่วนใหญ่ได้จากถ่านกะลามะพร้าว ซึ่งอาจมีพื้นที่ผิวได้สูงถึง 1,200 ตารางเมตรต่อน้ำหนักเพียง 1 กรัม

## 2) ถ่านกัมมันต์ (activated carbon)

ถ่านกัมมันต์เป็นถ่านที่อยู่ในรูปคาร์บอนอสัณฐาน (amorphous carbon) ชนิดหนึ่ง แต่ถูกผลิตขึ้นมาเป็นพิเศษโดยกระบวนการก่อกัมมันต์ (activation) ซึ่งทำให้พื้นที่ผิวภายใน (internal surface area) เพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากโครงสร้างที่เป็นรูพรุนจำนวนมากแต่ถ้าหากศึกษาด้วยเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray diffraction) หรือศึกษาโครงสร้างจากการสะท้อนและการเบี่ยงเบนของรังสีเอ็กซ์เมื่อตกกระทบวัตถุ โครงสร้างของถ่านกัมมันต์จะมีความเป็นผลึกอยู่บ้าง แต่ไม่สมบูรณ์เหมือนกับแกรไฟต์ จากคุณสมบัติเหล่านี้จึงทำให้ถ่านกัมมันต์แตกต่างจากถ่านชนิดอื่นๆ เช่น ถ่านลิกไนท์ ถ่านโค้ก ถ่านไม้ หรือแกรไฟต์ เป็นต้น ถ่านกัมมันต์มีความสามารถในการดูดซับสูงอันเนื่องมาจากมีพื้นที่ผิวมาก มีความจุในการดูดซับสูงผิวโครงสร้างเป็นแบบรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก (microporous structure) และมีความว่องไวในการดูดซับสูงโดยทั่วไปแล้วผิวหน้าของถ่านกัมมันต์นั้นไม่มีขั้ว แต่เนื่องจากมีสารประกอบออกไซด์เกิดขึ้นเสมอที่ผิวหน้า และการจัดเรียงของอะตอมอยู่ในลักษณะเฮกซะโกนัล (hexagonal) ทำให้ผิวหน้าของถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวสูงกว่าตัวดูดซับอื่นๆ เช่น ซิลิกาเจล (silica gel) จึงทำให้ดูดซับสารได้มากกว่า (ธราพงษ์ วิทิตศานต์, 2553)

ถ่านกัมมันต์เป็นถ่านที่เตรียมขึ้นเป็นพิเศษเพื่อให้มีพื้นที่ผิวมากที่สุด ซึ่งทำได้โดยการทำให้มีรูพรุนหรือโครงสร้างภายในเนื้อคาร์บอนมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ รูพรุนนี้มีขนาดตั้งแต่ 20 อังสตรอม ถึง 20,000 อังสตรอม ดังนั้น พื้นที่ผิวจึงสูง และ มีความสามารถในการดูดซับ (adsorption capacity) สูงด้วยเช่นกัน การวัดพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์กระทำได้โดยการหาปริมาณไนโตรเจนที่ถูกถ่านกัมมันต์ดูดไว้ วิธีวัดสมรรถนะของถ่านกัมมันต์อาจกระทำได้โดยการวิเคราะห์ ค่าการดูดซับไอโอดีน (iodine number) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ โดยปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ ได้แก่ ขนาด และพื้นที่ผิวของสารดูดซับ (size and surface area ) ลักษณะของสารดูดซับ (nature of adsorbate) ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) อุณหภูมิ (temperature) และเวลาในการสัมผัส (contact time)

### วิวัฒนาการของถ่านกัมมันต์

คุณสมบัติในการดูดสีในของเหลวของถ่านเป็นที่ทราบกันมาตั้งแต่คริสต์ศตวรรษที่ 15 แต่คุณสมบัติในการดูดแก๊ส เพิ่งมีผู้บันทึกไว้ในปี ค.ศ.1785 แต่ไม่มีผู้สนใจในคุณสมบัติเหล่านี้ จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1811 มีนักวิทยาศาสตร์ท่านหนึ่งพบว่าถ่านที่ได้จากการเผากระดูกสัตว์ สามารถดูดติดสีได้มากกว่าถ่านซึ่งได้มาจากการถ่านไม้ จึงนิยมนำถ่านกระดูกมาใช้ในการฟอกสีน้ำตาลทรายให้ขาวสะอาดบริสุทธิ์กันมาก และได้มีการพัฒนาต่อมาจนกระทั่งปี ค.ศ.1822 มีผู้พบว่าถ่านที่ได้จากการเผาของผสมระหว่างเลือดสัตว์กับขี้เถ้า (potash) มีคุณสมบัติในการดูดสีมากกว่าถ่านกระดูกประมาณ 20-50 เท่า แต่ไม่สามารถจะผลิตได้มากเพียงพอที่จะนำไปใช้ในโรงงานได้ ต่อมาประมาณ ค.ศ.1900 มีนักวิทยาศาสตร์ ชื่อ Ostreyko ชาวโปแลนด์คิดค้นวิธีผลิตถ่านกัมมันต์ขึ้นมาใหม่ โดยเผาถ่านในบรรยากาศของคาร์บอนไดออกไซด์ และอีกวิธีหนึ่งใช้คลอไรด์ของโลหะผสมกับถ่านแล้วนำไปเผา ซึ่งนับเป็นผู้ริเริ่มให้เกิดอุตสาหกรรมการผลิตถ่านกัมมันต์ชื่อต่างๆ เช่น ชื่อ เอพอนิท (Eponit) ผลิตขึ้นในยุโรปในปี ค.ศ. 1909 นอริท (Norit) ผลิตในปี ค.ศ.1911 และคาร์โบราฟฟิน (Carboraffin) ผลิตในปี ค.ศ.1915 และในอเมริกาได้ผลิต ฟิลท์ชาร์ (Filtchar) ขึ้นในปี ค.ศ.1913 และได้มีการปรับปรุงและเปลี่ยนชื่อเรียกใหม่ๆ ไปเรื่อยๆ ถ่านที่ผลิตขึ้นเหล่านี้ได้มีการศึกษาถึงการนำไปใช้ในการดูดสีฟอกสี ในโรงงานผลิตน้ำตาลทรายเป็นส่วนใหญ่ซึ่งใช้ได้ดีกว่าถ่านกระดูกมาก

คุณสมบัติในการดูดกลิ่นและแก๊สของถ่านกัมมันต์ เริ่มเป็นที่สนใจกันในระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 1 ซึ่งมีการนำไปใช้ในการทำหน้าที่ปกป้องกันแก๊สพิษ จากจุดนี้ทำให้นักวิทยาศาสตร์สนใจในคุณสมบัติการทำแก๊สให้บริสุทธิ์ของถ่านกัมมันต์ซึ่งจากการทดลองโดยวิธีต่างๆ พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตใช้ในการฟอกสีน้ำตาลนั้นไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ในการทำหน้าที่ปกป้องกันแก๊สพิษ เพราะมีลักษณะพองและเบาและจำเป็นต้องใช้เป็นจำนวนมาก ทำให้มีผู้พยายามผลิตถ่านชนิดใหม่ให้มีความหนาแน่นมากขึ้น สำหรับใช้ดูดแก๊สโดยเฉพาะซึ่งต่อมาเมื่อสงครามสิ้นสุดลง การค้นคว้าก็บรรลุผลสำเร็จ และมีผู้นำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น การดูดไอของสารละลาย (solvent) ดูดไอเบนซิน (benzene) จากแก๊สอื่นๆ โดยถ่านที่ผลิตจากไม้ขี้เลื่อย ฟิสิกไนท์ และกากที่เหลือจากการทำเยื่อกระดาษจากใยเซลลูโลสจะได้ถ่านที่มีลักษณะพองและเบาเหมาะสำหรับการทำน้ำให้บริสุทธิ์ ใช้ฟอกของเหลว ส่วนกะลามะพร้าวจะได้ถ่านที่ใช้ในการดูดซับแก๊สได้ดี

ชนิดของถ่านกัมมันต์ แบ่งตามเกณฑ์ต่างๆ คือ

#### 1. แบ่งตามชนิดของตัวกระตุ้น

- เคมี (chemical activated carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการใช้เคมีทำปฏิกิริยากับเคมีกับผิวคาร์บอน มักเป็นพวกที่มีรูพรุนขนาดใหญ่
- กายภาพ (physical activated carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการใช้แก๊สออกซิไดส์ มักเป็นพวกที่มีรูพรุนขนาดเล็ก

## 2. แบ่งตามขนาดรูพรุนบนผิวคาร์บอน

- ขนาดเล็ก (micropores) คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนไม่เกิน 15 นาโนเมตร (nm) มักใช้ในการดูดซับแก๊สหรือไอระเหย
- ขนาดกลาง (transitional pores or mesopores) คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนประมาณ 15-100 นาโนเมตร มักใช้ในปฏิกิริยาที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (catalytic reaction)
- ขนาดใหญ่ (macropores) คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนใหญ่กว่า 100 นาโนเมตร มักใช้ในการฟอกสี และผลิตยา

## 3. แบ่งตามความหนาแน่นของถ่านกัมมันต์ที่ได้

- ความหนาแน่นต่ำ ถ่านกัมมันต์ประเภทนี้มักใช้ในสภาวะที่เป็นสารละลาย เช่น การฟอกสีน้ำตาลดิบ หรือการทำให้บริสุทธิ์ เป็นต้น
- ความหนาแน่นสูง ถ่านกัมมันต์ประเภทนี้มักใช้ดูดแก๊ส หรือ ไอระเหย

## 4. แบ่งตามชนิดของสารที่ถูกดูดซับ

- สำหรับดูดซับแก๊ส (gas adsorbents) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดซับ สารพิษ กลิ่น และ ไอของสารอินทรีย์ ส่วนมากเป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการเผาถ่านประเภท hard artificial char ซึ่งเป็นถ่านที่ได้จากเมล็ดผลไม้ หรือ ถ่านไม้ที่เผาด้วยความดันสูง
- สำหรับดูดซับสี (colour adsorbents) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ใช้เป็นตัวฟอกสี ส่วนมากเป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้เผาถ่านประเภท soft artificial char ซึ่งเป็นถ่านได้จากถ่านไม้ ถ่านชานอ้อย ถ่านจากแกลบ ถ่านจากถ่านหินน้ำมัน และ ถ่านจากกากน้ำตาล
- สำหรับดูดซับโลหะ (metal adsorbents) เป็นถ่านกัมมันต์ที่เป็นตัวแยกพวกโลหะชนิดต่างๆ เช่น ถ่านที่ใช้ในการแยก ทอง เงิน แพลทินัม และ แร่

## 5. แบ่งตามรูปร่างลักษณะ

- ประเภทเป็นผง (powder) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 150 ไมโครเมตร ( $\mu\text{m}$ ) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99 โดยน้ำหนัก มีลักษณะเป็นผง ใช้สำหรับฟอกสีในของเหลว ดูดกลิ่นในสารละลายได้หลายชนิด

ซึ่งคุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของถ่านกัมมันต์ชนิดผงตามมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.) 900-2547 โดยทดสอบตามมาตรฐานของ American Water Works Association (AWWA) แสดงดังตารางที่ 2.2

- ประเภทเป็นเม็ด (pellet) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 150 ไมโครเมตร ไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนักโดยแบ่งเป็น 2 แบบ ได้แก่

1. Pellet activated carbon มีรูปร่างขึ้นอยู่กับเครื่องอัด ใช้สำหรับทำแก๊สให้บริสุทธิ์หรือการทำให้ตัวทำละลายที่ใช่แล้วบริสุทธิ์ และใช้ทำหน้าที่ปกป้องแก๊ส และ ไอพิษต่างๆ

2. Granular activated carbon มีรูปร่างไม่แน่นอน ใช้สำหรับทำแก๊สให้บริสุทธิ์ หรือการทำให้ตัวทำละลายที่ใช่แล้วบริสุทธิ์

ซึ่งคุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดตามมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.) 900- 2547 โดยทดสอบตามมาตรฐานของ American Water Works Association (AWWA) แสดงดังตารางที่ 2.3

**ตารางที่ 2.2** คุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของถ่านกัมมันต์ชนิดผง

คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด
ค่าไอโอดีน (มิลลิกรัมต่อกรัม)	ไม่น้อยกว่า 600
ความหนาแน่นปรากฏ (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	0.20 – 0.75

ที่มา : มาตรฐานอุตสาหกรรม (2547)

**ตารางที่ 2.3** คุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด

คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด
ค่าไอโอดีน (มิลลิกรัมต่อกรัม)	ไม่น้อยกว่า 600
ความชื้น (ร้อยละ)	5 ไม่เกิน 8
ความหนาแน่นปรากฏ (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	ไม่น้อยกว่า 0.36
ความแข็ง (ร้อยละ)	ไม่น้อยกว่า 70

ที่มา: มาตรฐานอุตสาหกรรม (2547)

#### 6. แบ่งตามค่าความเป็นกรดต่างเมื่อละลายน้ำ

- ถ่านกัมมันต์ชนิดแอล (L type) เป็นถ่านกัมมันต์ที่อยู่ในสารละลายแล้วมีสมบัติเป็นกรด โดยส่วนใหญ่หมู่ฟังก์ชันที่อยู่บนพื้นผิวเป็นอนุพันธ์ของหมู่คาร์บอกซิล (carboxyl)
- ถ่านกัมมันต์ชนิดเอช (H type) เป็นถ่านกัมมันต์ที่อยู่ในสารละลายแล้วมีสมบัติเป็นด่าง โดยส่วนใหญ่หมู่ฟังก์ชันที่อยู่บนพื้นผิว ได้แก่ ควินิน (quinine) ฟีนอล (phenol) และคาร์บอกซิเลท (carboxylate)

## การผลิตถ่านกัมมันต์

### 1. การเตรียมวัตถุดิบ

การเตรียมวัตถุดิบเพื่อเข้ากระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ เป็นขั้นตอนที่สำคัญเพื่อความสามารถในการกำหนดคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ได้ ปัจจัยที่ต้องพิจารณา ดังนี้

ก. ความชื้น ความชื้นของวัตถุดิบก่อนเข้าขั้นตอนการคาร์บอนไนซ์ ควรควบคุมให้มีค่าต่ำสุดที่จะเป็นไปได้เพื่อเป็นการลดเวลาและลดมลภาวะในรูปของควัน อีกทั้งสามารถลดพลังงานในการคาร์บอนไนซ์ การลดความชื้นกระทำโดยการอบด้วยเตาอบโดยตรงหรือการตากแดดซึ่งเป็นวิธีนิยมทำกันเพราะสะดวกและราคาถูก แต่ในโรงงานผลิตมักใช้ทั้งสอบแบบซึ่งขึ้นกับลักษณะภูมิอากาศ

ข. การลดขนาด การลดขนาดของวัตถุดิบบางประเภท ก่อนเข้าขั้นตอนการคาร์บอนไนซ์มีความจำเป็นเพื่อให้ความร้อนกระจายตัวเข้าไปในวัตถุดิบอย่างทั่วถึง เช่น การลดขนาดของถ่านหิน การลดขนาดทำโดยนำวัตถุดิบผ่านเครื่องลดขนาดที่บางประเภท มีตัวคัดขนาดได้ในเวลาเดียวกัน

ค. การกักเก็บวัตถุดิบ เมื่อวัตถุดิบที่พร้อมจะผ่านขั้นตอนการคาร์บอนไนซ์ จะถูกนำไปเก็บในที่กักเก็บที่มีดัดขึ้นป้องกันความชื้นเพิ่มขึ้น อันเนื่องจากฝนหรือที่ที่มีอากาศถ่ายเทได้ เพื่อป้องกันการติดไฟด้วยตัวเองในกรณีเก็บไว้นานในภาวะอากาศร้อน

### 2. การคาร์บอนไนซ์

กระบวนการคาร์บอนไนซ์เป็นการไพโรไลซิสซึ่งเกิดขึ้นในที่อัดอากาศ เพื่อเพิ่มสัดส่วนคาร์บอนของสารอินทรีย์ ขณะเดียวกันก็ได้ผลิตภัณฑ์อื่นที่เป็นของเหลวและแก๊สออกมาด้วย โดยโครงสร้างวงแหวนอะโรมาติกหลักที่เหลือนกลายเป็นโครงสร้างของถ่านชาร์ ส่วนกลุ่มโครงสร้างโมเลกุลหรือหมู่ที่มีขนาดเล็กกว่า จะกลั่นสลายตัวออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้แก่ น้ำ แอมโมเนีย น้ำมันชาร์ และแก๊สต่างๆ โดยใช้ความร้อนไล่ความชื้น และสารระเหยต่างๆ ออกจากวัตถุดิบทำให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ของแข็งสีดำ เรียกว่า ถ่านชาร์ (Char) ส่วนที่หลุดออกมา คือ แก๊สและน้ำมันชาร์ กระบวนการคาร์บอนไนซ์ขั้นเป็นการเพิ่มร้อยละของคาร์บอนให้สูงขึ้น การคาร์บอนไนซ์ให้ได้ถ่านที่มีสมบัติที่ต้องการ ทำได้โดยการปรับภาวะให้เหมาะสมโดยมีตัวแปร คือ

ก. อุณหภูมิและเวลา อุณหภูมิมีผลต่อปริมาณของผลิตภัณฑ์มากที่สุด และเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดของการคาร์บอนไนซ์ คือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น น้ำหนักถ่านชาร์ที่ก่อนผลิตภัณฑ์จะลดลง และการเพิ่มอุณหภูมิยังเป็นการเพิ่มพลังงานเพื่อทำลายพันธะภายในโครงสร้างของวัตถุดิบนั้น

ข. อัตราการให้ความร้อน อัตราการให้ความร้อนจะมีผลต่อคุณสมบัติและปริมาณของน้ำมันชาร์และสารระเหย การเพิ่มอัตราความร้อนอย่างรวดเร็วจะมีผลทำให้ปริมาณสารระเหยถูกปลดปล่อยอย่างรวดเร็ว ทำให้ถ่านที่ได้มีรูพรุนขนาดใหญ่ ความว่องไวในการทำปฏิกิริยาสูงกว่าถ่านที่ได้จากการให้ความร้อนด้วยอัตราที่ต่ำกว่า เพราะถ่านที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์ด้วยการอัตรา

การเพิ่มอุณหภูมิสูง คาร์บอนจะเรียงตัวเป็นระเบียบน้อยกว่าทำให้เกิดช่องว่างเป็นรูพรุนขนาดใหญ่ เมื่อทำการกระตุ้น สารกระตุ้นสามารถเข้าไปทำปฏิกิริยาได้ง่าย

ค. ตัวกลางของปฏิกิริยา ตัวกลางมีผลกระทบต่อปฏิกิริยาถ้าแก๊สและไอที่เกิดขึ้นระหว่างการไพโรไลซิส ถูกพาออกไปอย่างรวดเร็วแก๊สที่ใช้เป็นตัวกลางเช่น แก๊สไนโตรเจน (เฉื่อยต่อปฏิกิริยาการเผาไหม้ของคาร์บอน) และแก๊สจากการเผาไหม้ถ้าตัวกลางเป็นแก๊สที่ได้จากการเผาไหม้ ปริมาณถ่านที่ได้จะน้อยกว่าตัวกลางที่เป็นแก๊สไนโตรเจน แต่มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยากับตัวกระตุ้น

ง. ธรรมชาติของวัตถุดิบ วัตถุดิบแต่ละชนิดมีภาวะที่เหมาะสมแตกต่างกัน ในการคาร์บอนไนซ์โดยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากวัตถุดิบที่ต่างกัน อาจใช้วิธีกระตุ้นที่ต่างกัน เพื่อให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณภาพดีที่สุดเหมาะกับการนำไปใช้ในระบอบที่เหมาะสมต่อไป

### 3. การกระตุ้นถ่านกัมมันต์แบ่งตามกลไกได้ 2 ประเภท คือ

ก. วิธีการกระตุ้นทางเคมี (chemical activation) เป็นการผลิตถ่านกัมมันต์ โดยให้สารกระตุ้นทำปฏิกิริยาเคมีกับผิวคาร์บอน โดยมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งขั้นตอนการกระตุ้นด้วยสารเคมีนั้น ข้อดีของวิธีนี้คือใช้อุณหภูมิไม่สูงมาก(400-600 องศาเซลเซียส) แต่มีข้อเสียคือ มีสารเคมีตกค้างในถ่านกัมมันต์ทำให้ต้องเสียเวลา และค่าใช้จ่ายในการล้างสารเคมีดังกล่าวออกเพิ่มขึ้น รวมทั้งเครื่องที่ใช้ต้องเป็นชนิดพิเศษที่สามารถต้านทานการกัดกร่อนได้ เพราะสารเคมีเหล่านี้เป็นสารกัดกร่อน สารที่นิยมใช้เป็นตัวกระตุ้นส่วนใหญ่เป็นสารดูดน้ำ (dehydrating agent) ได้แก่ ซิงค์คลอไรด์ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ กรดฟอสฟอริก เป็นต้น

ข. วิธีกระตุ้นทางกายภาพ เป็นการกระตุ้นถ่านกัมมันต์โดยที่ผิวคาร์บอนเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น การจัดเรียงตัวใหม่ ซึ่งจะเพิ่มความสามารถในการดูดซับของถ่านให้สูงขึ้น นิยมใช้แก๊สออกซิไดซ์ต่างๆ เช่น ไอน้ำ อิมตัวยั้งยวด แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สออกซิเจน และอากาศ เป็นต้น ร่วมกับการใช้ความร้อน ปฏิกิริยาการกระตุ้นอาจเกิดจากความร้อนเพียงอย่างเดียว แต่ต้องใช้อุณหภูมิที่สูงมากถึง 1200 องศาเซลเซียส แต่พบว่าถ่านกัมมันต์ผลิตได้จะมีคุณภาพต่ำกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตโดยการกระตุ้นด้วยแก๊สออกซิไดซ์

ปัจจัยที่มีผลต่อการกระตุ้นด้วยวิธีนี้ คือ

- ชนิดและปริมาณขององค์ประกอบที่มีอยู่ในวัตถุดิบ
- คุณสมบัติทางเคมีและอัตราส่วนของแก๊สที่ใช้
- อุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยา
- ระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยา

สำหรับข้อดีของการกระตุ้นทางกายภาพ คือ ไม่มีสารเคมีตกค้าง แต่มีข้อเสีย คือ ต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่าการกระตุ้นด้วยสารเคมี (700-1200 องศาเซลเซียส)

### ประเภทถ่านกัมมันต์

1) ถ่านกัมมันต์แบบผง (Powdered Activated Carbon, PAC) ถ่านกัมมันต์ผงเป็นรูปแบบดั้งเดิมของถ่านที่ยังนิยมใช้ในทุกวันนี้ โดยทั่วไปขนาดของผงถ่านจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 0.15-0.25 มิลลิเมตรมีค่าไอโอดีนไม่น้อยกว่า 600 ถ่านในรูปผงมีจุดเด่นตรงตัวถ่านมีสัดส่วนของพื้นที่ผิว (นอก) ต่อปริมาตรมาก ถ่านผงเหมาะกับการใช้งานแบบเติมลงในภาชนะของเหลวโดยตรงมากกว่าการบรรจุในท่อและปล่อยของเหลวไหลผ่านผงถ่าน เนื่องจากวิธีหลังจะสูญเสียผงถ่านได้ง่ายกว่า

2) ถ่านกัมมันต์แบบเกล็ด (Granular Activated Carbon, GAC) ถ่านกัมมันต์ในรูปเกล็ดนิยมใช้ในการดูดซับก๊าซหรือไอของสาร เนื่องจากขนาดเกล็ดใหญ่กว่าผงทำให้ก๊าซไหลผ่านได้ง่ายกว่า

3) ถ่านกัมมันต์อัดแท่ง (Extruded Activated Carbon, EAC) เป็นถ่านกัมมันต์ที่นำไปขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดรีด (extruder) ทำให้ได้ถ่านลักษณะทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.8-4.5 มิลลิเมตร ถ่านประเภทนี้เหมาะกับการกรองหรือดูดซับก๊าซ เนื่องจากทำให้ความดันก๊าซตก (pressure drop) น้อยกว่าถ่านกัมมันต์ประเภทอื่น นอกจากนี้ถ่านอัดแท่งยังมีความแข็งแรงเชิงกลสูง อีกทั้งทำให้เกิดละอองฝุ่นน้อยด้วย

4) ถ่านกัมมันต์เคลือบอนุภาค (Impregnated Carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ชนิดพิเศษที่ได้เติมโมเลกุลสารอนินทรีย์ลงไปในโครงสร้างเช่น อนุภาคโลหะเงิน ทำให้ถ่านสามารถฆ่าเชื้อโรคได้นอกเหนือจากสมบัติในการกรองสาร ดังนั้น จึงมีการนำถ่านชนิดนี้มาใช้กับระบบกรองน้ำของเครื่องกรองน้ำ ทั้งนี้มีแหล่งข้อมูลบางแห่งแย้งว่า การใส่อนุภาคเงินเข้าไปในโครงสร้างถ่านจะทำให้ถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพในการกรองลดลง และยังมีอีกหลายประเด็นของถ่านชนิดนี้ที่ถุกแย้ง เช่น ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อของถ่านเมื่อใช้งานไประยะหนึ่ง ฯลฯ

5) ถ่านกัมมันต์เคลือบโพลิเมอร์ (Polymers Coated Carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ชนิดพิเศษที่ถูกละอองด้วยสารโพลิเมอร์บางชนิดที่มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ (biocompatible polymer) โดยใช้เทคนิคพิเศษ ซึ่งชั้นเคลือบโพลิเมอร์มีสมบัติยอมให้สารบางอย่างผ่านไปได้ ถ่านชนิดนี้ถูกใช้เป็นวัสดุดูดซับสารพิษหรือยาสำหรับกระบวนการฟอกเลือดที่เรียกว่า ฮีโมเพอร์ฟิวชัน (Hemoperfusion)

### 3) โลหะหนัก

โลหะหนักมีหลายชนิดแต่ชนิดที่ถูกกำหนดไว้ในมาตรฐานอาหารส่วนใหญ่จะมี 3 ชนิด ได้แก่ ปรอท แคดเมียม และตะกั่ว อันตรายของโลหะเหล่านี้ เกิดเนื่องจากโลหะเหล่านี้เมื่อเข้าไปในสิ่งมีชีวิต จะไปรบกวนการทำงานของเซลล์โดย

1. ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์บางชนิด
2. แทนที่โลหะสำคัญของ enzymes ทำให้เอนไซม์ทำงานได้น้อยลงหรือไม่ได้เลย
3. เปลี่ยนแปลงโครงสร้างของชีวโมเลกุล

#### ตะกั่ว (Lead)

ตะกั่วเป็นธาตุชนิดหนึ่งจัดอยู่ในจำพวกโลหะหนักพบได้ทั่วไปทั้งในดิน หิน น้ำ พืช และอากาศ ในสภาวะปกติมีสถานะเป็นของแข็ง สีเทาเข้ม มีจุดหลอมเหลวต่ำ อ่อน สามารถทุบ รีด ดึง หรือนำไปหลอม หล่อ ดัดแปลงให้เป็นรูปต่างๆ ได้ง่าย ไม่ละลายน้ำ ละลายได้ในกรดไนตริก และกรดกำมะถันเข้มข้นที่มีความร้อนเมื่อสาร ตะกั่วเข้าสู่ร่างกาย ส่วนใหญ่จะจับยึดอยู่กับเม็ดเลือดแดงจะไปลดการสร้างธาตุเหล็ก (heme) ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของเม็ดเลือดแดงโดยไปยับยั้งเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างธาตุเหล็ก (heme) นอกจากนี้ ตะกั่วยังมีผลต่อตับ หัวใจและเส้นเลือด ภาวะเจริญพันธุ์ โครโมโซม และเป็นก่อให้เกิดโรคมะเร็ง และความพิการแต่กำเนิดอีกด้วยมักจะนำไปใช้ในการผลิตสินค้าอุปโภคบริโภคหลากหลายชนิดที่มนุษย์ใช้ในชีวิตประจำวัน เช่น สีทาบ้าน สีป้องกันสนิม แบตเตอรี่รถยนต์ เครื่องใช้ไฟฟ้าบัดกรี เป็นต้น (อนงค์ ไพจิตรประภาภรณ์ และคณะ, 2545)

คุณสมบัติโดยทั่วไปของสารตะกั่ว ตะกั่วเป็นโลหะหนัก มีเลขอะตอม 82 โดยเป็นธาตุที่ 5 ของหมู่ 4A ในตารางธาตุความถ่วงจำเพาะ 11.34 วาเลนซี (Valency) 0, +2 และ +4 ตะกั่วในธรรมชาติอยู่ในรูปของแร่กาไลนา คีรูไซต์ และแอนกลีไซต์ ตะกั่วบริสุทธิ์มีลักษณะเป็นของแข็ง สีเทาปนขาว สามารถแปรรูปได้ โดยการทุบรีด หล่อหลอมได้ง่าย สามารถผสมเข้ากับโลหะต่างๆ ได้ดีรวมทั้งการทำปฏิกิริยาเกิดเป็นเกลือของตะกั่วต่างๆ

#### ตารางที่ 2.4 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของสารตะกั่ว

คุณสมบัติทางกายภาพ	
สถานะ	ของแข็ง
ความหนาแน่น (ที่อุณหภูมิห้อง)	11.34 g/cm <sup>3</sup>
ความหนาแน่นของของเหลวที่จุดหลอมเหลว	10.66 g/cm <sup>3</sup>
จุดหลอมเหลว	600.61 K (327.46 °C)
จุดเดือด	2022 K (1749 °C)

ความร้อนของการหลอมเหลว	4.77 K· J/mol
ความร้อนของการกลายเป็นไอ	179.5 K· J/mol
ความร้อนจำเพาะ	(25 °C) 26.650 J/mol·K

ที่มา: ศูนย์การเรียนรู้อุตสาหกรรมเหมืองแร่, 2559

### ประเภทของสารตะกั่ว

ประเภทของสารตะกั่วมี 2 ประเภท ได้แก่

1) สารประกอบอินทรีย์ของตะกั่ว เช่น โลหะตะกั่ว ตะกั่วซัลเฟตออกไซด์ของตะกั่ว สารประกอบของเกลือตะกั่ว ตะกั่วคาร์บอเนตผสมรวมกับตะกั่วไฮดรอกไซด์ เรียกว่า “ตะกั่วขาว” ตะกั่วโครเมต ตะกั่วอาร์เซเนต และตะกั่วซิลิเกต

2) สารประกอบอนินทรีย์ของตะกั่ว เช่น ตะกั่วเตตระเอธิล ตะกั่วเตตระเมธิล ใช้เป็นสารกันน็อก (antiknock) ของเครื่องยนต์เวลาทำงาน

การดูดซึมของตะกั่วเข้าสู่ร่างกาย

การดูดซึมของตะกั่วเข้าสู่ร่างกาย ตะกั่วสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทาง คือ

1) การดูดซึมจากระบบทางเดินอาหาร แหล่งสำคัญ คือ การปนเปื้อนของตะกั่วในอาหาร น้ำ เครื่องดื่ม ยาสมุนไพรแผนโบราณ และภาชนะเครื่องใช้ที่มีตะกั่วปนเปื้อน พบว่าร้อยละ 70-85 ของตะกั่วที่เข้าสู่ร่างกายคนปกติได้จากอาหาร โดยเฉพาะผู้ใหญ่สามารถดูดซึมตะกั่วจากอาหารได้ประมาณร้อยละ 10 ของ ปริมาณตะกั่วในอาหาร และเด็กสามารถดูดซึมได้มากถึงร้อยละ 40-50 ของปริมาณตะกั่วในอาหาร ตะกั่วที่เข้าไปกับอาหารจะดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือด ที่ลำไส้เล็กส่วนต้น จากลำไส้เล็กจะเข้าสู่ตับ โดยผ่านทางเส้นเลือดดำใหญ่เข้าสู่กระแสเลือด การดูดซึมตะกั่วในทางเดินอาหารนั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น อายุ และภาวะโภชนาการ โดยในภาวะที่ท้องว่าง หรือได้รับอาหารที่ขาดธาตุแคลเซียม เหล็ก และทองแดง หรือมีสารฟอสเฟตต่ำจะทำให้ตะกั่วถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้ดีขึ้น

2) การดูดซึมจากระบบทางเดินหายใจ การหายใจเอาควัน หรือฟุ้งของตะกั่วที่หลอมเหลวเข้าไป เช่น จากการหลอมตะกั่ว หรือเชื่อมโลหะ ซึ่งเป็นทางเข้าสู่ร่างกายอันดับแรกของผู้ประกอบอาชีพที่สัมผัสตะกั่ว เช่น คนงานในโรงงานหลอมตะกั่ว โรงงานแบตเตอรี่ โรงงานผลิตสี เป็นต้น ตะกั่วสามารถดูดซึมผ่านถุงลมปอดเข้าสู่กระแสเลือดได้ โดยการดูดซึมจะเร็วมาก แต่ถ้าหายใจเอาอนุภาคของตะกั่วที่มีขนาดเล็กกว่า 0.75 ไมครอน เข้าไป เช่น จากสีเก่าที่หลุดออกมา การดูดซึมเข้าสู่ร่างกายจะช้ากว่า โดยทั่วไปร้อยละ 35-50 ของตะกั่ว จะดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือด โดยวิธีฟาโกไซโตซิส (Phagocytosis คือ กระบวนการทำลายสิ่งแปลกปลอมโดยเม็ดเลือดขาว) อาการที่

เกิดขึ้นมักจะรวดเร็วและรุนแรง การหายใจเอาอากาศที่มีไอหรืออนุภาคตะกั่วปริมาณ 1 ไมครอนต่อลูกบาศก์เมตรของอากาศ จะเพิ่มปริมาณตะกั่วในเลือดได้ 1-2 มิลลิกรัมต่อปริมาณเลือด 100 มิลลิเมตร ได้มีการกำหนดความเข้มข้นของตะกั่วที่ให้มีได้ในอากาศโดยไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกาย คือในบริเวณทำงานไม่ควรเกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตรของอากาศ สำหรับผู้ที่ทำงาน 8 ชั่วโมงต่อวัน หรือ 40-42 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ นอกจากนี้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ปริมาณสูงๆ ในอากาศจะช่วยให้การดูดซึมของตะกั่วในปอดเข้าสู่ร่างกายเพิ่มขึ้น

3) การดูดซึมทางผิวหนัง เกิดเฉพาะตะกั่วอินทรีย์เท่านั้น ผู้ที่มีโอกาสได้รับตะกั่วทางผิวหนังได้แก่ คนงานที่ทำงานในปั้มน้ำมัน ช่างซ่อมเครื่องยนต์ เนื่องจากในอุตสาหกรรมน้ำมัน มีการเติมเตตราเอทิลเลด (Tetraethyl lead) หรือ เตตราเมทิลเลด (Tetramethyl lead) ผสมในน้ำมันเบนซิน ดังนั้น เมื่อคนงานถูกน้ำมันหกรดผิวหนัง หรือใช้น้ำมันเบนซินล้างมือ เตตราเอทิลสามารถละลายชั้นไขมันของผิวหนังได้ ตะกั่วจึงสามารถซึมผ่านผิวหนังและเข้าสู่ระบบไหลเวียนเลือดของร่างกายไปสู่ตับ และจะเปลี่ยนเป็นไตรเอทิลเลด (Triethyl lead) ได้ช้ามาก

4) การกระจายของตะกั่วในร่างกาย หลังจากตะกั่วดูดซึมจากลำไส้แล้ว ตะกั่วจะเข้าสู่ตับโดยผ่านทางเส้นเลือดดำ บางส่วนจะถูกขับออกทางน้ำดี และอุจจาระ ถ้าหากตะกั่วเข้าไปในปอด จะเข้าสู่กระแสเลือดโดยตรงได้เลย กระแสเลือดจะพาตะกั่วไปทั่วร่างกาย โดยใช้เวลา ประมาณ 14 วินาที ตะกั่วที่ถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย ระยะแรกจะอยู่ในสภาวะเลดไดฟอสเฟต (lead diphosphate) ซึ่งจะกระจายไปอยู่ที่เส้นผม และตามเนื้อเยื่ออ่อน (Soft tissue) เช่น สมอง ปอด ม้าม ตับ และไต จากนั้นบางส่วนจะถูกส่งไปสะสม ที่กระดูกยาว ในสภาวะเลดไตรฟอสเฟต โดยร้อยละ 30 ของตะกั่วในร่างกาย จะเก็บไว้ที่เนื้อเยื่ออ่อน และร้อยละ 70 จะเก็บไว้ที่กระดูกยาว ระดับตะกั่วในกระดูกค่อนข้างคงที่ แต่ปัจจัยสำคัญ ที่ทำให้ตะกั่วถูกปล่อยออกจากกระดูก คือ สภาวะที่ร่างกายมีภาวะเครียดเกิดขึ้น เช่น มีไข้ ภาวะความเป็นกรด-ด่างของร่างกายผิดปกติ การลดระดับแคลเซียมในร่างกาย หรือลดระดับแคลเซียมในเลือด ตะกั่วจะกลับออกจากกระดูก เข้าสู่กระแสเลือด และไปอยู่ที่เนื้อเยื่ออ่อนดัง กล่าวมากขึ้น ทำให้ผู้ป่วยซึ่งเดิมไม่มีอาการจะเกิด อาการโรคพิษตะกั่วเฉียบพลันได้

5) การขับถ่ายตะกั่วออกจากร่างกาย ตะกั่วประมาณ 75-80 ของตะกั่วที่ถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายทั้งหมดจะถูกขับออกทางอุจจาระ นอกจากนั้นยังมีการถูกขับออกจากร่างกายทางน้ำดี เหงื่อ และน้ำนม

พิษของตะกั่ว

พิษของตะกั่ว เมื่อมนุษย์ได้รับสารตะกั่วเข้าสู่ร่างกายในปริมาณมากๆ และเป็นระยะเวลา นานจนเกิดอาการเป็นพิษ เรียกว่า โรคแพ้พิษตะกั่ว (lead poisoning) สารตะกั่วจะก่อให้เกิดลักษณะและอาการความเป็นพิษได้ ดังนี้ (กรมวิทยาศาสตร์บริการ. 2547)

- 1) ส่งผลต่อเยื่อหุ้มเซลล์ โดยทำให้เม็ดเลือดแดงแตกง่ายและอายุสั้น
- 2) ส่งผลร้ายต่อการสร้างฮีโมโกลบิน (heme) และฮีโมโกลบิน (hemoglobin) ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญของเม็ดเลือดแดง โดยตะกั่วจะยับยั้งการสร้างฮีโมโกลบินและฮีโมโกลบิน ซึ่งจำเป็นต่อการนำพาออกซิเจนในเม็ดเลือดแดง ผลต่อการเปลี่ยนแปลงในการสร้างฮีโมโกลบินจะปรากฏให้เห็นก่อนที่จะมีอาการทางระบบประสาทหรือระบบอื่นๆ นอกจากนั้นตะกั่วยังมีการสะสมในสมองได้
- 3) ส่งผลต่อการทำงานของไตถ้าตะกั่วในเลือดสูงกว่า 100 mcg/dL จะก่อให้เกิดการทำลายเซลล์ของท่อเล็กๆของไต บางครั้งอาการพิษของตะกั่วจะเกิดร่วมกับโรคเก๊าท์ เนื่องจากตะกั่วทำให้ไตกรองของเสียได้ลดลงจากปกติ นอกจากนี้ตะกั่วยังทำให้เนื้อเยื่อของไตแข็งกระด้าง (sclerosis) และมีพังผืดเหนียวระหว่างเนื้อเยื่อของไต เป็นผลทำให้ประสิทธิภาพการกรองของเสียของไตลดลง ทำให้ไตพิการและอาจเกิดอาการไตวายได้
- 4) ส่งผลต่อสมองและระบบประสาท ตะกั่วจะทำลายระบบประสาทที่มีหน้าที่จดจำเรียนรู้ และเกี่ยวข้องกับการรับรู้ความรู้สึก ทำลายเนื้อเยื่อสมอง ทำให้เกิดภาวะสมองอักเสบจากพิษตะกั่ว อาการทางสมองที่เกิดขึ้นได้แก่ ปวดหัว อ่อนเพลีย ง่วงนอน ซึม กระวนกระวาย ปัญญาอ่อน ความจำเสื่อม นอนไม่หลับ ประสาทหลอน อาจเพ้อคลั่ง วิงเวียน ชัก อาจหมดสติ และเป็นอัมพาต ถ้ามีอาการนานๆอาจกลายเป็นใบ้หรือตาบอดหรือปวดท้องอย่างรุนแรงได้
- 5) ผลต่อสารพันธุกรรม ตะกั่วจะรบกวนการทำงานทางชีวเคมีของ DNA และ RNA ถือว่าสารตะกั่วเป็นสารก่อกลายพันธุ์ และสารก่อมะเร็งชนิดหนึ่ง อาการที่สำคัญอีกอย่างหนึ่ง คือ เมื่อตะกั่วผ่านเข้าสู่ร่างกายแล้ว จะมีการสะสมที่ตัวสมอง และระบบประสาทรอบนอก (peripheral nervous system) หลังจากนั้นจะถูกขับออกทางไต น้ำนม เหงื่อ และยังสามารถแพร่ผ่านรกไปสู่เด็กในครรภ์มารดาได้ ตะกั่วเป็นพิษต่อร่างกายมนุษย์อย่างร้ายแรง เพราะภายในร่างกายมนุษย์ไม่มีควมมีสารตะกั่วอยู่เลยถ้าพบสารตะกั่วในเลือดเกิน 10 mcg/dLจะถือว่าผิดปกติทันที แต่ร่างกายอาจยังไม่แสดงออกมา เพราะยังสามารถทนต่อตะกั่วในเลือดได้มากพอสมควร อย่างไรก็ตาม หากในร่างกายมีสารตะกั่วมากกว่า 40 mcg/dLถือว่าเป็นอันตราย จะมีอาการเป็นพิษ และถ้าหากมีสารตะกั่วมากกว่า 100 - 150 mcg/dLจะทำให้เกิดอาการโคม่าหรือเสียชีวิตได้ทันทีผู้ที่ได้รับพิษเฉียบพลันจะมีอาการของโรคเนื้อสมองเสื่อมเฉียบพลัน มักเกิดเมื่อระดับตะกั่วในเลือดสูงเกิน 120 mcg/dLเป็นการได้รับสารพิษในปริมาณสูงในทันที ทำให้เกิดอาการปวดท้องรุนแรง คลื่นไส้ อาเจียน คอแห้ง เป็นตะคริวที่ขา มีอาการทางสมอง ชัก หมดสติและอาจตายได้ส่วนมากเกิดกับบุคคลที่มีอาชีพที่สัมผัสกับตะกั่ว ตะกั่วเมื่อเข้าสู่ร่างกาย ไม่ว่าจะทางใด จะถูกดูดซึมเข้าสู่ระบบไหลเวียนโลหิต ไปจับกับเม็ดเลือดแดงแทนที่เหล็ก ( $Fe^{+2}$ ) ซึ่งเป็นโลหะที่จำเป็น ในการสร้างเม็ดเลือดแดง ทำให้เกิดอาการโลหิตจาง (Anaemia) และมีผลให้ ปริมาณเหล็กในน้ำเหลือง เพิ่มขึ้นผิดปกติ ตะกั่วบางส่วน ไปสะสมในกระดูก ตะกั่ว ( $Pb^{+2}$ ) จะเข้าไปแทนที่ แคลเซียม ( $Ca^{+2}$ ) ซึ่งเป็นโลหะ ที่จำเป็นในการสร้างกระดูก และฟัน

ทำให้มีอาการปวดตามข้อ กระดูกฝุ และหักง่าย ถ้าไปสะสมที่รากฟัน ทำให้เห็นสีม่วง หรือสีดำบริเวณเหงือก บางครั้งเรียกว่า เส้นตะกั่ว (Lead line) ฟันหลุดได้ง่าย มีผู้วิจัย พบว่าตะกั่ว สามารถเกาะกับกระดูกในร่างกาย ได้นานถึง 32 ปี และยังสามารถสะสมในไขมัน ระบบประสาท สมอง ระบบน้ำเหลือง ตับ และไต อาการพิษเรื้อรังที่พบบ่อย คือ อาการของระบบย่อยอาหาร จะเกิดการปวดท้อง น้ำหนักลด เบื่ออาหารคลื่นไส้ อาเจียน ท้องผูก อาการพิษทางประสาท และสมอง ทำให้ทรงตัวไม่อยู่ เกิดอาการประสาทหลอน ซึมไม่รู้สึกตัว ชัก มือและเท้าตก เป็นอัมพาต สลบ และอาจตายได้ โรคที่เกิดจากสารตะกั่วหรือสารประกอบของตะกั่ว จากสถิติของงานประกันสังคมปี 2552-2555 พบว่ามีผู้ได้รับพิษและเป็นโรคจากตะกั่วดังมีรายละเอียดแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 โรคที่เกิดจากสารตะกั่วหรือสารประกอบของตะกั่ว

โรคที่เกิดจากการสารตะกั่วหรือสารประกอบของตะกั่วในปี 2552-2555	ความรุนแรง					รวม
	ตาย (Death)	ทุพพลภาพ (Permanent Total Disability )	สูญเสียอวัยวะบางส่วน (Permanent Partial Disability)	หยุดงานเกิน 3 วัน (Temporary Disability >3Days)	หยุดงานไม่เกิน 3 วัน (Temporary Disability <3Days)	
โรคที่เกิดจากสารตะกั่วหรือสารประกอบของตะกั่ว (2552)	-	-	35	548	3,992	4,575
โรคที่เกิดจากสารตะกั่วหรือสารประกอบของตะกั่ว (2553)	-	-	-	-	14	14
โรคที่เกิดจากสารตะกั่วหรือสารประกอบของตะกั่ว (2554)	-	-	-	1	33	34
โรคที่เกิดจากสารตะกั่วหรือสารประกอบของตะกั่ว (2555)	-	-	-	3	57	60

ที่มา: สถิติงานประกันสังคม, 2552

จากสถิติงานประกันสังคมปี 2552-2555 พบว่ามีผู้ที่ได้รับอันตรายจากสารตะกั่วจำนวน 4,683 ราย สามารถแบ่งตามความรุนแรงได้ดังนี้ สูญเสียอวัยวะบางส่วนจำนวน 35 ราย คิดเป็นร้อยละ 0.74 หยุดงานเกิน 3 วันจำนวน 552 ราย คิดเป็นร้อยละ 11.7 และหยุดงานไม่เกิน 3 วันจำนวน 4,096 ราย คิดเป็นร้อยละ 85.24

#### มาตรฐานของตะกั่ว

กำหนดค่าปริมาณตะกั่วสูงสุดที่ยอมให้มีได้ทั่วไปในสิ่งแวดล้อมคือ ค่า MAC (Maximum Allowable Concentrations) หรือ TLV (Threshold Limit Value) ซึ่งมีความสำคัญและจำเป็นเพื่อสุขภาพอนามัยที่ดีของประชาชน ค่าตะกั่วสูงสุดที่ยอมให้มีได้ มีดังนี้

- ในบรรยากาศการทำงานของผู้ที่ทำงานไม่เกินวันละ 8 ชั่วโมง เท่ากับ 0.2 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร

- ในน้ำดื่ม เท่ากับ 0.025 มิลลิกรัม/ลิตร
- ในอาหาร เท่ากับ 2.56 มิลลิกรัม/กิโลกรัม
- ในอากาศทั่วไป เท่ากับ 0.15 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร
- ในน้ำ เท่ากับ 0.05 มิลลิกรัม/ลิตร

สำหรับผู้ปฏิบัติงานวันละ 8 ชั่วโมง ในบรรยากาศการทำงานที่มีความเข้มข้นสารตะกั่วในอากาศ 50 ไมโครกรัม / ลูกบาศก์เมตร สามารถทำให้ผู้สัมผัสมีระดับตะกั่วในเลือดสูงขึ้นได้ไม่เกิน 40 ไมโครกรัม/เดซิลิตร และทุก ๆ 1 ไมโครกรัม / ลูกบาศก์เมตรของสารตะกั่วในอากาศที่เพิ่มขึ้นสามารถทำให้ระดับตะกั่วในเลือดเพิ่มขึ้นได้ 1.5 - 3.0 ไมโครกรัม / เดซิลิตร

#### แคดเมียม (Cadmium)

แคดเมียม มีสูตรทางเคมีคือ Cd เป็นโลหะสีเงินขาว แวววาวเป็นสีน้ำเงินจางๆ ไม่มีกลิ่น มีน้ำหนักโมเลกุล 112.4 แคดเมียมเป็นธาตุโลหะหนักที่มีสีเงินแกมขาว มีคุณสมบัติเบา อ่อน ดัดโค้งได้ง่ายและทนต่อการกัดกร่อน มีความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) 8.65 ค่า Mohs hardness 2.0 ค่า refractive index 1.13 จุดหลอมเหลว(m.p.) 302.90 °C จุดเดือด (b.p.) 7670 °C มีความดันไอ (vapor pressure) 1.4 mm ที่ 4000 °C และ 16 mm ที่ 5000 °C ดังนั้นเมื่อมีการใช้ความร้อนสูง เช่น การอบแร่การบัดกรีการหลอมเหล็กและการเผาของเสีย จะทำให้มีไอของแคดเมียมออกมาได้ในระหว่างกระบวนการที่มีการให้ความร้อน และไอของแคดเมียมในอากาศจะถูกออกซิไดส์อย่างรวดเร็วไปเป็นแคดเมียมออกไซด์ (CdO) นอกจากนี้แคดเมียมยังเป็นธาตุที่ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ดีในกรดไนตริก (HNO<sub>3</sub>) และกรดไฮโดรคลอริก (HCl) เจือจางซึ่งจะทำให้เป็นอันตรายต่อคนแบบเฉียบพลันเมื่อกินเข้าไป โดยทั่วไปจะไม่ค่อยพบแคดเมียมในรูปของแคดเมียมบริสุทธิ์ แต่มักจะพบในรูปของสารประกอบของเกลือเช่น cadmium sulfate (CdSO<sub>4</sub>) cadmium nitrate (CdNO<sub>3</sub>)

cadmium chloride ( $\text{CdCl}_2$ ) ซึ่งเป็นสารประกอบที่ไม่มีสีและละลายได้ดีในน้ำ และแคดเมียมยังสามารถรวมตัวกับสารอื่นๆ เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ละลายน้ำได้โดยเฉพาะเมื่อรวมกับ cyanides และ amines

**ตารางที่ 2.6** แสดงคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของสารแคดเมียม

สมบัติ	ค่าแสดงสมบัติ					
สถานะ	ของแข็ง					
ความหนาแน่น (ใกล้ r.t.)	8.65 ก./ซม. <sup>3</sup>					
ความหนาแน่นของของเหลวที่ m.p.	7.996 ก./ซม. <sup>3</sup>					
จุดหลอมเหลว	594.22 K (321.07 °C)					
จุดเดือด	1040 K (767 °C)					
ความร้อนของการหลอมเหลว	6.21 กิโลจูล/โมล					
ความร้อนของการกลายเป็นไอ	99.87 กิโลจูล/โมล					
ความร้อนจำเพาะ	(25 °C) 26.020 J/(mol·K)					
ความดันไอ						
P/Pa	1	10	100	1 k	10 k	100 k
ที่ T K	530	583	654	745	867	1040
โครงสร้างผลึก	hexagonal					
สถานะออกซิเดชัน	2 (ออกไซด์เป็นเบสปานกลาง)					
อิเล็กโตรเนกาติวิตี	1.69 (พอลิงสเกล)					
พลังงานไอออไนเซชัน	ระดับที่ 1: 867.8 กิโลจูล/โมล					
	ระดับที่ 2: 1631.4 กิโลจูล/โมล					
	ระดับที่ 3: 3616 กิโลจูล/โมล					

**ที่มา:** เขมขิต ธนากิจชาญเจริญ นงนาถ เมฆรังสิมันต์ สุรชัย ศีลามาณีโชต, 2551

#### การแพร่กระจายและการรับสัมผัส

จากการใช้อย่างกว้างขวางจึงพบโลหะแคดเมียมปะปนอยู่ในสิ่งแวดล้อม บรรยากาศและในอาหารโดยไม่รู้ตัว เช่น คนงานที่ทำงานใช้โลหะแคดเมียมจะได้รับทางการหายใจเป็นส่วนใหญ่ คนทั่วไปจะได้รับจากอาหารที่กินเข้าไปเป็นหลัก และได้รับจากอากาศเล็กน้อยขึ้นอยู่กับความสะอาดของอากาศ แต่คนที่สูบบุหรี่จะได้รับโลหะแคดเมียมจากบุหรี่ยามากพอสมควร

### ความเป็นพิษของแคดเมียม

การได้รับแคดเมียมจำนวนมากอาจจะทำให้เกิดพิษฉับพลันได้ แต่ส่วนใหญ่โรคที่เกิดจากแคดเมียมมันเป็นชนิดเรื้อรังโดยการได้รับแคดเมียมติดต่อกันเป็นเวลานาน โรคที่เกิดขึ้นอาจจะแบ่งออกเป็นกลุ่มได้ดังนี้

1) โรคไตอักเสบ จะแสดงออกโดยมีการอักเสบของไต โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ท่อไตซึ่งจับแคดเมียมในปัสสาวะสูง มีโปรตีน กลูโคสสูงในปัสสาวะ การทำงานทางท่อไตเสียการทำงาน พบว่ามีการสะสมของแคดเมียมที่หมวกไตก่อให้เกิดการอักเสบและเป็นอันตรายต่อไป และอาจเป็นไตวายได้ในที่สุด การเกิดโรคไตอักเสบนี้จะเป็นแบบถาวร แม้ว่าจะไม่ได้รับแคดเมียมต่อไปแล้ว แต่ไตก็ยังไม่สามารถฟื้นคืนกลับมาดังเดิมได้

2) โรคกระดูก แคดเมียมทำให้การสูญเสียแคลเซียมออกมาในปัสสาวะสูง และอาจมีแคดเมียมเข้าไปสะสมในกระดูกทำให้กระดูกพรุนและมีอาการปวดกระดูกอย่างมากโดยเฉพาะอย่างยิ่ง อาการปวดกระดูกสะโพก เช่นที่เกิดกับชาวญี่ปุ่นที่เมืองฟูซุ ในช่วงก่อนและระหว่างสงครามครั้งที่ 2 ซึ่งเรียกโรคนี้ว่า อิตอิตไต (itaitai) หรือ เออช เออช (ouch ouch) ซึ่งชื่อโรคมาจากเสียงร้องอย่างเจ็บปวดในภาษาญี่ปุ่นซึ่งได้รับแคดเมียมมาเป็นเวลานานจากการกินข้าวที่ปนเปื้อนด้วยแคดเมียมมาก คนกลุ่มนี้จะมีกระดูกเปราะ แตกหักง่าย และอาจมีความสูงลดลงได้ เพราะการสูญเสียแคลเซียมทำให้เป็นโรคกระดูกพรุน

3) โรคมะเร็ง มีข้อมูลการศึกษาติดตามคนงานที่ทำงานสัมผัสกับแคดเมียม เช่น โรงงานแบตเตอรี่แห่งขนาดเล็ก พบว่ามีความเสี่ยงต่อการเป็นโรคมะเร็งปอดสูงกว่าคนทั่วไปและอาจมีผลต่อการเสี่ยงเป็นโรคมะเร็งต่อมลูกหมากด้วย

### 4) กระบวนการดูดซับ (Adsorption Process)

การดูดซับเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการสะสมตัวของสาร หรือความเข้มข้นของสารที่บริเวณพื้นผิวหรือระหว่างผิวหน้า (interface) กระบวนการนี้สามารถเกิดที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่าง 2 สภาวะใด ๆ เช่น ของเหลวกับของเหลว ก๊าซกับของเหลว ก๊าซกับของแข็ง หรือของเหลวกับของแข็ง โดยโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่ถูกดูดจับเรียกว่า สารถูกดูดซับ (adsorbate) ส่วนสารที่ทำหน้าที่ดูดซับเรียกว่า สารดูดซับ (adsorbent)

### 4) สารดูดซับ (adsorbent)

กลไกของกระบวนการดูดซับผิวการดูดซับผิว (adsorption)

กลไกของกระบวนการดูดซับผิวการดูดซับผิว เป็นกระบวนการกักพวงสารละลายหรือสารแขวนลอยขนาดเล็กซึ่งละลายอยู่ในน้ำให้อยู่บนผิวของสารอีกชนิดหนึ่ง โดยที่สารละลายหรือสารแขวนลอย ขนาดเล็กนี้เรียกว่า adsorbate ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของสารที่ถูกดูดซับ

เรียกว่า Adsorbent การดูดติดผิวนี้จะเป็นการดูดติดแบบระหว่างสถานะ (Phase) ต่าง ๆ ทั้งสามสถานะ คือ ของเหลว (Liquid) ก๊าซ (Gas) และ ของแข็ง (Solid) ซึ่งมีได้ทั้งแบบ ของเหลว-ของเหลว ก๊าซ-ของเหลว ก๊าซ-ของแข็ง และ ของเหลว-ของแข็ง โดยในที่นี้จะพิจารณาถึงเฉพาะแบบ ของเหลว-ของแข็ง (Liquid –Solid Interface) ในการดูดติดผิวโมเลกุลของสารละลายหรือสารแขวนลอยก็จะถูกกำจัดออกจากน้ำและไปเกาะติดอยู่บนตัวดูดซับ โมเลกุลของสารส่วนใหญ่จะเกาะจับอยู่กับผิวภายในโพรงของตัวดูดซับและมีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่เกาะอยู่ที่ผิวภายนอก การถ่ายเทโมเลกุลจากน้ำไปหาตัวดูดซับเกิดขึ้นได้จนถึงสมดุลจึงหยุด ณ จุดสมดุล ความเข้มข้นของโมเลกุลในน้ำจะเหลือน้อยเพราะโมเลกุลส่วนใหญ่เคลื่อนที่ไปเกาะจับอยู่กับตัวดูดซับโดยในการเกาะติดจะมี Driving Force อยู่ 2 แบบ คือ การดูดซับทางกายภาพ และการดูดซับทางเคมี

#### ประเภทของการดูดซับ

ปัจจัยสำคัญในการบอกชนิดของกระบวนการดูดซับจะพิจารณาจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวของสารดูดซับ ถ้าแรงยึดเหนี่ยวเป็นแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals Forces) จะเป็นการดูดซับทางกายภาพ (physical adsorption) แต่ถ้าแรงยึดเหนี่ยวทำให้เกิดพันธะเคมีระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวของสารดูดซับจะเรียกว่า การดูดซับทางเคมี (chemical adsorption)

1) การดูดซับทางกายภาพเป็นการดูดซับที่เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลอย่างอ่อน คือ แรงแวนเดอร์วาลส์ (Vander Waals Forces) ซึ่งเกิดจากการรวมแรง 2 ชนิด คือ แรงกระจาย (London dispersion force) และแรงไฟฟ้าสถิต (electrostatic force) การดึงดูดด้วยแรงที่อ่อนทำให้การดูดซับประเภทนี้มีพลังงานการคายความร้อนค่อนข้างน้อย คือ ต่ำกว่า 20 กิโลจูลต่อโมลและสามารถเกิดการผันกลับของกระบวนการได้ง่าย ซึ่งเป็นข้อดี เพราะสามารถฟื้นฟูสภาพของตัวดูดซับได้ง่ายด้วย สารที่ถูกดูดซับสามารถเกาะอยู่รอบ ๆ ผิวของสารดูดซับได้หลายชั้น (multilayer) หรือในแต่ละชั้นของโมเลกุลสารถูกดูดซับจะติดอยู่กับชั้นของโมเลกุลของสารถูกดูดซับในชั้นก่อนหน้า โดยจำนวนชั้นจะเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของสารถูกดูดซับ และจะเพิ่มมากขึ้นตามความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูกละลายในสารละลาย

2) การดูดซับทางเคมีมีการดูดซับประเภทนี้เกิดขึ้นเมื่อตัวถูกละลายกับตัวดูดซับทำปฏิกิริยาเคมีกัน ซึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของตัวถูกละลายเพิ่มเติม คือ มีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมหรือกลุ่มอะตอมเดิมแล้วมีการจัดเรียงอะตอมไปเป็นสารประกอบใหม่ขึ้น โดยมีพันธะเคมีซึ่งเป็นพันธะที่แข็งแรง มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้องทำให้ความร้อนของการดูดซับมีค่าสูงประมาณ 50-400 กิโลจูลต่อโมล หมายความว่า การกำจัดตัวถูกละลายออกจากผิวตัวดูดซับจะทำได้

ยาก คือไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับได้(irreversible) และการดูดซับประเภทนี้จะเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว(monolayer) เท่านั้น ซึ่งการดูดซับทางกายภาพและทางเคมีมีข้อแตกต่างกันหลายอย่าง

#### 4. การผลิตแผ่นไม้อัดจากเส้นใยมะพร้าวผสมตันรูปถาชี

##### 1) องค์ประกอบของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรส่วนใหญ่มีองค์ประกอบหลักทางอินทรีย์เคมี 3 ชนิด คือ เซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) และ ลิกนิน (Lignin) ในอัตราส่วน 4 :3 :2 โดยประมาณ โดยอยู่รวมกันในผนังเซลล์พืช

##### 1. เซลลูโลส

เซลลูโลส (Cellulose) เป็นพอลิเมอร์ของกลูโคสที่ต่อกันเป็นสายยาวโดยคาร์บอนตำแหน่งที่1ของกลูโคสโมเลกุลหนึ่งเชื่อมต่อกับคาร์บอนตำแหน่งที่ 4 ของกลูโคสอีกโมเลกุลหนึ่งที่อยู่ถัดไปด้วยพันธะไกลโคซิดิก (1,4  $\beta$ -linked glucopyranosyl unit) ไม่มีกิ่งก้านสาขา มีคุณสมบัติไม่ละลายในน้ำ และตัวทำละลายอินทรีย์หรือสารละลายต่างอ่อน แต่ละลายในสารละลายกรดและด่างแก่ ในพืชมีเซลลูโลสประมาณร้อยละ 30-50 ของน้ำหนักแห้ง เซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลักของผนังเซลล์พืช และเป็นวัตถุดิบที่มีความสำคัญทางอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมผลิตกระดาษและสิ่งทอโครงสร้างของเซลลูโลส คือ  $(C_6 H_{10} O_5)_n$  เซลลูโลส มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 20,000-750,000 ดาลตัน ซึ่งเท่ากับ 100-4,000 หน่วยกลูโคส (น้ำหนักโมเลกุลของกลูโคสเท่ากับ 180.16 ดาลตัน) โมเลกุลของเซลลูโลส จะเรียงกันเป็นมัด หรือเรียกว่า Fibril ในแต่ละมัดของโมเลกุลเซลลูโลสพบว่ามีการจัดเรียงตัว 2 แบบ คือ แบบที่เป็นกระจุกที่อัดตัวกันแน่น (Crystalloid) และแบบที่อยู่รวมกันแบบหลวมๆ (Amorphous) หรือเรียกว่า Fringe micelle แบบที่เป็นกระจุกจะถูกละลายได้ง่ายโดยเซลลูโลสทั่ว ๆ ไป

##### 2. เฮมิเซลลูโลส

เฮมิเซลลูโลส (Hemic-cellulose) เป็นสารประกอบพวก Amorphous polymeric carbohydrate มีลักษณะเป็น Heterogeneous โดยเป็นพอลิเมอร์น้ำตาลหลายชนิดที่รวมตัวกันพบมากในพวกไม้เนื้อแข็งไม้เนื้ออ่อนและพืชตระกูลหญ้าโดยทั่วไปไม่ละลายน้ำ ละลายได้แต่ในต่างถูกละลายด้วย กรดง่ายกว่าเซลลูโลส มีลักษณะโครงสร้างทางเคมีเป็นกิ่งก้านสาขา น้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่าเซลลูโลสมักพบว่าอยู่ร่วมกับเซลลูโลส และลิกนินในวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร โดยทั่วไปมีโครงสร้างหลัก (Back bone) เป็นพอลิเมอร์น้ำตาลดีไซโลสที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ 1, 4  $\beta$ -linked โดยมี Branch chain เป็นน้ำตาลชนิดอื่นเช่น แอล-อะราบินโนฟูราโนส (L-arabinofuranose) เชื่อมต่อกับดีไซโลสที่ตำแหน่งคาร์บอนที่ 3 ดี-กลูคิวโรนิกแอซิด (D-glucuronic acid) หรือ 4-โอ-เมทิลกลูคิว

โรนิกแอซิด เชื่อมต่อกับคาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ของดีไซโลสด้วยพันธะแอลฟา เป็นต้น พืชต่างชนิดกัน มีโครงสร้างหลักเป็นไซแลนเหมือนกันแตกต่างกันเฉพาะ ชนิด จำนวน และตำแหน่งของหน่วยข้างเคียง (Side chain unit) ตัวอย่าง หมู่แอสปาร์โต (Asparto) และเปลือกเมล็ดฝ้าย โครงสร้างหลักประกอบด้วยไซโลสเพียงอย่างเดียวเท่านั้นในไม้เนื้อแข็งนอกจากมีองค์ประกอบของกรดยูโรนิกแล้ว ไซแลนยังประกอบด้วยหมู่อะเซทิล (Acetyl group) ที่จับอยู่กับออกซิเจนของคาร์บอนตำแหน่งที่ 2 หรือ 3 ของไซโลสแบบสุ่ม ในไม้เนื้ออ่อน ไซแลนประกอบด้วยไซโลสที่ยึดเหนี่ยวกับกิ่งก้านสาขา ซึ่งมีทั้ง 4-โอ-เมทิลกลูคูโรนิกแอซิด (4-o-methyl-D-glucuronic acid) และแอล-อะราบินอฟูราโนส (L-arabinofuranose) ด้วยพันธะแอลฟา แต่ไม่มีหมู่อะเซทิลในโครงสร้างของไซแลนโครงสร้าง ไซแลนของพืชโดยทั่วไป

### 3. ลิกนิน

ลิกนิน (Lignin) เป็นสารพอลิอะโรมาติกที่สลับซับซ้อนแบบ 3 มิติ เกิดจากการรวมตัวของพารา-ไฮดรอกซีซินนามิล แอลกอฮอล์ (P-hydroxycinnamyl alcohol) และซินาพิลแอลกอฮอล์ (Cinaply alcohol) โครงสร้างภายในประกอบด้วยพันธะที่สำคัญคือพันธะเอสเทอร์และพันธะคาร์บอน-คาร์บอน (C-C bond) ซึ่งทนต่อการย่อยสลาย ทำให้การย่อยสลายลิกนินเป็นไปได้ยาก โดยทั่วไปปริมาณของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ในพืชต่าง ๆ จะแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดสายพันธุ์ อายุ ส่วนประกอบของพืช (เช่น ใบ ลำต้น และราก) และสถานะของพื้นที่ที่ทำการเพาะปลูก องค์ประกอบหลักของพืชทั้ง 3 จะจับตัวกันค่อนข้างแน่นโดยลักษณะการเรียงตัวของเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส จะถูกห่อหุ้มด้วยลิกนินทำให้การย่อยสลายวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเกิดขึ้นได้ช้าและเกิดขึ้นได้ในปริมาณต่ำ

## 2) ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ด

คุณภาพของแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดที่ผลิตได้สามารถหาค่าทางกลสมบัติได้ในด้านความแข็งแรง (strength) และค่าทางกายภาพสมบัติ ด้านความคงขนาด (dimensional stability) ซึ่งเป็นตัวชี้ถึงประสิทธิภาพในการผลิตว่าดีมาน้อย หรือไม่ดีเพียงใด แผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดที่มีความแข็งแรงสูงและคงขนาดมากจะเป็นคุณสมบัติที่ผู้บริโภคต้องการมากที่สุดเกี่ยวกับความแข็งแรง ได้แก่ ค่าความต้านทานแรงดัด โมดูลัสยืดหยุ่น ความต้านแรงดึงตึงฉากผิวหน้า และความยึดเหนี่ยวตะปูเกลียว เป็นต้น ส่วนกายสมบัติ ด้านความคงขนาด ได้แก่ ค่าคุณสมบัติเมื่อนำไปแช่น้ำ ค่าคงทนต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป เป็นต้นสำหรับปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความแข็งแรงและความคงขนาดของแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ด ได้จำแนกออกไว้มาจาก 9 ปัจจัยหลัก ดังนี้

### 1. ชนิดของไม้

ชนิดของไม้ (wood species) ที่ใช้เป็นวัตถุดิบ ถือได้ว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่จะส่งผลต่อคุณสมบัติของแผ่นบอร์ด การเลือกชนิดของไม้มาใช้เป็นวัตถุดิบจะเกี่ยวเนื่องไปถึงตัวแปร

อื่นๆ อีกมากมายที่เกี่ยวข้องในขบวนการผลิต เช่น การเลือกใช้ชนิดและปริมาณของตัวประสาน การใช้สารเติมแต่งพิเศษ ปริมาณและการกระจายความชื้นของแผ่นที่เตรียมอัด การเรียงเส้นของชนิดไม้ ความถ่วงจำเพาะของแผ่นไม้บอร์ดที่อัดได้ เป็นต้น นอกจากนี้ตัวแปรคุณสมบัติของไม้ต่างชนิดกันก็ย่อมทำให้ได้แผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดที่มีคุณสมบัติที่ต่างกันออกไป ดังเช่น ความหนาแน่นของเนื้อไม้ ความสามารถในการบีบอัดของไม้ ความเป็นกรดเป็นด่างของเนื้อไม้ ความสามารถในการเปียกตัวของไม้ สารแทรกในไม้ เป็นต้นโดยทั่วไปชนิดของไม้ที่มีความหนาแน่นต่ำ เมื่อนำมาผลิตแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดที่มีความถ่วงจำเพาะของแผ่นบอร์ดในระดับเดียวกัน จะมีความแข็งแรงของแผ่นบอร์ดสูงกว่าแผ่นบอร์ดที่ผลิตได้จากชนิดไม้ที่มีความหนาแน่นสูงกว่า จากการศึกษาคุณสมบัติของแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดที่ผลิตจากไม้ปาพู วรธรรม อุณจิตติชัย (2538) พบว่า ผลกระทบในเรื่องความหนาแน่นของไม้มีอิทธิพลโดยตรงต่อความสามารถในการบีบอัดของไม้ ซึ่งเกี่ยวข้องกับพื้นที่สัมผัสระหว่างชิ้นไม้ด้วยกัน โดยปกติไม้ที่มีความหนาแน่นต่ำจะถูกบีบอัดได้มากกว่าชนิดไม้ที่มีความหนาแน่นสูง ภายใต้แรงอัดในระดับเดียวกัน ผิวหน้าชิ้นไม้ที่มีความสามารถในการรับความเปียกได้มากจะทำให้การซึมซาบแทรกตัวของกาวประสานไปในรูเล็ก ๆ และส่วนของอณูฐานของเซลลูโลสในเนื้อไม้ได้ดี และอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลกระทบโดยตรงต่ออัตราการความเร็วในปฏิกิริยาการแข็งตัวของกาวในระหว่างการอัดร้อน ก็คือ ความเป็นกรดเป็นด่างและการผ่อนคลายความเป็นกรดเป็นด่างของไม้แต่ละชนิด ซึ่งหมายถึงความต้านทานของไม้ต่อการเปลี่ยนแปลงระดับความเป็นกรดเป็นด่างนั่นเอง

## 2. ลักษณะขนาดรูปร่างของชิ้นไม้

ลักษณะขนาดรูปร่างของชิ้นไม้ (morphology of particle) ก็นับได้ว่าเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติของแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดที่ผลิตได้ ขนาดความยาว ความกว้าง และความหนาของชิ้นไม้ ค่าคุณสมบัติการต้านแรงดัด และโมดูลัสยืดหยุ่นของแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดจะลดลงเมื่อเพิ่มความหนาของชิ้นไม้ แต่ค่าทั้งสองกลับเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของความยาวของชิ้นไม้ ค่าคุณสมบัติการพองตัวด้านความหนาและการดูดซับน้ำจะเพิ่มขึ้นตามความหนาของชิ้นไม้ที่เพิ่มขึ้น

## 3. กาวและสารเติมแต่ง

กาวและสารเติมแต่ง (resin and application) เป็นวัตถุดิบที่สำคัญยิ่ง เพราะใช้เป็นตัวประสานยึดเหนี่ยวให้ชิ้นเศษไม้ยึดเกาะติดกันเป็นแผ่น การใช้กาวและสารเติมแต่งผสมกับชิ้นเศษไม้ที่มีประสิทธิภาพ จะทำให้ได้แผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดที่มีคุณภาพดีตามไปด้วย สำหรับตัวแปรที่ทำให้การผสมกาวและสารเติมแต่งกับชิ้นเศษไม้เกิดประสิทธิภาพที่ดีมาจากหลายปัจจัยด้วยกัน เช่น ชนิดของกาวและสารเติมแต่ง โดยทั่วไปนิยมใช้กาวเป็นตัวประสานอยู่ 3 ชนิด ได้แก่

ก. กาวฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ (PF: phenol formaldehyde) ใช้ผลิตแผ่นปาร์ติเกิลที่ต้องการความแข็งแรงมาก คงสภาพได้ดีในสภาวะแวดล้อมที่รุนแรง

ข. กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ (UF: urea formaldehyde) ใช้ผลิตแผ่นปาร์ติเกิลที่ใช้ประโยชน์ภายในอาคาร ความแข็งแรงปานกลาง คงสภาพได้ดีในสภาวะแวดล้อมที่ไม่รุนแรงนัก

ค. กาวเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์ (MUF: melamine urea formaldehyde) และกาวเมลามีน ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ใช้ในการผลิตแผ่นบอร์ดที่มีคุณสมบัติในการต้านทานน้ำสูง และแข็งตัวได้อย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูง ปริมาณกาวและสารเติมแต่ง ปริมาณกาวและสารเติมแต่งที่ใช้ผลิตแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของแผ่นที่ผลิต โดยทั่วไปจะใช้ปริมาณอยู่ระหว่าง 4-12% โดยเทียบจากน้ำหนักกาวต่อชิ้นไม้แห้ง เช่น การผลิตแผ่นบอร์ดโดยใช้กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เป็นตัวประสานยึดเกาะจะใช้ประมาณ 6-10% แต่ถ้าผลิตแผ่นบอร์ดที่มีโครงสร้างมากกว่า 3 ชั้นขึ้นไป หรือใช้ทำผิวหน้าแผ่นบอร์ด จะใช้ปริมาณที่เพิ่มขึ้นเป็น 10-12% ถ้าหากใช้กาวฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์จะใช้ประมาณ 5-7% แต่ถ้าใช้กาวฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ในรูปที่เป็นผง และกาวโพลีเมอร์ ไอโซไซยานเนต ใช้อยู่ระหว่าง 1.5-5% สำหรับซีฟิ่งนิยมใช้ในรูปของอิมัลชันที่มีเนื้อซีฟิ่งในส่วนผสมประมาณ 35-50% และใช้ในการผสมลงในชิ้นเศษไม้ที่จะผลิตแผ่นบอร์ด โดยประมาณ 0.5-1% โดยน้ำหนักซีฟิ่งเทียบกับชิ้นเศษไม้อบแห้งปัญหาในการใช้ซีฟิ่งผสมด้วยปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้ความแข็งแรงของแผ่นบอร์ดที่ได้น้อยลงตามไปด้วย การผสมกาวกับชิ้นเศษไม้ การผสมกาวกับชิ้นไม้ในเครื่องผสมกาวจะต้องมีการกระจายของกาวได้อย่างสม่ำเสมอทั่วชิ้นไม้ ขนาดของละอองกาวไม่ควรเกินกว่า 8-35 ไมครอนเพราะถ้าหากละอองกาวเป็นฝอยที่ละเอียดมากขึ้นจะช่วยให้ค่าแรงยึดเหนี่ยวภายในสูงขึ้น แต่ถ้าละอองกาวขนาดใหญ่ขึ้น ค่าแรงยึดเหนี่ยวภายในจะลดน้อยลงตามไปด้วย นอกจากนี้แล้วยังต้องคำนึงถึงระยะเวลาในการพ่นผสมกาว แรงดันลมในการพ่นกาว ความหนืดของกาว ขนาดของชิ้นไม้ที่สม่ำเสมอ อุณหภูมิของชิ้นไม้ รวมถึงความเร็วในการหมุนคลุกของถังผสมกาวด้วยจากตัวแปรในเรื่องของกาวและสารเติมแต่งดังกล่าว สิ่งที่จะต้องนำมาพิจารณาในลักษณะที่ดีของการประสานและสารเติมแต่งในการทำแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ด เช่น ควรมีการแข็งอย่างรวดเร็วในระหว่างการอัดที่อุณหภูมิต่ำ มีความคงทนและแข็งแรงเทียบเท่ากับกาวประเภทฟีนอลสามารถละลายได้ดีในสารของเหลว แม้จะใช้ด้วยปริมาณเล็กน้อย สำหรับสารเติมแต่งที่นิยมใช้ผสมลงในชิ้นเศษไม้วัสดุ นิยมใช้ซีฟิ่งอิมัลชันและซีฟิ่งเหลว เพื่อใช้เป็นสารกันน้ำ และลดการขยายตัวเมื่อดูดซึมน้ำของแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ด

#### 4. การควบคุมความชื้น

การควบคุมความชื้น (moisture control) ความชื้นในชิ้นเศษไม้ที่จะนำมาผลิตแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดต้องไม่สูงเกินกว่า 50-60% ความชื้นในเศษวัสดุเศษไม้ที่ใช้ผลิตที่ดีที่สุดของเนื้อไม้โดยประมาณ 30% ทั้งนี้เพราะถ้าความชื้นในชิ้นเศษไม้มีมากเกินไปเมื่อนำแผ่นเตรียมอัดมาอัดร้อนจะเกิดไอน้ำเป็นปริมาณมากเกินไปจึงทำให้เกิดปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชันลดลง การประสานยึดตัวของกาวกับชิ้นผิวเศษไม้จะลดลงตามไปด้วย ใช้เวลาในการแข็งตัวของกาวเพื่อให้ทั่วถึงโดยตลอดแผ่นนานขึ้น จึงต้องใช้เวลาในการอัดร้อนนานขึ้น เมื่อใช้ความร้อนอัดแผ่นบอร์ดสูงขึ้นและนานขึ้น

ยอมทำให้ผิวหน้าชั้นนอกของแผ่นบอร์ดจะได้รับความร้อนมากขึ้นกว่าชั้นไม้ด้านใน จึงทำให้กาส่วนผิวหน้าเกิดการประสานยึดและแข็งตัวก่อนการประสานยึดชั้นไม้ในของแผ่นบอร์ด ปริมาณความชื้นหรือละอองไอน้ำจะแผ่กระจายออกตามชั้นผิวหน้าชั้นนอกได้ยาก อีกทั้งการปลดปล่อยสารฟอร์มัลดีไฮด์เมื่อได้รับความร้อนจะแผ่กระจายออกได้ยาก ดังนั้น ขณะปลดปล่อยชิ้นงานออกจากการอัดจะทำให้เกิดการปะทุที่ผิวหน้าของแผ่นบอร์ดและประการที่สำคัญจะทำให้คุณสมบัติด้านความแข็งแรงของแผ่นบอร์ดลดลง

#### 5. การเรียงชั้นตามขนาดชั้นไม้

การเรียงชั้นตามขนาดชั้นไม้ (layering by particle size) ในการผลิตแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดชนิด 3 ชั้น หรือหลายชั้น มักใช้กรรมวิธีการฟอร์มแผ่นโดยใช้ชั้นไม้ขนาดละเอียด โรยเป็นชั้นผิวหน้า เพื่อแผ่นบอร์ดที่ได้จะมีผิวหน้าที่ราบเรียบมากที่สุด สามารถนำไปเคลือบปิดทับหน้าด้วยแผ่นเมลามีนและโพลีเอสเตอร์ หรือเคลือบพ่นสี แลคเกอร์ ยูรีเทน ให้เกิดความเงางามได้ดินนอกจากนี้ แผ่นปาร์ติเกิลบอร์ด 3 ชั้น มีความแข็งแรงระหว่างชั้นผิวนอกกับชั้นไม้ในต่างกันกล่าวคือ ชั้นผิวนอกจะมีความแข็งแรงด้านแรงดัดและความแข็งตึงผิวสูงกว่า ทั้งนี้การใช้กาของชั้นผิวจะให้การยึดเกาะที่ดี แผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดชนิดหลายชั้นจะให้สมบัติที่ดีกว่าแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดชั้นเดียว

#### 6. การเรียงตัวของชั้นไม้

การเรียงตัวของชั้นไม้ (particle alignment) โดยทั่วไปแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดมีชั้นไม้เรียงตัวกันในลักษณะสุม คือ ขวางบ้าง ตั้งบ้าง ขนานในแนวราบ ตามแนวยาวของแผ่นบ้างขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการฟอร์มแผ่นและลักษณะของชั้นไม้ที่นำมาเตรียมอัดแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดที่ผลิตโดยให้ชั้นไม้เรียงตัวขนานในแนวราบไปในทิศทางเดียวกันมากที่สุด จะทำให้คุณสมบัติของแผ่นบอร์ดมีความแข็งแรงมากกว่าแผ่นบอร์ดที่มีชั้นไม้เรียงตัวแบบสุม ชั้นไม้ที่มีความเพรียวมากและเรียงตัวกันดี ขนานสลับกันระหว่างชั้น เมื่อทำเป็นแผ่นแล้วจะให้ความแข็งแรงเทียบเท่าไม้อัดหากผลิตเป็นที่มีขนาดใหญ่หรือหนาขึ้น โดยการใช้ชั้นเกล็ดไม้ที่ยาวและเพรียวมาก ๆ สามารถนำไปใช้ทดแทนเป็นไม้โครงสร้างได้

#### 7. การควบคุมการอัดร้อน

การควบคุมการอัดร้อน (hot pressing control) โดยเฉพาะระยะเวลาที่แทนอัดที่บีบอัดแผ่นจนถึงความหนาที่กำหนด เป็นสิ่งที่สามารถเปลี่ยนแปลงลดหลั่นได้ตามความหนาของแผ่นที่กำหนด การใช้ระยะเวลาในการปิดแทนอัดที่ช้า (ระยะเวลาในการบีบอัดจนถึงความหนาที่กำหนด) จะส่งผลให้ความหนาแน่นมีการกระจายตัวจากชั้นไม้ถึงผิวชั้นนอกได้อย่างสม่ำเสมอ แต่ต้องระวังเกิดการแข็งตัวในชั้นผิวนอกก่อนชั้นไม้ใน หากใช้ระยะเวลาในการปิดอัดที่เร็วขึ้นก็จะต้องใช้แรงดันอัดที่สูงขึ้นตามไปด้วย อีกทั้งต้องใช้อุณหภูมิในการอัดร้อนที่สูงขึ้นกว่าปกติ โดยปกติทั่วไปแรงดันอัดที่ใช้ในขบวนการอัดร้อนสำหรับการผลิตแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดชนิดความหนาแน่นปานกลางจะใช้แรงดันอัดอยู่

ระหว่าง 1.5-3.5 N/mm<sup>2</sup> อุณหภูมิในการอัดร้อนอยู่ระหว่าง 160-220 องศาเซลเซียส สำหรับการใช้อัด กาวชนิดฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์ แต่ถ้าใช้กาวชนิดยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ อุณหภูมิในการอัดร้อนจะใช้ อยู่ระหว่าง 140 -200 องศาเซลเซียส สำหรับระยะเวลาในการอัด สำหรับแผ่นที่ต้องการความหนา 20 มิลลิเมตร ใช้เวลาอัดร้อนนานประมาณ 10-12 นาที หรือเท่ากับ 0.5-0.6 นาทีต่อความหนา 1 มิลลิเมตร แต่อย่างไรก็ตาม การควบคุมการอัดร้อนยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ ด้วย เช่น ปัจจัยจาก ความชื้นในชั้นไม้วัสดุ การใช้ชนิดของกาวประสาน การใช้ชนิดของสารเติมแต่ง การฟอร์มแผ่นเตรียม อัด เป็นต้น

#### 8. ความหนาแน่นของแผ่นบอร์ด

ความหนาแน่นของแผ่นบอร์ด (board density) โดยทั่วไปแล้วการเพิ่มความหนาแน่น ของแผ่นที่ผลิตจะส่งผลให้ชั้นไม้ที่ผสมกาวแล้วเกิดการจับยึดเกาะระหว่างกันได้ใกล้ชิดมากยิ่งขึ้น คุณสมบัติด้านความแข็งแรงก็จะสูงขึ้นตามไปด้วย คุณสมบัติด้านความคงขนาด เมื่อนำไปแช่น้ำจะเกิด การพองตัวได้น้อย และการดูดซับความชื้นก็น้อยด้วยเช่นกัน

#### 9. การปรับสภาวะของแผ่นก่อนการใช้งาน

การปรับสภาวะของแผ่นก่อนการใช้งาน (condition) หลังจากการนำชั้นแผ่นบอร์ดที่ ผลิตได้จากขบวนการอัดร้อนแล้ว จะต้องนำออกมาผึ่งเพื่อให้แผ่นบอร์ดเย็นตัวลง ในทางปฏิบัติแล้ว อาจจะนำไปเข้าชั้นรองรับแผ่นบอร์ดเพื่อผึ่งระบายความร้อนออกโดยอาศัยอากาศธรรมชาติเป็นตัว ระบายพัดผ่านให้ หรือจะใช้วิธีนำไปเข้าเครื่องวงล้อตะแกรงหมุน ผึ่งความร้อนก็ได้ หรือจะนำไปกอง สุมไว้ก็ได้ แต่การกองสุมร้อนนี้ต้องไม่ให้อุณหภูมิของการกองสุมร้อนเกินกว่า 50-60 องศาเซลเซียส การผึ่งระบายความร้อนออกจากแผ่นบอร์ดที่ผลิตได้นี้จะใช้เวลาโดยประมาณ 24-96 ชั่วโมง (1-4 วัน) จึงจะนำไปใช้ตกแต่งในขั้นตอนต่อไปได้ดี อีกทั้งจะช่วยให้เกิดการดูดซึมน้ำได้น้อยลง การปรับสภาวะ ของแผ่นบอร์ดที่ผลิตได้นี้อย่างกระทำด้วยการเร่งรีบควรปล่อยให้ความร้อนค่อยๆ คลายตัวไปเอง ทั้งนี้ จะช่วยลดความเครียดภายในแผ่นบอร์ด ถ้าการระบายความร้อนแบบเร่งรีบ แผ่นบอร์ดที่ผลิตได้อาจ เกิดการบิดงอและแตกแยกได้ง่าย อีกทั้งความชื้นจะแทรกลงไป ในเนื้อแผ่นบอร์ดก็ได้ ดังนั้น การปรับ สภาวะของแผ่นบอร์ดที่ผลิตได้ควรใช้วิธีแบบกองสุมร้อนเป็นวิธีที่ดีที่สุด แต่ต้องระวังรักษาอุณหภูมิ ของการกองสุมร้อนไว้ด้วยไม่เช่นนั้นแผ่นบอร์ดที่กองสุมไว้ อาจเกิดการลุกลามได้จากอุตสาหกรรม เฟอร์นิเจอร์ และอุตสาหกรรมไม้

### 3) ทฤษฎีและกลไกของการยึดติดของกาว

1. กาว (Adhesive) กาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ (Ureaformaldehyde) เป็นกาวที่ อุตสาหกรรมไม้อัดไม้ประกอบนิยมใช้มากที่สุดซึ่ง เป็นกาวประเภทฟีนอลิกและอะมิโนพลาสติกซึ่ง สามารถเรียกอีกชื่อหนึ่งว่ากาวประกอบฟอร์มาลดีไฮด์ (formaldehyde based adhesives) เป็นกาว ที่มีใช้กันแพร่หลายและมากที่สุดโดยเฉพาะ 4 ชนิดกาวหลักที่เป็นกาวเรซินประเภทแข็งตัวเมื่อร้อน

(Thermosetting resins) ได้แก่ ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์ ฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์และ เรซอซินอลฟอร์มัลดีไฮด์ เนื่องจากกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เป็นกาวที่ใส เมื่อแห้งไม่มีสีแข็งตัวได้เร็วและ ราคาถูกและเป็นสารโพลิเมอร์ (Polymer) ที่เกิดจากปฏิกิริยาการรวมตัวระหว่างยูเรียและฟอร์มัลดีไฮด์โดยขั้นแรกเกิดปฏิกิริยาเมธิลเลชัน (methylation) ในสภาวะที่เป็นด่างอ่อนเพื่อให้มีสัดส่วน โมล (molar ratio) ของฟอร์มัลดีไฮด์ต่อยูเรีย 2 : 1 ถึง 2.4 : 1 ขั้นตอนต่อไปเป็นปฏิกิริยาการรวมตัว (condensation) ของเมธิลอลยูเรียที่ได้จากปฏิกิริยาเมธิลเลชันโดยให้ทำปฏิกิริยาในสภาวะบรรยากาศและการกลั่นไหลกลับ (reflux) ในสภาวะที่เป็นกรดอ่อนซึ่งมีค่า pH ที่ 4-6 ปฏิกิริยาโพลิเมอร์ไรซ์เซชัน (polymerization) แบบรวมตัวนี้จะต้องเพิ่มค่า pH เป็น 7.3- 8 (ด่างอ่อน) เพื่อให้หยุดปฏิกิริยาแล้วทำการลดความเข้มข้นของกาวด้วยการกลั่นแบบสุญญากาศ (Vacuum distillation) กาว 50 - 60 % และทำการเติมยูเรียเพิ่มลงไปในกาวแบบปกติเพื่อให้ได้สัดส่วนโมลสุดท้ายของฟอร์มัลดีไฮด์ต่อยูเรียเท่ากับ 1.6:1 ถึง 1.8 : 1

2. การยึดติด (adhesion) เป็นสภาวะพื้นผิวหน้าของวัตถุ 2 พื้นผิวเชื่อมยึดกันโดยแรงที่เกิดขึ้นระหว่างหน้า (interfacial forces) นั้นๆ ซึ่งอาจจะเป็นแรงที่อยู่ระดับพลังงานนอกสุดของโครงสร้างพื้นผิว (valence forces) หรือการเกาะเกี่ยวเชิงกลระหว่างผิว (interlocking action) หรือทั้งสองกรณีร่วมกันทั้ง 2 แบบคือการยึดติดเชิงกล (mechanical adhesion) เป็นการยึดติดระหว่างผิวหน้าที่มีกาวยึดติดส่วนต่างๆ ไว้โดยการเกาะเกี่ยว (interlock action) และการยึดติดจำเพาะ (specific adhesion) เป็นการยึดติดระหว่างผิวซึ่งยึดกันไว้ด้วยแรงที่อยู่ ณ ระดับพลังงานนอกสุดของโครงสร้างผิวและเป็นแรงชนิดเดียวกันกับที่ทำให้เกิดการยึดแน่น (cohesion)

3. ทฤษฎีและกลไกของการยึดติดกาว การยึดติดกาวกับไม้นั้นเป็นความรู้ด้านทางกลศาสตร์และเคมีวิทยาการยึดติดเชิงกล (Mechanical adhesion) ที่กาวเหลวแทรกซึมไปตามพื้นผิวไม้ตามรอยแตกและรูพรุนของโครงสร้างไม้แล้วเกิดการแข็งตัวของกาวทำให้ผิวหน้าไม้เกาะเกี่ยวกันไว้ด้วยสายกาวที่ดูเหมือนคล้ายตะขอหรือขวดหมึกซึ่งเป็นกลไกขั้นแรกของการยึดติดซึ่งจะให้ผลทางอ้อมในการยึดติดขั้นที่สองในลักษณะแรงวาเลนซ์หรือการยึดติดจำเพาะ (specific adhesion) แรงดึงดูด (พันธะไฮโดรเจนแรงวาเลนต์หรือแรงแพร่กระจายและพันธะโควาเลนต์) ที่เกิดระหว่างอะตอมอ็อกซิเจนและโมเลกุลซึ่งขึ้นอยู่กับความเป็นขั้วของโมเลกุลและระยะห่างระหว่างโมเลกุลจะเกิดขึ้นสำหรับการเชื่อมยึดจำเพาะระหว่างกาวและพื้นผิวไม้นี้แต่ในกรณีของการใช้สารคู่ควบ (Coupling agents) ซึ่งยึดเหนี่ยวทางเคมีกับตำแหน่งไวปฏิกิริยา (reactive sites) ของกาวกับวัสดุติดกาวในลักษณะการสร้างพันธะโควาเลนต์ซึ่งค่อนข้างจะมีบทบาทน้อยในการเชื่อมยึดของกาวกับไม้ แรงทางกายภาพหรือแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลจะมามีบทบาทสำคัญมากในการเชื่อมยึดติดกับไม้

4. ทฤษฎีการเกาะเกี่ยวซ้อนเชิงกล (Mechanical Entanglement / interlocking theory) การเกาะเกี่ยว (Interlocking) เชิงกลและเชิงกายภาพของกาวที่แข็งตัวแล้วในบริเวณรอยต่อ

ช่องว่างต่างๆที่อยู่บนพื้นผิวที่จะทำการยึดติดกาวที่มีปริมาณเพียงพอจะแทรกซึมไปบนชั้นด้านบนของไม้แล้วถูกอัดลงในรูพรุนที่ว่างอยู่บนผิวไม้และเกิดการแข็งตัวดังรูปที่ 16 ก็จะเกิดเป็นการเกาะเกี่ยวเชิงกลระหว่างผิวหน้าไม้ขึ้นปัจจัยหลักที่เกี่ยวข้องในการยึดติด คือ ต้องมีพื้นผิวที่ราบเรียบที่สุดแต่ทำได้อ่าบาก็มีความขรุขระแต่อย่างน้อยผิวหน้าไม้ต้องมีรอยแยกนอกจากนี้ต้องปราศจากสิ่งปลอมปนบนผิวหน้าไม้เช่นฝุ่นผงหรือเส้นใยที่หลุดออกมาอยู่บนผิวต่างๆ ซึ่งทฤษฎีนี้จะพบได้ในการยึดติดกาวหลายๆกรณีแต่ไม่ใช่เป็นทฤษฎีหลักสำหรับการยึดติดไม้

5. วิธีการแข็งตัวของกาว (Methods of Setting) การแข็งตัวโดยการสูญเสียของตัวทำละลาย (Setting by Loss of Solvent) กาวที่มีการแข็งตัวของกาวโซเดียมซิลิเกตกาวแป้งกาวไวนิลเอสเทอร์และอื่นๆ กาวจะแข็งตัวโดยการสูญเสียของตัวทำละลายโดยปกติแล้วกาวจะปรากฏในรูปของแข็งแต่ถูกทำให้อยู่ในสภาพละลายซึ่งเป็นน้ำหรือตัวทำละลายชนิดอื่นเมื่อนำไม้มาติดด้วยกาวประเภทนี้ตัวทำละลายจะสูญหายตามด้านข้างบางส่วนไหลซึมเข้าไปในเนื้อไม้เมื่อกาวสูญเสียตัวทำละลายจะเกิดการแข็งตัวทันทีที่กาวแข็งตัวแล้วจะกลับกลายเป็นของเหลวอีกได้ในตัวทำละลายที่เหมาะสม

1) ตัวโดยได้รับความเย็น (Setting by Cooling from the Molten state) กาวที่มีส่วนประกอบของสารเยลลาติน (Gelatin) และสารบิทูเมน (Bitumen) สารทั้งสองชนิดเมื่อได้รับความร้อนอย่างเพียงพอจะอยู่ในสถานะของเหลวและจะถูกนำไปใช้ทาไม้ในสภาพที่เหลวไม้ที่ต่อกันด้วยกาวชนิดนี้เมื่อได้ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นอุณหภูมิห้องจะเปลี่ยนสภาพเป็นของแข็งทันที

2) การแข็งตัวโดยกรรมวิธีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีอย่างถาวร (Setting by Permanent Chemical Change) กาวประเภทนี้เมื่อเกิดการแข็งตัวแล้วจะไม่สามารถกลับคืนสู่สภาพของเหลวได้อีกการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเกิดขึ้นได้ 2 วิธีคือ

1. โดยการใช้สารผสมจำพวกฮาร์ดเดนเนอร์ (Hardeners) ช่วยในการทำให้กาวแข็งตัวเร็วขึ้นการแข็งตัวโดยวิธีนี้จะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ และสม่ำเสมอที่อุณหภูมิห้องแต่ปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นอาจทำให้มีการแข็งตัวเร็วขึ้นโดยการเพิ่มความร้อนให้สูงขึ้นฮาร์ดเดนเนอร์ที่ใช้หาที่มีความเจือจางที่น้อยลงจำเป็นจะต้องเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นเพื่อเป็นตัวเร่งในการทำปฏิกิริยาการรวมตัวของกาว

2. การใช้ความร้อนในการแข็งตัว (Simple heating only) ได้แก่กาวเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์และกาวฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์กาวพวกนี้อยู่ในสภาพที่เป็นแผ่นบางๆ จะถูกนำไปวางบนรอยต่อของไม้กาวเมื่อได้รับความร้อนที่เหมาะสมจะเปลี่ยนสภาพเป็นของเหลวซึ่งจะนำไปสู่การแข็งตัวโดยการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของกาว

#### 4) คุณลักษณะของกาว และการใช้งานยึดติดไม้

กาวที่ใช้ในการยึดเกาะติดชิ้นไม้แบ่งตามคุณลักษณะและอุณหภูมิที่ใช้ในการทำให้เกิดการยึดติดกับงานไม้ กาวอัดร้อน ส่วนใหญ่ใช้กับงานผลิต แผ่นไม้อัดทับซ้อน ชนิดแผ่นเส้นใยอัดความ

หนาแน่นปานกลาง และผลิตแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดประสานยึดติดเนื้อไม้แล้วแข็งตัวเร็วในแทนอัดร้อน ที่อุณหภูมิ 110-120 องศาเซลเซียส และมีความทนทานของการยึดเกาะใช้งานติดไม้แล้วทนต่อการ ซึมซับน้ำพอจะแบ่งออกได้ดังนี้

### 1. กาวสังเคราะห์ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ เรซิน

กาวสังเคราะห์ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน เป็นกาวชนิดแรกที่ได้รับการพัฒนาอย่าง กว้างขวาง ซึ่งมีการใช้กันมาร่วม 60 กว่าปีแล้ว เป็นกาวที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เริ่มจากใช้ ฟอร์มัลดีไฮด์ผสมกับยูเรียให้ความร้อนในส่วนผสมที่เป็นต่างทำให้เกิดเมธิลอลยูเรีย แต่ยังไม่เป็นกาว แล้วทำปฏิกิริยาในส่วนผสมที่เป็นกรดจึงหยุดปฏิกิริยาโดยเติมต่างให้มีสภาพเป็นกลาง แล้วกำจัดน้ำ ออกจากส่วนผสมที่มากขึ้นจากการเกิดปฏิกิริยาควบแน่น จนได้ส่วนผสมกาวที่เข้มข้นหรือจะระเหย น้ำต่อไปจนได้เป็นผงโดยนำกาวเข้มข้นไปผ่านรูเล็กๆ ในปล่องความร้อนที่ให้ความร้อนสูงถึง 200 องศาเซลเซียส กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ มีการจำหน่ายกันทั้งในสภาพของเหลว และเป็นผง เป็นผงก็จะ เป็นทั้ง ถุงเดี่ยวและชนิด 2 ถุง โดยถุงเดี่ยวก็จะมีสารผสมสารเร่งแข็งด้วย หากชนิด 2 ถุง ก็แยก เป็นถุงกาวผงยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ 1 ถุง อีกถุงหนึ่งก็จะเป็นสารเร่งแข็งที่อาจจะผสมสารเพิ่มอื่นได้ด้วย เช่น แป้งสาทิแป้งอื่นๆ หรือ ผงดินขาว หรือแคลเซียมซัลเฟต การเตรียมกาวโดยนำกาวผงหลักหรือ กาวน้ำ มาผสมกับน้ำ แล้วผสมกับสารช่วยให้กาวแข็งตัว เมื่อเข้ากันได้ดีแล้ว จึงนำไปทาบนผิวไม้ที่จะ ทำการยึดติด สารช่วยให้กาวแข็งตัวจะมีสภาพเป็นกรด ซึ่งจะไปรุกรานให้ปฏิกิริยาทางเคมีเชื่อมตัว ทางขวาง ที่หยุดปฏิกิริยาไว้ขณะทำการสังเคราะห์กาวเกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์ขึ้นโดยมีการให้ความร้อน กับแนวกาวเป็นตัวเร่งให้แข็งตัวยิ่งขึ้น สารช่วยให้กาวแข็งตัวที่ใช้กับกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ควรเป็น ชนิดกรดอ่อนมากๆ เนื่องจากหากใช้กรดแก่จะทำให้ผิวไม้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซ์เป็นผลให้แนวกาว เสียหาย การลดการปลดปล่อยสารฟอร์มัลดีไฮด์จากผลิตภัณฑ์ไม้ที่ใช้กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ ควรลด สัดส่วนโมล ฟอร์มัลดีไฮด์ต่อยูเรียในการสังเคราะห์กาวเรซิน จาก 1.8:1 หรือ 2.0:1 ให้ต่ำกว่า 1.6:1 หรือในบางกรณีต่ำถึง 1.2:1 การใช้สัดส่วนโมลฟอร์มัลดีไฮด์ต่อยูเรียต่ำๆ นอกจากจะทำให้ต้องเพิ่ม ระยะเวลาในการสังเคราะห์เรซินแล้ว กาวที่ได้จะต้องใช้ระยะเวลาในการทำให้แข็งตัวนานขึ้นด้วยและ ยังทำให้ความแข็งแรงของการยึดติดมีแนวโน้มต่ำลง ความต้านทานความชื้นลดลง ระยะเวลาการเก็บ รักษา (ความเสถียร) ลดลง การลดสารฟอร์มัลดีไฮด์ของกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ในการปฏิบัติงานนั้น สามารถทำได้โดยเติมสารเพิ่มอื่น เช่น ยูเรีย เมลามีน แทนนิน โซเดียมไดซัลไฟต์และกรดอนินทรีย์ อย่างอ่อนๆ แต่ก็จะทำให้การคงทนต่อน้ำและอุณหภูมิที่สูงขึ้นต่ำลง ซึ่งก็จะไม่แนะนำให้ใช้ในการต่อ ไม้ที่ต้องใช้ในที่ๆ มีความชื้นและความร้อนกาวเรซินยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ พบมีการใช้โดยทั่วไปในการ ผลิตแผ่นไม้อัดแผ่นปาร์ติเกิล แผ่นเส้นใยอัดความหนาแน่นปานกลาง แผ่นไม้ระแนง และนิยมใช้กัน มากในการปิดผิวไม้บางบนงานเครื่องเรือนแต่ก็ต้องระมัดระวังว่าเป็นกาวที่เหมาะสมต่อการใช้งาน เพียงพอทนทานต่อความชื้นแต่ไม่ต้านทานน้ำ

## 2. กาวสังเคราะห์เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์ เรซิน

กาวสังเคราะห์เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์ เรซิน เป็นกาวที่คล้ายคลึงกับกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ เรซิน มีการนำมาใช้หลังกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ เรซิน ประมาณ 20 กว่าปี กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ เรซินและ กาวเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์ จะเกิดจากการทำปฏิกิริยาของส่วนอะมิโน (amino) กับสารฟอร์มัลดีไฮด์ ภายในสถานะที่ให้ความร้อนกับสารละลายผสมที่เหมือนกัน แต่ฟอร์มัลดีไฮด์จะทำปฏิกิริยารวดเร็วกับกาวเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์ มากกว่ากาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน ด้วยเหตุนี้การทำกาวเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์ จึงมีการปลดปล่อยสารระเหยฟอร์มัลดีไฮด์ที่น้อยกว่ากาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน และ กาวเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์ ใช้สารช่วยให้แข็งตัวที่เหมือนกัน แม้แต่สารเติมและสารเพิ่มก็จะใช้สารเหมือนกัน ลักษณะของกาวจะเป็นกาวขาวใสเหมือนกัน ซึ่งก็จะทำให้แนวกาวที่ใส กาวเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์จำเป็นต้องใช้อุณหภูมิที่ทำให้แข็งตัวที่สูงกว่ากาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน แต่มีความต้านทานน้ำและอุณหภูมิที่สูงได้ดีกว่า ข้อเสียคือราคาของกาวเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์สูงกว่าราคาของกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน ถึง 4-5 เท่า จึงมีการนำมาผสมกับกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ เรซิน เพื่อลดต้นทุนราคาของ กาวเมลามีนยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ ซึ่งคุณสมบัติของกาวเมลามีนยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ ขึ้นอยู่กับสัดส่วนของการผสมระหว่างกาวเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์และกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ ยกตัวอย่างเช่น สัดส่วนการผสมของกาวเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์ต่อกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ เท่ากับ 40 : 60 ก็จะช่วยปรับปรุงความต้านทานต่อสถานะแรงในการบ่มรุนแรงได้อย่างเห็นได้ชัด กาวเมลามีนมักนิยมใช้ในการผลิตแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ด ที่มีคุณสมบัติพิเศษ โดยเฉพาะการต้านทานต่อความชื้นและสภาพฝนฟ้าอากาศร้อนของแผ่นเส้นใยอัดความหนาแน่นปานกลาง กาวเมลามีนยังมีการใช้ในการต่อไม้ที่ต้องการใช้ชิ้นงานในสภาพที่เปียกชื้นด้วย

## 3. กาวสังเคราะห์ฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ เรซิน

กาวสังเคราะห์ฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ เรซิน มีการผลิตใช้ก่อน ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์และเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์ เรซิน แต่กลับนำเข้ามาใช้ในงานไม้ในราว ปี ค.ศ.1930 มีการใช้กันมากในการผลิตแผ่นไม้อัดชนิดใช้งานในทะเล (marine plywood) และแผ่นไฟเบอร์บอร์ด และแผ่นขึ้นไม้อัดแรงขึ้น สำหรับใช้งานในการก่อสร้าง กาวฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ มี 2 ชนิด คือ รีโซล และโนโวแลค ชนิดรีโซลเป็นชนิดที่ใช้ในการผลิตแผ่นบอร์ด เช่น แผ่นปาร์ติเกิลบอร์ด แผ่นเส้นใยอัดความหนาแน่นปานกลาง รีโซลเกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างฟอร์มัลดีไฮด์กับฟีนอล ในสารละลายต่างรีโซล ต้องใช้อุณหภูมิในการแข็งตัวที่สูงและได้แนวกาวที่มีความต้านทานน้ำและความร้อนและเชื้อรา สำหรับกาวฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ ชนิด novolacs สังเคราะห์ขึ้นในสถานะที่เป็นกรดและมีสัดส่วนของฟอร์มัลดีไฮด์ ที่ต่ำหากจะต้องทำให้เป็นกาวอัดร้อนจะใช้ hexamethylene tetramine ผสม ส่วนใหญ่ใช้งานประดิษฐ์กรรมไม้เพื่อผลิตชิ้นงานที่พิเศษ ใช้ผลิต wafer board ชนิดพิเศษโดยใช้ dovolacs และใช้ในการผลิต densified wood ผลิตโดยการนำไม้บางคล้ายกับการทำไม้อัด แต่แทนที่จะหากาว

บนไม้บางระหว่างชั้นไม้บางก็ใช้ไม้บางแช่ impregnate อัดกาวในสารละลายกาว แล้วปล่อยให้ไหล กาวออก แล้วนำมาเรียงประกบกันตามความหนาที่ต้องการ แล้วอัดด้วยแรงดันสูงมาก เพื่อลดความ หนาและได้ไม้เพิ่มความแน่นที่มีสมบัติทนทานต่อการสึกหรอได้ดีมาก

#### 4. กาวสังเคราะห์ไอโซไซยาเนต เรซิน

กาวสังเคราะห์ไอโซไซยาเนตเรซิน (isocyanate resins) แม้ว่าจะถูกใช้เป็น casting resins และตัวกลางของสี (paint media) ปัจจุบันถูกใช้ในการผลิตปาร์ติเกิลบอร์ด แผ่นเส้นใยอัด ความหนาแน่นปานกลาง และ แผ่นขึ้นไม้อัดเรียงชั้น เมื่อต้องการชิ้นงานที่มีความทนทานสูง โดยมัน จะเกิดการยึดเหนี่ยวทางเคมีกับ ลิกนิน และเซลลูโลสในไม้ มีราคาสูงแต่เมื่อเทียบปริมาณการใช้ใน การผลิตปาร์ติเกิลบอร์ด แล้วใช้ในปริมาณที่ต่ำและถูกพิสูจน์ว่าคุ้มค่า เช่น เนื่องจากการยึดเหนี่ยว แบบธรรมชาตินี้จะช่วยลดการใช้ไม้วัตถุดิบได้ถึง 15% โดยจะให้ความแข็งแรงทางกลที่ระดับเดียวกัน

#### 5. การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

ภาณุวัตร จิตพุทธิ (2543) ได้ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวโดยกระตุ้นด้วย สารละลายกรดฟอสฟอริก เพื่อนำมาใช้ในการดูดซับโลหะโครเมียม (VI) ที่ปนเปื้อน ในน้ำเสียจาก อุตสาหกรรม ทำการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์ ได้แก่ อุณหภูมิและ ระยะเวลาที่ใช้ในการเผาให้เป็นถ่านและการเผากระตุ้น และวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ ผลิตได้ ได้แก่ ค่าการดูดซับไอโอดีน พื้นที่ผิวสัมผัสจำเพาะ และหมู่ฟังก์ชันของถ่านกัมมันต์ จากผล การทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์คือ การเผาให้เป็นถ่านที่อุณหภูมิ 40 °C เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมงในสภาวะอัดอากาศและการเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีค่าการดูดซับไอโอดีนเท่ากับ 1,050 มิลลิกรัมต่อกรัม มีพื้นที่ผิวสัมผัส จำเพาะเท่ากับ 975 ตารางเมตรต่อกรัม และมีหมู่ฟังก์ชันที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบจำนวนมาก จากผลการทดสอบประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ในการดูดซับโครเมียม (VI) พบว่าถ่านกัมมันต์ สามารถดูดซับโครเมียม (VI) ได้ดีที่สุดเมื่อสารละลายโครเมียมมีค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นเท่ากับ 2.5 กล่าวคือ ถ่านกัมมันต์ซึ่งทำการเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง สามารถ ดูดซับโครเมียม (VI) ได้เท่ากับร้อยละ 69.80 ในขณะที่ถ่านกัมมันต์อ้างอิง YAO 12/40 สามารถดูด ซับโครเมียม (VI) ได้เพียงร้อยละ 56.96 เท่านั้น เกิดปฏิกิริยารีดักชันจากโครเมียม (VI) เป็นโครเมียม (III) ในระหว่างกระบวนการดูดซับน้อยกว่าถ่านกัมมันต์อ้างอิง YAO 12/40

พลัญญ์ โสภณกิจโกศล (2554) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการผลิตถ่านกัมมันต์จาก กะลามะพร้าวโดยกระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก เพื่อนำมาทำการดูดซับโลหะโครเมียม (VI) ที่ปนเปื้อนในน้ำเสียจากอุตสาหกรรม ได้ทำการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่าน

กัมมันต์ ได้แก่ อุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในการเผาให้เป็นถ่านและการเผากระตุ้น และวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ ได้แก่ ค่าการดูดซับไอโอดีน พื้นที่ผิวสัมผัสจำเพาะ และหมู่ฟังก์ชันของถ่านกัมมันต์ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์ คือ การเผาให้เป็นถ่านที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมงในภาวะอับอากาศและการเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีค่าการดูดซับไอโอดีนเท่ากับ 1,050 มิลลิกรัมต่อกรัม มีพื้นที่ผิวสัมผัสจำเพาะเท่ากับ 975 ตารางเมตรต่อกรัม และมีหมู่ฟังก์ชันที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบจำนวนมาก

อรัญ ขวัญปาน (2554) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของการกำจัดตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว ไม้โกงกาง และเปลือกทุเรียน การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง โดยแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนการทดลอง ขั้นตอนหนึ่ง เป็นการเตรียมถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว ไม้โกงกาง และเปลือกทุเรียนที่ผ่านการกระตุ้นทางเคมี โดยใช้โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ศึกษาลักษณะทางกายภาพและประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้น โดยการวัดค่าไอโอดีนนัมเบอร์ และขั้นตอนที่สอง ทำการทดลองแบบทีละเท (Batch Experiment) ศึกษาวิจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการดูดติดผิวตะกั่ว ได้แก่ พีเอช เวลาสัมผัส และปริมาณถ่านกัมมันต์ เพื่อทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิช พบว่าในขั้นตอนที่หนึ่ง อุณหภูมิที่เหมาะสมที่ใช้การเผากระตุ้นคือ 700 องศาเซลเซียส อัตราส่วนน้ำหนักของวัตถุดิบต่อสารกระตุ้นที่เหมาะสมคือ 1:1 ได้ค่าไอโอดีนสูงสุดเท่ากับ 623, 045, 564, 763 และ 446.215 มิลลิกรัมของไอโอดีนต่อกรัมของ ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว ไม้โกงกาง และเปลือกทุเรียน ตามลำดับ และพื้นที่ผิวเท่ากับ 674, 608 และ 570 ตารางเมตรต่อกรัมของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว ไม้โกงกางและเปลือกทุเรียน ตามลำดับ ขั้นตอนที่สอง การดูดติดผิวสูงขึ้นเมื่อพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์เพิ่มขึ้นตั้งแต่พีเอช 2 ถึงพีเอช 9 และตั้งแต่พีเอช 4 ขึ้นไป พบว่าถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วสูงกว่า 85% ทั้งนี้เนื่องจากเกิดการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์รวมกับการตกตะกอนของตะกั่ว ผลของเวลาสัมผัสพบว่าสมดุลของการดูดติดผิวสำหรับถ่านกัมมันต์คือ 10 นาที ผลของการหาไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิช แสดงให้เห็นว่าถ่านกัมมันต์มีความสามารถในการดูดติดผิว 5.0, 4.9 และ 4.1 มิลลิกรัม ของตะกั่วต่อกรัมของถ่านกัมมันต์ ของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว ไม้โกงกาง และเปลือกทุเรียน ตามลำดับ

เทียมชัย บัวลอย (2553) ได้ทำการศึกษาการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลโค ในการศึกษาจะทำการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์มูลโคโดยทำการคาร์บอนซ์ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำถ่านกัมมันต์มูลโคที่ได้มาดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์เพื่อศึกษาเวลาเข้าสู่สมดุลในการดูดซับ และศึกษาไอโซเทอมและประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วโดยถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากมูลโค

ในปี 2007 O.S. Amuda และคณะ ได้ศึกษาการดูดซับโลหะหนักในน้ำทิ้งอุตสาหกรรม โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวที่ปรับปรุงด้วยไคโตซานและกรดฟอสฟอริก พบว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้สามารถดูดซับโลหะสังกะสีในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มได้ดี ตัวแปรที่ทำการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโลหะ ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-เบส เวลาในการดูดซับ ความเข้มข้นของสารดูดซับ ความเข้มข้นของไอออนโลหะเริ่มต้น และขนาดอนุภาค และศึกษาการคายการดูดซับโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ และติดตามปริมาณโลหะที่ถูกดูดซับ จากการวิจัยสรุปได้ว่า การสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวและปรับปรุงด้วยไคตินซึ่งเป็นต่างธรรมชาติให้ผลในการดูดซับโลหะที่ดีได้สารดูดซับที่มีราคาถูก และเป็นการของเหลือใช้กลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์

รวีวรรณ ยงเมืองน้อย รุ่งอรุณ ทาทอง และสุชาติ ศาลางาม (2555) ได้ศึกษาคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากตะเกียบไม้ที่ใช้แล้วที่กระตุ้นด้วยสารละลายเกลือสมุทร และสารละลายเกลือสินเธาว์ และเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกำจัดสีจากน้ำเสียสังเคราะห์สีแอสิดสีแดงของถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ชนิด พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากตะเกียบไม้ที่ใช้แล้วโดยกระตุ้นด้วยสารละลายเกลือสมุทรที่มีพื้นที่ผิวมากกว่าและมีประสิทธิภาพในการดูดซับสีมากกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากตะเกียบไม้ที่ใช้แล้วโดยกระตุ้นด้วยสารละลายเกลือสินเธาว์ การใช้สารละลายเกลือสมุทรหรือเกลือสินเธาว์แทนสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ จึงเป็นประเด็นที่น่าสนใจสำหรับการผลิตถ่านกัมมันต์ในระดับชาวบ้านทั่วไป เพราะไม่ต้องกังวลในเรื่องของความเป็นพิษและสารตกค้างในถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้

วาที ทองสัมฤทธิ์ และ ธนวรรณ เวียงสีมา (2538) ได้ทำการศึกษาระดับปริมาณเนื้อกาวที่มีผลต่อสกายสมบัติและกลสมบัติของแผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง จากไม้ยางพาราขนาดแผ่น  $350 \times 350$  มม. หนา 10 มม. มีความหนาแน่นปานกลาง  $750-800 \text{ kg/m}^3$  ทำการ อัดด้วยแทนอัดร้อนที่  $150-160$  องศาเซลเซียส เวลา 5 นาที ใช้ความกดดันที่  $150 \text{ kg/cm}^2$  มีส่วนผสมของกาวยูเรีย 13% และพาราฟิน เหลว 1% โดยใช้อัตราส่วนของเนื้อกาวแห้งที่ผสมต่อเยื่อแห้งในอัตรา ส่วน 47% 52% และ 62% ตามลำดับขึ้นของเส้นใย 5% ก่อนการผสมกาวและ ความชื้น 15% ทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกลตามมาตรฐาน JIS พบว่าแผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง ที่ระดับของกาวที่ 47% 52% 57% และ 62% ได้มาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน JIS A 5906-1983 แล้วสามารถผ่านค่ามาตรฐานได้ทุก Treatment แผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลางที่มี Solid content 47 % เป็นแผ่นทดลองที่ดีที่สุด มีค่าความต้านแรงดัด สูงมีมอดุลัสยืดหยุ่น สูง มีการดูดซึมน้ำ ได้น้อย มีการขยายตัวตามความหนาต่ำกว่าระดับของ solid content ที่ 52% 57% และ 62% ตามลำดับ ขนาดของเส้นใยที่เหมาะสมในการนำมาผลิตแผ่นควรมีเส้นใยละเอียดที่ 120-140 mesh และส่วนเส้นใยหยาบที่ 20-40 mesh ซึ่งสามารถนำมาผลิต เป็นแผ่นใยไม้ที่มีความแข็งแรง

สมคิด ทองบุญ (2541) ได้ศึกษาแผ่นขึ้นไม้อัดจากเกล็ดไม้ยางพาราโดยใช้สารยัดพอลิเมอร์ เอ็มดีไอ โดยใช้สารยัดพอลิเมอร์ไดไอโซไซยานต (พีเอ็มดีไอ) โดยศึกษาผลของวัสดุกัน สารยัดเกาะติดแผ่นรองอัด ไอโซไซยานตอินเด็กซ์ (ปริมาณของพอลิออล) ปริมาณของสารยัดที่ขึ้น ผิว/ ชั้นไส้ อุณหภูมิในการเคียวสารยัด ระยะเวลาในการเคียวสารยัด และปริมาณความชื้นของเกล็ด ไม้ ที่มีผลต่อสมบัติต่างๆ ของแผ่นขึ้นไม้อัดไม้ยางพาราโดยสารยัดพีเอ็มดีไอ และเปรียบเทียบกับ การใช้สารยัดฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ พบว่าแผ่นขึ้นไม้อัดไม้ยางพาราที่ใช้สารยัดพีเอ็มดีไอให้ชิ้นงาน คุณภาพดี ทนทานต่อภาวะที่รุนแรง การดูดซึมน้ำและการพองตัวเมื่อแช่น้ำที่ต่ำ ค่าความต้านแรงดัด โมดูลัสยืดหยุ่นและค่าความต้านแรงดัดตั้งฉากกับผิวหน้าที่สูง นอกจากนี้สารยัดพีเอ็มดีไอ และ สามารถใช้งานได้ดีกับเกล็ดไม้ที่มีความชื้นสูง

นิศากร เจริญดี (2543) ได้ศึกษาการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดจากผักตบชวา เพื่อศึกษาสมบัติของ แผ่นขึ้นไม้อัดที่ผลิตจากผักตบชวา สมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกล โดยใช้สารยัดติด คือ กาว ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ 10% และกาวฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ 5% และกำหนดให้แต่ละแผ่นขึ้นไม้อัดมีความ หนาแน่น  $700 \text{ kg/m}^3$  และ  $800 \text{ kg/m}^3$  ใช้สารพาราฟินอิมัลชันที่ 1% และ 2% ที่ผลิตจาก ผักตบชวาทั้ง 8 ชนิด มาทดสอบตามมาตรฐาน มอก. 876-2532 พบว่า ผักตบชวาสามารถนำมาอัด เป็น แผ่นขึ้นไม้อัดได้ ซึ่งมีสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานจากการ วิเคราะห์โดยใช้ค่ามาตรฐาน Z (Z-SCORE) พบว่าแผ่นขึ้นไม้อัดที่ผลิตจากผักตบชวาผสมกาวยูเรีย พอร์มัลดีไฮด์ ความหนาแน่น  $800 \text{ kg/m}^3$  และสารพาราฟินอิมัลชัน 1% เป็นแผ่นขึ้นไม้อัดที่ผลิตจาก ผักตบชวาที่มีคุณภาพดีที่สุด

สโรชา เจริญวัย (2543) ได้พัฒนาต้นแบบแผ่นขึ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนและ มะพร้าวที่มี ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำ โดยใช้เปลือกทุเรียนและใยมะพร้าวเป็นวัตถุดิบในการผลิตแผ่นขึ้น ไม้อัด โดยทำการศึกษาปัจจัย 2 ประการ ได้แก่ ชนิดของกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน ที่ 12% กาว ฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ ที่ 6% และกาวไอโซไซยานตเรซิน ที่ 3% และความหนาแน่นของแผ่นขึ้นไม้อัดที่ ผลิตได้ พบว่าชนิดของกาวไม่มีผลแตกต่างกันมากนักต่อสมบัติของแผ่นขึ้นไม้อัด ในขณะที่ ความหนาแน่นของแผ่นขึ้นไม้อัดส่งผลอย่างมากต่อสมบัติ พบว่า เมื่อความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้น สมบัติทางกลเพิ่มขึ้น เช่น ค่าโมดูลัสแตกร้า และโมดูลัสยืดหยุ่นสูงขึ้น แต่ค่าที่ได้ไม่สูงมากนัก ความคงสภาพทางมิติที่ดีขึ้น ค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำ รวมทั้งเมื่อความหนาแน่นสูงขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์ การนำความร้อนก็สูงขึ้นด้วย วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดที่มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ต่ำมาจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

ธเนศ ศรีตภาณุ และปราณี ปานกล้า (2544) ได้ศึกษากรรมวิธีการผลิตแผ่นผลิตภัณฑ์ความ หนาแน่นปานกลางจากเส้นใยมะพร้าว เป็นแผ่นเส้นใยอัดขึ้นเดียว ขนาดของแผ่น  $350 \times 350$  มม. หนา 6 มม. การผลิตดังนี้ คือ ใช้แรงอัดที่  $150 \text{ kg/cm}^2$  มีส่วนผสมของกาวยูเรียต่อน้ำหนักอบแห้ง

ของเส้นใยที่ 8% 10% และ 12% ตามลำดับและ พาราฟินเหลว 1% ความชื้นของเส้นใยก่อนการผสม 2-5% และความชื้นหลังการผสมเยื่อแล้ว 8-11% ได้แผ่นเส้นใยความหนาแน่นเฉลี่ย 524 kg/m<sup>3</sup> 556 kg/m<sup>3</sup> และ 632 kg/m<sup>3</sup> ตามลำดับ การทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ และสมบัติเชิงกล สมบัติได้กระทำตามมาตรฐาน ASTM และ JIS การทดสอบพบว่าความต้านทานแรงดัด มอดุลัสยืดหยุ่น และความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า ได้ดีที่สุดในระดับปริมาณเนื้อกากที่ 12% แต่มีค่าการขยายตัวตามความหนาและการพองตัวที่สูงเกินมาตรฐานกำหนดมากทั้ง 3 ระดับของกาก เนื่องจากในการแยกเส้นใย ไม่สามารถ แยกขุยของกากมะพร้าวออกได้หมด ซึ่งขุยเหล่านี้มีสมบัติในการดูดซึมน้ำได้ดี

กิตติศักดิ์ บัวศรี (2544) ได้ศึกษาการผลิตแผ่นฉนวนความร้อนจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรโดยใช้ฟางข้าวเป็นวัตถุดิบและจัดเป็นฉนวนความร้อนที่ดีประเภทหนึ่ง ซึ่งพิจารณาจากค่าการนำความร้อนที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0.0564 และ 0.0957 w/m.K ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นและปริมาณกากสังเคราะห์ ค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนมีแนวโน้มลดลงเมื่อความหนาแน่นและปริมาณกากสังเคราะห์ลดลง ผลการทดสอบ ปริมาณความชื้น การดูดซึมน้ำ การพองตัวเมื่อแช่น้ำ ค่าความต้านทานทนแรงกระแทก ค่ามอดุลัสแตกร้าว ค่ามอดุลัสยืดหยุ่น และค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า ซึ่งให้เห็นว่าแผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตโดยใช้ปริมาณกากสังเคราะห์ 12% และ 16% ที่ความหนาแน่นระหว่าง 600-700 Kg/m<sup>3</sup> นอกจากสามารถใช้เป็นฉนวนความร้อนที่ดีแล้ว ยังสามารถใช้เป็นแผ่นฉนวนกันไฟอัดความหนาแน่นปานกลาง ที่มีสมบัติตามมาตรฐาน มอก. 876-2532

ประยูร สุรินทร์ (2544) ได้ศึกษากระบวนการผลิตและสมบัติแผ่นฉนวนความร้อนจากขานอ้อย พบว่า การนำความร้อนมีค่าอยู่ระหว่าง 0.0724-0.0925 w/m.K ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าความหนาแน่นและปริมาณกากที่ใช้ ค่าการนำความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อความหนาแน่นและปริมาณกากเพิ่มขึ้น การดูดซึมน้ำ การขยายตัวทางความหนา และความยาว ลดลง ส่วนความต้านทานแรงกระแทก ค่ามอดุลัสแตกร้าวและมอดุลัสยืดหยุ่น ค่าต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า สูงขึ้น แผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตได้ใช้ปริมาณกาก 25% และ 33% มีความหนาแน่นระหว่าง 600-700 kg/m<sup>3</sup> สามารถใช้เป็นฉนวนความร้อนที่ดีและยังใช้เป็นแผ่นฉนวนกันไฟอัดความหนาแน่นปานกลาง

ธีรวรรณ นิมมา (2544) ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตแผ่นฉกตบขวาอัดซีเมนต์เพื่อศึกษาสมบัติเชิงกายภาพและเชิงกล ทำการทดลองโดยนำ เส้นใยฉกตบขวาผสมกับซีเมนต์ กำหนดความยาวเส้นใยฉกตบขวา ขนาด 5 7.5 และ 10 ซม. อัตราส่วนร้อยละโดยน้ำหนักระหว่างฉกตบขวา กับซีเมนต์ 40:60 50:50 และ 60:40 แล้วอัดขึ้นรูป รวมทั้งหมด 9 อัตราส่วน นำแผ่นฉกตบขวาอัดซีเมนต์ มาทดสอบสมบัติทางกายภาพ และสมบัติเชิงกล ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 878-2537 และโดยการเปรียบเทียบขนาด น้ำหนักและความหนากับแผ่นเซลโลกรีต (แผ่นไม้อัด

ซีเมนต์) ของบริษัทเซลโลกริตไทย จำกัด พบว่าสามารถนำแผ่นผักตบชวา ขึ้นรูปอัดแผ่นด้วยแรงกด  $100 \text{ kg/cm}^2$  ไปใช้ในงานอาคาร ในลักษณะที่เป็นแผ่นผนังเบา แต่ยังไม่เหมาะที่จะใช้ทำฝ้าเพดาน เนื่องจากมีน้ำหนักมาก

เกรียงไกร วิริยะเมธานนท์ และยศวีร์ สุขเสน (2544) ได้ศึกษาผนังมอร์ต้าซีเมนต์เสริมเส้นใยพีชธรรมชาติผนังซีเมนต์ ซึ่งเส้นใยพีชธรรมชาติที่ใช้ ได้แก่ หญ้าแฝกและผักตบชวา โดยประกอบด้วยตัวแปร ปริมาณเส้นใยและความยาวเส้นใย ในส่วนของปริมาณเส้นใยใช้ร้อยละ 3 5 และ 10 โดยปริมาตร ส่วนความยาวของเส้นใยใช้ 1 5 และ 10 ซม. สำหรับการเรียงตัวของเส้นใยให้คลุกเคล้าโดยการผสมในสภาวะปกติ พบว่า ผนังซีเมนต์ที่เสริมหญ้าแฝกจะให้หน่วยแรงอัดมากที่สุดเมื่อใช้เส้นใยยาว 1 ซม. ปริมาตรร้อยละ 5 ส่วนซีเมนต์ที่เสริมผักตบชวานั้น จะให้หน่วยแรงอัดที่มากที่สุดเมื่อใช้เส้นใยยาว 1 ซม. ปริมาตรร้อยละ 3 โดยที่ส่วนผสมที่ดีที่สุดของผนังซีเมนต์เสริมหญ้าแฝกนั้น จะให้หน่วยแรงอัดที่มากกว่าผนังซีเมนต์ที่เสริมผักตบชวา แต่ก็ยังคงน้อยกว่าผนังซีเมนต์ล้วน ในด้านหน่วยแรงอัดพบว่า ส่วนผสมที่ดีที่สุดของผนังซีเมนต์เสริมเส้นใยพีชธรรมชาติแต่ละชนิดล้วนให้หน่วยแรงดัดที่มากกว่าผนังซีเมนต์ล้วน โดยผนังซีเมนต์ที่เสริมหญ้าแฝกจะให้หน่วยแรงดัดมากที่สุดเมื่อใช้เส้นใยยาว 1 ซม. ปริมาตรร้อยละ 5 ส่วนผนังซีเมนต์ที่เสริมผักตบชวาจะให้หน่วยแรงดัดมากที่สุดเมื่อใช้เส้นใยยาว 1 ซม. ปริมาตรร้อยละ 3 ซึ่งเมื่อนำส่วนผสมทั้งสองมาเปรียบเทียบกัน ปรากฏว่าส่วนผสมที่ใช้ผักตบชวานั้นจะให้หน่วยแรงดัดที่มากกว่า ในด้านการดูดซึมน้ำ ผลการทดสอบปรากฏว่าผนังซีเมนต์ที่เสริมเส้นใยพีชทั้งสองชนิดดูดซึมน้ำมากกว่าผนังซีเมนต์ล้วน โดยที่ส่วนผสมที่ผสมผักตบชวาจะดูดซึมน้ำมากที่สุดสำหรับหน่วยน้ำหนัก ผนังซีเมนต์ที่เสริมผักตบชวาจะให้น้ำหนักที่เบากว่าซีเมนต์ที่เสริมหญ้าแฝกส่วนในด้านต้นทุนของผนังซีเมนต์ หากใช้หญ้าแฝกเป็นส่วนผสมจะลดต้นทุนได้ประมาณ 50 บาทต่อปริมาตรผนังซีเมนต์ 1 ลูกบาศก์เมตร และถ้าหากใช้ผักตบชวาเป็นส่วนผสมก็จะลดต้นทุนได้ประมาณ 30 บาทต่อปริมาตรผนังซีเมนต์ 1 ลูกบาศก์เมตร

ขวัญเรือน กันทวัง และคณะ (2545) ได้ศึกษาฉนวนใยเซลลูโลสที่อัดโดยเครื่องอัดแผ่นแบบไฮดรอลิกส์ เพื่อศึกษาและออกแบบเครื่องอัดแผ่นฉนวนใยเซลลูโลส จาก ชังข้าวโพด ผักตบชวา และชานอ้อย เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของฉนวนใยเซลลูโลสที่มีความหนาต่างกัน 3 ระดับ คือ 2.54 5.08 และ 7.62 ซม. หรือ 1 2 และ 3 นิ้ว ตามลำดับ การทดสอบค่าการนำความร้อน ค่าต้านทานความร้อน ความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำ ซึ่งพบว่า ส่วนผสมของผักตบชวา : น้ำ : กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ : พาราฟิน เท่ากับ 2 : 3 : 2 : 1 ที่ระดับความหนา 2.54 ซม. มีคุณสมบัติการเป็นฉนวนที่ดีที่สุด โดยค่าการนำความร้อนที่ได้ เทียบกับมาตรฐาน ASTM C 177 มีค่าเท่ากับ  $0.0142 \text{ w/m.k}$  หรือมีค่าความต้านทานความร้อนเท่ากับ  $70.42 \text{ m}^2.\text{k/w}$  โดยมีค่าความหนาแน่น  $669.29 \text{ kg/m}^3$  และการดูดซึมน้ำเท่ากับ 12.75% ผลการทดสอบ วัสดุฉนวนจากผักตบชวา โดยจะมีค่าการนำความร้อนต่ำ และด้านการถ่ายเทความร้อนสูงสุด ส่วนชานอ้อยและชังข้าวโพด มีค่ารองลงมา

ตามลำดับ เนื่องจากขนาดของเส้นใยของผักตบชวามีขนาดเล็ก มีลักษณะอ่อนนิ่มและละเอียดมากกว่า จึงประสานตัวกับวัสดุประสานได้ดี ทำให้ค่าความหนาแน่นสูง จึงสามารถกันความร้อนไม่ให้ผ่านออกมาอีกด้านได้ ฉนวนใยเซลลูโลสที่ระดับความหนา 2.54 เซนติเมตร มีค่าการนำความร้อนต่ำ ด้านการถ่ายเทความร้อนสูง และมีความหนาแน่นสูงกว่าอีก 2 ระดับ คือ 5.08 และ 7.62 เซนติเมตร หากความหนาแน่นมากกว่านี้ประสิทธิภาพ ของการเป็นฉนวน จะยิ่งดีมากขึ้น กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ เป็นวัสดุประสาน ที่ดีกว่าแป้งมัน เนื่องจากการผสมที่ 0.5 กิโลกรัมเท่ากัน การประสานของวัสดุที่ใช้ กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ จะประสานกันดีกว่า และทนความร้อนได้สูงกว่า จึงทำให้มีค่าการนำความร้อนต่ำ และด้านการถ่ายเทความร้อนสูงกว่า ในการผสมพาราฟินจะพบว่า สามารถจะลดการดูดซึมน้ำของฉนวนใยเซลลูโลสได้ เนื่องจากพาราฟินมีคุณสมบัติในการเคลือบวัสดุ จึงทำให้ลดการดูดซึมน้ำได้ดีกว่าการไม่ผสม จากการทดสอบพบว่า การเลือกใช้ผักตบชวาที่มีความหนาแน่น ที่ความหนา 2.54 เซนติเมตร ที่ใช้กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ เป็นวัสดุประสานและผสมพาราฟิน เป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี จึงสามารถต้านทานความร้อน และป้องกันการดูดซึมน้ำได้ โดยที่ได้ค่าการนำความร้อน และค่าต้านทานความร้อน ที่ทำการเทียบค่ามาตรฐาน เท่ากับ 0.0142 w/m.k และ 70.42 m.k/w ตามลำดับ และมีค่าความหนาแน่น 669.29 kg/m<sup>3</sup> ค่าการดูดซึมน้ำ 12.75 เปอร์เซ็นต์ของมาตรฐาน แห่ง

นพนันท์ นานคงแนบ (2545) ได้พัฒนาแผ่นขึ้นไม้อัดค่าการนำความร้อนต่ำ โดยมีอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างเปลือกทุเรียนและใยมะพร้าว แผ่นขึ้นไม้อัดนี้ มุ่งหวังเพื่อนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของอาคารสำหรับการประหยัดพลังงาน การศึกษานี้ ทำการศึกษา 2 ปัจจัยหลัก คือ อัตราส่วนระหว่างเปลือกทุเรียน และใยมะพร้าว (โดยน้ำหนัก) และความหนาแน่น แผ่นไม้ขึ้นไม้อัด จะถูกทำขึ้นตามกระบวนการผลิตทั่วไป ผลปรากฏว่าอัตราส่วนผสมและความหนาแน่นมีผลกระทบต่อการศึกษาคุณสมบัติสุดท้าย ของแผ่นขึ้นไม้อัด อัตราส่วนที่เหมาะสมของเปลือกทุเรียน และใยมะพร้าวคือ 10:90 (โดยน้ำหนัก) ที่ความหนาแน่น 856 kg/m<sup>3</sup> ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน 0.1342 w/m.K โมดูลัสแตกหัก 440.46 kgf/cm<sup>2</sup> โมดูลัสยืดหยุ่น 21,867 kgf/cm<sup>2</sup> แรงยึดเหนี่ยวภายใน 37.25 kgf/cm<sup>2</sup> การพองตัวทางด้านความหนา 10.49% และค่าความชื้น 6.22% จากการเปรียบเทียบกับแผ่นขึ้นไม้อัดที่ทำจากเปลือกทุเรียน และใยมะพร้าว คุณสมบัติของแผ่นขึ้นไม้อัดที่ผลิตจากส่วนผสมระหว่างเปลือกทุเรียนและใยมะพร้าว มีสมบัติดีกว่า ยกเว้นแต่ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น ซึ่งจะมีค่าลดลง

สมเจตน์ พืชพันธ์ และคณะ (2546) ได้ทำการผลิตฉนวนความร้อนจากเส้นใยหญ้าแฝก และน้ำยางธรรมชาติ การนำเส้นใยเซลลูโลสมาผลิตเป็นฉนวนความร้อน งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับกระบวนการผลิตและสมบัติทางความร้อนของฉนวนความร้อนจากเส้นใยหญ้าแฝก และน้ำยางธรรมชาติ โดยการนำเส้นใยหญ้าแฝกสายพันธุ์ราชบุรีผ่านกระบวนการฟั่นเคลือบประสานเส้น

ใยหญ้าแฝกด้วยน้ำยางธรรมชาติ แล้วทำการขึ้นรูปเป็นฉนวนความร้อนขนาดกว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร และหนา 1.5 เซนติเมตร มีความหนาแน่น  $180 \text{ kg/m}^3$  ค่าการนำความร้อนของฉนวนที่ผลิตได้มีค่า  $0.0564 \text{ w/m.K}$  ซึ่งใกล้เคียงกับฉนวนความร้อนที่ผลิตเชิงพาณิชย์ ผลการศึกษาเบื้องต้นแสดงให้เห็นว่า มีความเป็นไปได้อย่างยิ่งในการนำเส้นใยหญ้าแฝกและน้ำยางธรรมชาติมาผลิตเป็นฉนวนความร้อนเพื่อทดแทนฉนวนความร้อนที่ผลิตจากเส้นใยสังเคราะห์

วันเพ็ญ ทานศิริญ และศศิวิมล ครอบธรรม (2546) ได้ศึกษาแผ่นผลิตภัณฑ์ขึ้นไม้อัดมวลเบาจากต้นมันสำปะหลังที่ทำการทดลองผลิตจากต้นมันสำปะหลังแบบมีเปลือกและไม่มีเปลือก ใช้กาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ เป็นตัวประสาน เท่ากับ 7% 10% และ 13% ในปริมาณเนื้อกาวยูเรียเท่ากับน้ำหนักของขึ้นต้นมันสำปะหลัง พบว่าแผ่นขึ้นไม้อัดจากต้นมันสำปะหลังที่ไม่มีเปลือก มีความหนาแน่นเฉลี่ย  $456$   $459$  และ  $470 \text{ kg/m}^3$  และแผ่นขึ้นไม้อัดจากต้นมันสำปะหลังที่มีเปลือก มีความหนาแน่นเฉลี่ย  $455$   $481$  และ  $515 \text{ kg/m}^3$  ตามลำดับ ทดสอบตามมาตรฐาน JIS A 5908-1994 การใช้ต้นมันสำปะหลังแบบไม่มีเปลือก ให้ผลสมบัติเชิงกลสูงกว่า แผ่นที่ใช้ต้นมันสำปะหลัง แบบมีเปลือก และการใช้ปริมาณกาวยูเรียที่สูงขึ้น มีอิทธิพลต่อการเพิ่มสมบัติต่างๆ ของแผ่นขึ้นไม้อัดมวลเบา ทั้งจากการใช้ต้นมันสำปะหลังแบบมีเปลือก และไม่มีเปลือก เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานกำหนดปรากฏว่า แผ่นขึ้นไม้อัดมวลเบาจากต้นมันสำปะหลัง สามารถผ่านค่ามาตรฐานได้ ยกเว้น แผ่นขึ้นไม้อัดมวลเบาแบบมีเปลือก ที่ให้ค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากผิวหน้าต่ำกว่า ค่ามาตรฐานที่กำหนดเล็กน้อย

วิจิต เพชรกลัด และอภิรัตน์ โชคบวร (2546) ได้ศึกษาการผลิตแผ่นใยสับปรดอัดความหนาแน่นปานกลาง ที่ได้จากการทดลอง ชนิดผิวเรียบ 2 หน้า มีความหนาแน่นของแผ่น  $600-800 \text{ kg/m}^3$  ความหนาแผ่นเท่ากับ 10 มม. ใช้ปริมาณกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ 13% และ 15% และปริมาณพาราฟินอิมัลชัน 0.75% เทียบกับน้ำหนักเส้นใยสับปรดอบแห้ง โดยมีรายละเอียดในการผลิตดังนี้ ความดันในการอัด  $150 \text{ kg/cm}^2$  อุณหภูมิในการอัด  $150 \text{ }^\circ\text{C}$  เวลาในการอัด 7 นาที เส้นใยสับปรดก่อน การผสมกับกาวยูเรียปริมาณความชื้นไม่เกิน 5% และ ความชื้นหลังการผสม 12-15% ทดสอบที่ระดับปริมาณเนื้อกาวยูเรีย 13% ไม่ผสมพาราฟินอิมัลชันมีค่าความหนาแน่นเฉลี่ย  $705 \text{ kg/m}^3$  แผ่นทดสอบที่ระดับปริมาณเนื้อกาวยูเรีย 15% ไม่ผสมพาราฟินอิมัลชันมีค่าความหนาแน่นเฉลี่ย  $789 \text{ kg/m}^3$  แผ่นทดสอบที่ระดับปริมาณเนื้อกาวยูเรีย 13% ผสมพาราฟินอิมัลชันมีค่าความหนาแน่นเฉลี่ย  $787 \text{ kg/m}^3$  และแผ่นทดสอบที่ระดับปริมาณเนื้อกาวยูเรีย 15% ผสมพาราฟินอิมัลชันมีค่าความหนาแน่นเฉลี่ย  $813 \text{ kg/m}^3$  เมื่อทำการทดสอบเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายสมบัติและกลสมบัติ ตามมาตรฐาน JIS A 5906-1983 พบว่า สามารถผ่านค่ามาตรฐานทางสมบัติทางกล เช่น ค่าความต้านทานแรงดัด และค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า ความหนาแน่น และความชื้น อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกำหนด แต่มีค่าการขยายตัวทางความหนาเมื่อแช่น้ำ และการดูดซึมน้ำ สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานกำหนด

เนื่องจากคุณสมบัติของเส้นใยโพลีเอสเตอร์มีการดูดซึมน้ำได้ดีและเมื่อทำการเปรียบเทียบกับแผ่นใยไม้อัดที่ผลิตจากไม้ยางพาราทางการค้าแล้ว แผ่นใยโพลีเอสเตอร์อัดความหนาแน่นปานกลางควรทำการปรับปรุงคุณสมบัติด้านความคงขนาดของแผ่นให้ดีขึ้นต่อไป

กำพล ชูปรีดา และคณะ (2546) ได้ศึกษาการผลิตแผ่นเส้นใยอัดความหนาแน่นสูงจากผักตบชวา ที่ได้ทดลองจากกรรมวิธีแห้งชนิดผิวเรียบ 2 หน้า ซึ่งมีความหนาแน่นที่กำหนด  $800 \text{ kg/m}^3$  ขึ้นไป ความหนาของแผ่นเท่ากับ 9 มม. ใช้ปริมาณกาว ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ 10% 13% และ 16% และปริมาณพาราฟินอิมัลชัน 0.75% เทียบกับน้ำหนักแห้งของเส้นใยผักตบชวา โดยมีรายละเอียดในการผลิต ดังนี้ ทำการอัดด้วยเครื่องอัดร้อน แรงอัดจำเพาะ  $25 \text{ kg/cm}^2$  อุณหภูมิในการอัด 150 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการอัด 6 นาที เส้นใยผักตบชวาก่อนการผสมกาวมีความชื้นเฉลี่ย 6.79% พบว่าแผ่นที่ระดับปริมาณเนื้อกาว 10% 13% และ 16% ไม่ผสมพาราฟินอิมัลชัน มีความหนาแน่นเฉลี่ย  $869 \text{ kg/m}^3$   $855 \text{ kg/m}^3$  และ  $927 \text{ kg/m}^3$  ตามลำดับ แผ่นที่ระดับปริมาณเนื้อกาว 10% 13% และ 16% ผสมพาราฟินอิมัลชัน มีความหนาแน่นเฉลี่ย  $858 \text{ kg/m}^3$   $858 \text{ kg/m}^3$  และ  $857 \text{ kg/m}^3$  ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกลตามมาตรฐาน JIS A 5905-1994 พบว่า แผ่นทดสอบทุกระดับปริมาณเนื้อกาว ทั้งผสมและไม่ผสมพาราฟินอิมัลชัน ไม่สามารถผ่านค่ามาตรฐานสมบัติทางกล ทั้งค่าความต้านทานแรงดัด และค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า ค่าความหนาแน่นเฉลี่ยและค่าความชื้น อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน แต่ค่าขยายตัวทางความหนา เมื่อแช่น้ำ และค่าการดูดซึมน้ำ ยังสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด

ศุภกิจ ใจจักร์ธรรม และอภิชัย ยวนอยู่ (2546) ได้ศึกษาแผ่นผลิตภัณฑ์แผ่นขึ้นอัดจากเศษไม้ไผ่ ที่ทำการทดลองผลิตจากเศษไม้ไผ่ที่ได้จากการเหลากลึง จากการทำตะเกียบและไม้เสียบ โดยใช้กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ เป็นตัวประสานที่ 13% ในปริมาณเนื้อกาวแห้งเทียบกับน้ำหนักอบแห้งของชิ้นเศษไม้ ทำการผลิตแผ่นขึ้นอัดใน 3 ระดับความหนาแน่น  $600 \text{ kg/m}^3$   $700 \text{ kg/m}^3$  และ  $800 \text{ kg/m}^3$  ผลการทดสอบดังนี้ การกำหนดค่าความหนาแน่นที่สูงขึ้น มีอิทธิพลต่อคุณภาพของแผ่นขึ้นอัดซึ่งพบว่าระดับความหนาแน่นที่  $800 \text{ kg/m}^3$  สมบัติทางกลของแผ่นขึ้นอัดที่มีคุณภาพมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานกำหนด JIS A5908-1994 ปรากฏว่าแผ่นขึ้นอัดจากเศษไม้ไผ่ สามารถผ่านค่ามาตรฐานได้ ยกเว้นแผ่นขึ้นอัดจากเศษไม้ไผ่ที่ระดับความหนาแน่น  $600 \text{ kg/m}^3$  ที่ให้ค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า ต่ำกว่าค่ามาตรฐานกำหนด

ธนพันธุ์ ศิริรักษ์ และคณะ (2547) ได้ศึกษาการทำแผ่นพื้นปาร์เก้จากเส้นใยมะพร้าว โดยผลิตเป็นแผ่นเส้นใยอัดความหนาแน่นปานกลาง  $750\text{-}800 \text{ kg/m}^3$  แล้วนำไปทดสอบหาสมบัติทางกายภาพและทางกล ที่ขนาดแผ่น  $400 \times 400$  มม. หนา 10 มม. โดยมีส่วนผสมของกาวฟีนอลต่อน้ำหนักอบแห้งของเส้นใยที่ 9% 11% และ 13% ตามลำดับ การทดสอบสมบัติเชิงกายและสมบัติเชิงกลได้กระทำตาม มาตรฐาน JIS A 5906-1983 ผลการทดสอบพบว่า ค่าความต้านทาน แรงดัด

ค่ามอดูลัสยืดหยุ่น และค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า สามารถผ่านค่ามาตรฐาน รับได้ดีที่สุดในระดับปริมาณเนื้อกาวที่ 13% แต่มีค่าการดูดซึมน้ำและการพองตัวที่สูงเกินมาตรฐานกำหนด ทั้ง 3 ระดับของกาว เนื่องจากไม่สามารถแยกขุยออกจากเส้นใยมะพร้าวได้หมด ซึ่งขุยเหล่านี้มีคุณสมบัติในการดูดซึมน้ำได้ดี

พงศวิทย์ ลิมป์พิศุทธิ์ และ เสกสรรค์ วิวัฒน์ธนเสถียร (2547) ได้ทำการศึกษาการผลิตแผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลางจากต้นไมยราบยักษ์ ความหนาแน่นที่ระดับ 600 และ 800 kg/m<sup>3</sup> โดยใช้กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน ที่ระดับปริมาณกาวต่อน้ำหนักของเส้นใยที่แตกต่างกัน คือ 10% 13% และ 16% เป็นตัวประสาน แล้วศึกษาเปรียบเทียบค่าสมบัติทางด้านกายภาพ และทางกลของแผ่น ตามมาตรฐาน JIS A 5905-1994 ผลการทดสอบ แผ่นใยไม้อัดที่ระดับความหนาแน่น 800 kg/m<sup>3</sup> ได้ค่าสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกล ที่ดีกว่าแผ่นใยไม้อัดที่มีระดับความหนาแน่น 600 kg/m<sup>3</sup> ผลการทดลองเปรียบเทียบปริมาณกาว ต่อน้ำหนักของเส้นใยที่ระดับ 16% ให้สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลที่ดีที่สุด และในการทดสอบสมบัติของแผ่นใยไม้อัดที่ระดับความหนาแน่น 800 kg/m<sup>3</sup> ปริมาณกาว 13% แบบผสมพาราฟินอิมัลชันได้สมบัติที่ดีกว่าทั้งคุณสมบัติทางกายภาพ และทางกล เมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นที่ไม่ผสมพาราฟินอิมัลชัน สรุปได้ว่าแผ่นใยไม้อัดที่มีระดับความหนาแน่นสูง มีค่าสมบัติต่าง ๆ ของแผ่นที่ดีกว่า แผ่นที่มีความหนาแน่นต่ำ การผสมกาวในปริมาณที่เพิ่มขึ้น และการใช้พาราฟินอิมัลชันกับเส้นใยสามารถช่วยลดการขยายตัวตามความหนา การดูดซึมน้ำได้ และเพิ่มสมบัติทางกลของแผ่นได้เป็นอย่างดี

กิตติเดช แก้วฉา และคณะ (2547) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดจากใบยางพารา โดยการอัดในแนวราบด้วยเครื่องอัดร้อน แรงดันในการอัด 150 kg/cm<sup>2</sup> อุณหภูมิในการอัด 150 °C ใช้เวลาในการอัด 5 นาที ชั้นใบยางพารามีความชื้นที่ 4.8% โดยใช้กาว pMDI ที่ระดับปริมาณกาว 4% 7% 10% กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ 13% และกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ 13% ผสมกับกาว pMDI 1% และ 2% ของปริมาณเนื้อกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ ทดสอบตามมาตรฐาน JIS A 5908 -1994 พบว่าแผ่นขึ้นทดสอบที่ใช้กาว pMDI ที่ระดับปริมาณกาว 4% 7% และ 10% จะมีคุณสมบัติสูงกว่าแผ่นขึ้นทดสอบที่ใช้กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ 13% และกาวผสมของทั้งสองสัดส่วนแผ่นขึ้นใบยางพาราอัดที่ใช้กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ 13% ผสมกาว pMDI 1% และ 2% ของปริมาณเนื้อกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ทั้งหมด จะมีคุณสมบัติสูงกว่าแผ่นขึ้นทดสอบที่ใช้กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ 13% แผ่นขึ้นทดสอบที่มีความหนาแน่นสูงจะมีค่าการพองตัว การดูดซึมน้ำและความปริมาณความชื้นที่ต่ำ แต่มีคุณสมบัติทางกลสูงโดยกาว pMDI ที่ระดับปริมาณกาว 10% มีความหนาแน่นสูงสุด สรุปได้ว่าสมบัติของแผ่นขึ้นอัดจากใบยางพาราขึ้นอยู่กับชนิดและระดับปริมาณกาวที่ใช้ ซึ่งระดับปริมาณกาวที่สูงขึ้นจะมีอิทธิพลต่อสมบัติต่าง ของแผ่นขึ้นใบยางพาราอัด

ประเสริฐศักดิ์ พะสริ และวรวงศ์ วงศ์สนิท (2547) ได้ทำการศึกษาการผลิตแผ่นอัดจากแผ่นสานไบเตยหนาม และแผ่นปิดผิวเส้นใยอัดความหนาแน่นปานกลางด้วยแผ่นสานไบเตยหนาม ที่ได้ทดลองทำการผลิต มีความหนาแน่นที่กำหนด  $350 \text{ kg/m}^3$  ความหนาของแผ่น 9 มม. ใช้กาวและปริมาณกาว 4 ชนิด คือ กาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซิน กาวไอโซไซยาเนต เรซิน, กาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ผสมกาวไอโซไซยาเนตเรซิน ที่ปริมาณ 10% เทียบกับน้ำหนักแห้ง และกาวไวนิลยูรีเทน  $220 \text{ กรัม/ม}^3$  ทำการอัดร้อนและอัดเย็น แรงอัด  $50 \text{ kg/cm}^2$  อุณหภูมิในการอัด 120 องศาเซลเซียส เวลาในการอัด 5 นาที ส่วนการอัดเย็นด้วยกาวไวนิลยูรีเทนใช้เวลาในการอัด 1 ชม. ความชื้นก่อนอัดเฉลี่ย  $5.09\%$  พบว่าแผ่นทดสอบของกาวต่างชนิดกัน มีความหนาแน่นเฉลี่ย  $455.36 \text{ kg/m}^3$   $465.91 \text{ kg/m}^3$   $368.11 \text{ kg/m}^3$  และ  $425.22 \text{ kg/m}^3$  ส่วนแผ่นปิดผิวเส้นใยอัดความหนาแน่นปานกลาง มีความหนาแน่นเฉลี่ยที่  $653.22 \text{ kg/m}^3$  ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับสมบัติเชิงกล ตามมาตรฐาน JIS A 5905-1994 พบว่าแผ่นทดสอบที่ผลิตด้วยกาวทั้ง 4 ชนิด สามารถผ่านค่ามาตรฐานสมบัติทางกล ค่าความต้านแรงดัด ความเป็นฉนวนความร้อนค่าความหนาแน่นเฉลี่ยสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด และค่าความชื้นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานแต่ค่าการขยายทางความหนา ยังสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดกาวไอโซไซยาเนตเรซิน เป็นกาวที่ให้สมบัติที่ดีที่สุด

ธวัช รอบรู้ และคณะ (2547) ได้ศึกษาคุณภาพของแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดซึ่งผลิตจากต้นยาสูบ ได้ทำการทดลองผลิตแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดแบบมีไส้ และไม่มีไส้ โดยใช้กาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ ที่ระดับกาวต่อน้ำหนักแห้งของต้นยาสูบที่ คือ 7% 10% และ 13% เป็นตัวเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกล และทางกายภาพของแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดซึ่งผลิตจากต้นยาสูบแบบมีไส้และไม่มีไส้ นำผลมาเปรียบเทียบกับมาตรฐาน JIS A 5908-1994 แผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดซึ่งผลิตจากต้นยาสูบแบบมีไส้ มีผลทางด้านคุณสมบัติทางกลและทางกายภาพที่สูงกว่า แผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดแบบไม่มีไส้ การใช้ปริมาณกาวเพิ่มขึ้น ทำให้คุณสมบัติทางกลและ ทางกายภาพของแผ่นปาร์ติเกิลดีขึ้น เมื่อนำผลทดสอบมาเปรียบเทียบกับมาตรฐาน พบว่าแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดแบบมีไส้ และไม่มีไส้ มีคุณสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

ฐานันดร รัตมี และคณะ (2548) ได้ทำการศึกษาการผลิตแผ่นผลิตภัณฑ์ที่ทำจากแกลบโดยใช้ป่านศรนารายณ์เป็นส่วนผสม และใช้กาวไอโซไซยาเนตที่ระดับ 10% เป็นตัวประสาน ซึ่งใช้ความยาวของเส้นใยป่านศรนารายณ์ ที่แตกต่างกันคือ 10 30 และ 50 มม. ต่อปริมาณของป่านศรนารายณ์เมื่อเทียบกับน้ำหนัก ของแกลบแห้งที่แตกต่างกันคือ 10 30 และ 50% เป็นตัวเปรียบเทียบสมบัติทางกล และทางกายภาพมาเปรียบเทียบกับมาตรฐาน JIS A 5908-1994 พบว่า แผ่นผลิตภัณฑ์ ที่ทำจากแกลบโดยใช้ป่านศรนารายณ์เป็นส่วนผสมที่ 10% ในความยาวของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ 30 มม., ที่ 30% ในความยาวของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ 50 มม. และที่ปริมาณของป่านศรนารายณ์ที่ 50% ในความยาวของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ 30 มม. และ 50 มม. มีสมบัติทางกายภาพอยู่ใน

เกณฑ์มาตรฐานและสมบัติทางกลของแผ่นผลิตภัณฑ์ที่ทำจากแคลบโดยใช้ปานครนารายณ์เป็นส่วนผสมสามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานแผ่นผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้ปริมาณของปานครนารายณ์ที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้สมบัติทางกล และทางกายภาพของแผ่นผลิตภัณฑ์ดีขึ้นด้วย

ณัฐพงศ์ มณีชัย และคณะ (2548) ได้ทำการศึกษาการผลิตแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดจากขี้ข้าวโพด ชนิด 1 ชั้น ที่ระดับความหนาแน่น 600 700 และ 800 kg/m<sup>3</sup> และ ชนิด 3 ชั้นที่ระดับความหนาแน่น 700 kg/m<sup>3</sup> โดยใช้กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ ที่ระดับกาวต่อน้ำหนักแห้ง ของชั้นขี้ข้าวโพดที่ 13% เป็นตัวเปรียบเทียบสมบัติทางกลและ ทางกายภาพของแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดที่ได้มาเปรียบเทียบกับมาตรฐาน JIS A 5908-1994 พบว่าแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดชนิด 1 ชั้น ระดับความหนาแน่น 800 kg/m<sup>3</sup> มีสมบัติทางกล ที่สูงกว่าแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดชนิด 1 ชั้น ที่ระดับความหนาแน่น 600 700 kg/m<sup>3</sup> แต่มีสมบัติทางกายภาพ เช่นค่าการพองตัว มีค่าที่สูงกว่าค่ามาตรฐานในทุกระดับ ผลการศึกษาพบว่าแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดชนิด 1 ชั้นและ 3 ชั้น ที่ระดับความหนาแน่น 700 kg/m<sup>3</sup> มีผลการทดลองสมบัติทางกายภาพ เช่น ความชื้นและการพองตัวแตกต่างกันโดยมีค่าการพองตัวที่สูงกว่ามาตรฐานทั้งสองชนิด ส่วนผลการทดลองสมบัติทางกลมีความไม่แตกต่างกันโดยที่ไม่ผ่านค่ามาตรฐานทั้งสองชนิด

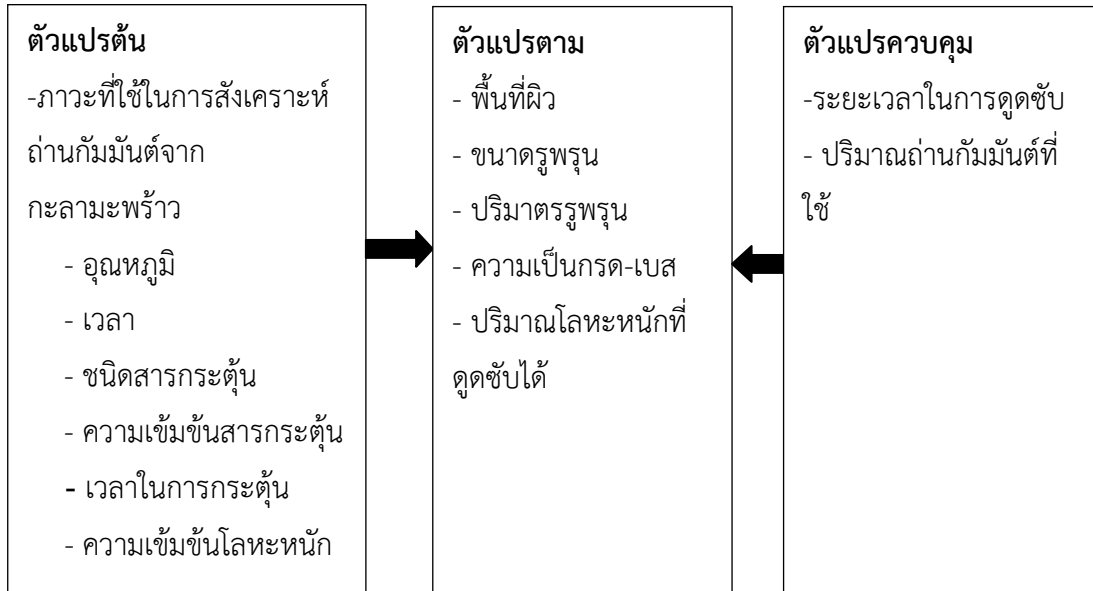
สุรเชษฐ์ เจ๊ะตอเกาะห์ และนพพล กุลจิระภัทร (2548) ได้ทำการศึกษาการผลิตแผ่นวัสดุทดแทนไม้จากแกนต้นกล้วยขง แผ่นปาร์ติเกิลบอร์ด และ แผ่นเอ็มดีเอฟ การทดลองผลิตที่ 1 ชั้นระดับความหนาแน่น 600 700 800 kg/m<sup>3</sup> และที่ 3 ชั้น ระดับความหนาแน่น 700 kg/m<sup>3</sup> โดยใช้กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ ที่ ระดับกาวต่อน้ำหนักแห้ง ของแกนต้นกล้วยขงที่ 13 % เป็นตัวเปรียบเทียบสมบัติทางกล และ สมบัติทางกายภาพของแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดนำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐาน JIS A 5908-1994 และทดลองผลิตแผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลางที่ระดับความหนาแน่น 600 700 800 kg/m<sup>3</sup> โดยใช้กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ ที่ระดับกาวต่อน้ำหนักแห้งของแกนต้นกล้วยขงที่ 13 % เป็นตัวเปรียบเทียบสมบัติทางกล และ สมบัติทางกายภาพ พบว่าแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดที่ 1 ชั้น ระดับความหนาแน่น 800 kg/m<sup>3</sup> และที่ 3 ชั้น ระดับความหนาแน่น 700 kg/m<sup>3</sup> ระดับปริมาณเนื้อกาว 13% มีผลทางด้านสมบัติทางกลที่สูงกว่า แผ่นปาร์ติเกิลบอร์ด 1 ชั้นระดับความหนาแน่น 600 kg/m<sup>3</sup> และ 700 kg/m<sup>3</sup> แต่ทางด้านกายสมบัติ เช่น ค่าขยายตัวทางความหนาเมื่อแช่น้ำ และค่าการดูดซึมน้ำ ยังสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดในทุกระดับความหนาแน่น พบว่าแผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลางที่ระดับความหนาแน่น 800 kg/m<sup>3</sup> ระดับปริมาณเนื้อกาว 13% มีผลทางด้านคุณสมบัติทางกลที่สูงกว่าแผ่นเส้นใยไม้อัดระดับความหนาแน่น 600 kg/m<sup>3</sup> และ 700 kg/m<sup>3</sup> และเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานแล้วอยู่ในเกณฑ์ที่ดี ยกเว้นความต้านทานแรงดัดความหนาแน่นที่ 600 kg/m<sup>3</sup> และ 700 kg/m<sup>3</sup> ที่ยังไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนด แต่ทางด้านกายสมบัติ เช่นค่าขยายตัวทางความหนาเมื่อแช่น้ำ และค่าการดูดซึมน้ำ ยังสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดในทุกระดับความหนาแน่น

กิตติศักดิ์ บัวศรี และวราธรรม อุ๋นจิตติชัย (2550) ได้ศึกษาการพัฒนาแผ่นฉนวนความร้อนจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ที่ใช้ชานอ้อย เส้นใยกะลาปาล์ม เปลือกข้าวโพด ชังข้าวโพด เป็นวัตถุดิบ และใช้กาวสังเคราะห์ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน ทำหน้าที่เป็นสารยึดติด การผลิตแผ่นฉนวนความร้อนกระทำโดยวิธีการอัดร้อน พบว่า ค่าการนำความร้อนมีค่าระหว่าง 0.0927-0.0988 w/m.K และ 0.1018 - 0.1066 w/m.K ปริมาณกาวสังเคราะห์ 9% และ 12% ตามลำดับ ขึ้นอยู่กับความหนาแน่น และปริมาณกาวสังเคราะห์ ค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนมีแนวโน้มลดลงเมื่อความหนาแน่น และปริมาณกาวสังเคราะห์ลดลง นอกจากนี้ผลการทดสอบ ปริมาณความชื้น การดูดซึมน้ำ การพองตัวตามความหนา ค่ามอดูลัสแตกกร้าว ค่ามอดูลัสยืดหยุ่น และค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า ซึ่งชี้ให้เห็นว่า ที่ความหนาแน่นแผ่น 600 Kg/m<sup>3</sup> นอกจากสามารถใช้เป็นฉนวนความร้อนที่ดีแล้ว ยังสามารถใช้เป็นแผ่นขึ้นไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง ที่มีสมบัติตามมาตรฐาน JIS A 5908 – 1994 และ มอก 876–2532

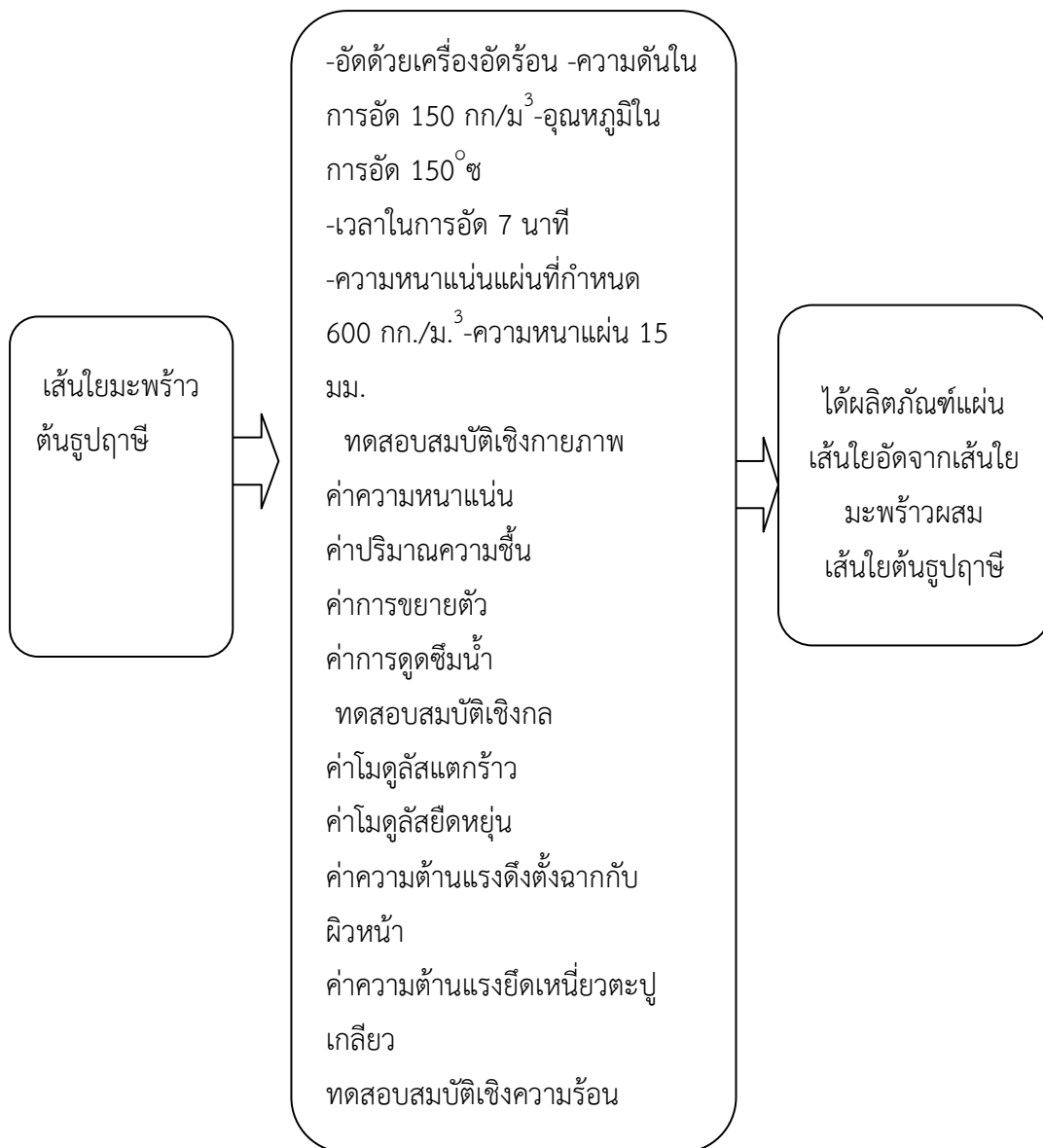
พรชัย ราชชนะพันธ์ และคณะ (2553) ได้ศึกษาผลของปริมาณของกาวแป้งผสมและขนาดผงจากเปลือกมะขามต่อคุณสมบัติของแผ่นขึ้น ไม้อัด การศึกษาปริมาณของกาวแป้งผสม (20 25 และ 30 กรัม/100 มิลลิลิตร) กับขนาดของเปลือกมะขาม (7 12 และ 20 เมช) ที่มีต่อสมบัติเชิงกล (สัมประสิทธิ์การแตกหัก) และสมบัติทางกายภาพ (ความหนาแน่น ค่าการดูดซึมน้ำ และค่าการพองตัวตามความหนา) ของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเปลือกมะขาม การผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดใช้เปลือกมะขามผสมกับกาวแป้ง และอัดที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 1,500 psi เป็นเวลา 8 นาที พบว่าเมื่อปริมาณกาวเพิ่ม มากขึ้น มีค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ทำให้สัมประสิทธิ์ของการแตกหักเพิ่มขึ้นแต่ค่าการดูดซึมน้ำ และการพองตัวตามความหนาลดลง และขนาดของผงเปลือกมะขามที่เล็กลง สัมประสิทธิ์การแตกหัก ความหนาแน่น ค่าการดูดซึมน้ำ และการพองตัวตามความหนาเพิ่มขึ้นแผ่นขึ้นไม้อัดที่ให้สมบัติที่ดีที่สุด คือ ผงเปลือกมะขามขนาด 20 เมช ปริมาณกาว 30 กรัม/100 มิลลิลิตร

## กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

การสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวสำหรับดูดซับโลหะหนัก



การผลิตแผ่นไม้อัดจากเส้นใยมะพร้าวผสมต้นรูปถั่ว



ภาพที่ 2.1 กรอบแนวคิดการวิจัย

## บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

### 3.1 สารเคมี เครื่องแก้ว และเครื่องมือวิเคราะห์

#### 3.1.1 สารเคมี

##### กลาเมะพร้าวมาแปรรูปเป็นถ่านกัมมันต์

- 1) แคดเมียม (Cd), CARLO ERBA REAGENTI
- 2) ตะกั่ว (Pb), CARLO ERBA REAGENTI
- 3) กรดฟอสฟอริก ( $H_3PO_4$ ), CARLO ERBA REAGENTS
- 4) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH), assay 85%, CARLO ERBA REAGENTS
- 5) โซเดียมคลอไรด์ (NaCl), CARLO ERBA REAGENTS
- 6) ไฮโดรคลอริก (HCl), MALLINKRODT, USA.
- 7) กรดไนตริก ( $HNO_3$ ), assay 65%, Density  $1.400\pm 0.010$ , CARLO ERBA REAGENTS
- 8) ไอโอดีน (I), CARLO ERBA REAGENTS
- 9) โซเดียมไทโอซัลเฟต ( $Na_2S_2O_3$ ), assay 99.5%, Ajax Finechem
- 10) โซเดียมคาร์บอเนต ( $Na_2CO_3$ ), assay 99.5%-100.5%, CARLO ERBA REAGENTS
- 11) โพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI), CARLO ERBA REAGENTS
- 12) โพแทสเซียมไอโอเดต ( $KIO_3$ ), CARLO ERBA REAGENTS
- 13) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $H_2O_2$ ), assay  $29.0\pm 31.0\%$ , CARLO ERBA REAGENTS
- 14) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH), assay 98%, CARLO ERBA REAGENTS
- 15) น้ำแป้ง ( $C_6H_{10}O_5$ )<sub>n</sub>, ศึกษาภัณฑ์พาณิชย์
- 16) น้ำกลั่น

##### แผ่นไม้อัดจากเส้นใยมะพร้าวผสมตันรูปภาชี

- 1) สารเร่งปฏิกิริยาที่ใช้เป็นตัวช่วยเร่ง (hardener) สารเร่งแข็งที่ใช้ในการทำวิจัยการผลิตแผ่นไม้อัดจากเส้นใยมะพร้าวผสมตันรูปภาชี คือ สารแอมโมเนียมคลอไรด์ ใช้ที่ปริมาณ 2%
- 2) สารเคลือบผิวกันซึม ที่ใช้ในรูปของอิมัลชัน (emulsion) หรือพาราฟินอิมัลชัน (paraffin emulsion) ที่ปริมาณ 1%

- 3) กาวสังเคราะห์ไอโซไซยาเนตเรซิน (4-4' diphenylmethane di-isocyanate :pMDI) เป็นกาว ชนิด polymeric diphenylmethane diisocyanate
- 4) กาวสังเคราะห์ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน

### 3.1.2 เครื่องมือ

#### กะลามะพร้าวมาแปรรูปเป็นถ่านกัมมันต์

- 1) เตาเผาไฟฟ้า ยี่ห้อ Incinerator (rang 0-1999 °C)
- 2) ถ้วยเผา
- 3) ตู้อบความร้อน ยี่ห้อ Memmert รุ่น UNB 100
- 4) เครื่องชั่งแบบละเอียด 4 ตำแหน่ง (Analytical Balance) รุ่น 202A ยี่ห้อ Precisa
- 5) โถดูดความชื้น
- 6) ตะแกรงคัดขนาด 100 เมช
- 7) เครื่องเขย่าสาร ยี่ห้อ GFL
- 8) ถ้วยระเหย
- 9) ขวดชมพู ขนาด 250 มิลลิลิตร ยี่ห้อ Pyrex
- 10) ขวดปรับปริมาตร ขนาด 50, 100, 250 และ 500 มิลลิลิตร ยี่ห้อ SCHOTT
- 11) กรวยกรอง ยี่ห้อ Pyrex
- 12) ปีกเกอร์ ยี่ห้อ Pyrex
- 13) ซ้อนตักสาร
- 14) ปิเปต ยี่ห้อ Hamburg Precicolor
- 15) กระดาษกรอง เบอร์ 5 และเบอร์ 42 ยี่ห้อ Whatman
- 16) นาฬิกาจับเวลา
- 17) กระดาษลิตมัส
- 18) ครกเซรามิก
- 19) แท่งแก้วคนสาร
- 20) หลอดหยดสาร
- 21) กระจกนาฬิกา
- 22) เครื่อง Hot Plate ยี่ห้อ GLOBAL LAB
- 23) ชุดบิวเรต ยี่ห้อ Hamburg Precicolor
- 24) กระบอกตวง ขนาด 10, 25 และ 250 มิลลิลิตร ยี่ห้อ Pyrex
- 25) ถูขีปล้อค ยี่ห้อ SUNZIP

### แผ่นไม้อัดจากเส้นใยมะพร้าวผสมตันรูปภาชี

- 1) แผ่นเหล็ก ขนาด 400×400 มิลลิเมตร
- 2) ถุงพลาสติก ขนาด 25×30 นิ้ว สำหรับใส่วัสดุเตรียมการทดลอง
- 3) น้ำ ที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำประปาที่สะอาด
- 4) ปีกเกอร์ กระบอกลวง ใช้ตวงปริมาณน้ำและสารยึดติด
- 5) กรอบไม้ฟอร์มแผ่น ขนาด 400 × 400 เซนติเมตร
- 6) โถทำแห้ง สำหรับใส่ชิ้นงานทดสอบค่าความชื้น
- 7) นาฬิกาจับเวลา สำหรับใช้ในการอัดขึ้นรูปแผ่นเส้นใยอัด
- 8) เวอร์เนียร์คาลิเปอร์แบบดิจิตอล สามารถวัดได้ละเอียด 3 ตำแหน่ง
- 9) ไมโครมิเตอร์ สามารถวัดได้ละเอียด 0.01 มิลลิเมตร
- 10) เครื่องชั่งน้ำหนัก สามารถอ่านได้ละเอียด 0.001 กรัม

#### 3.1.3 วัสดุ

##### แผ่นไม้อัดจากเส้นใยมะพร้าวผสมตันรูปภาชี

- 1) เส้นใยมะพร้าว



ภาพที่ 3.1 เปลือกมะพร้าวและเส้นใยมะพร้าวที่ผ่านการบดย่อย

## 2) ต้นธูปฤาษี



ภาพที่ 3.2 ต้นธูปฤาษีและเส้นใยต้นธูปฤาษีที่ผ่านการบดย่อย

### 3.1.4 เครื่องมือวิเคราะห์

1. Scanning electron microscope (SEM), JEOL model JSM-5800LV with Energy Dispersive Spectrometer (EDS)
2. เครื่องวัดการดูดกลืนแสงของอะตอม (AAS)

## 3.2 วิธีการทดลอง

### กะลามะพร้าวมาแปรรูปเป็นถ่านกัมมันต์

#### 3.2.1 การเตรียมถ่านกะลามะพร้าว

- 1) คัดเลือกและทำความสะอาดกะลามะพร้าว
- 2) นำกะลามะพร้าวมาอบในตู้อบความร้อนที่อุณหภูมิ 145-150 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
- 3) นำกะลามะพร้าวที่อบเสร็จแล้วมาใส่ไว้ในโถดูดความชื้นจนเย็น
- 4) เผากะลามะพร้าวที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
- 5) บดและคัดขนาดถ่าน ด้วยตะแกรงขนาด 8, 30 เมช (0.59-2.38 มิลลิเมตร)
- 6) นำถ่านที่ได้จากการเผาที่อุณหภูมิ 400, 500, 600 °C มาหาค่าไอโอดีนนัมเบอร์เพื่อหาอุณหภูมิที่ดีที่สุด
- 7) เมื่อได้อุณหภูมิที่ดีที่สุดแล้ว เผาถ่านที่อุณหภูมิที่ดีที่สุด เป็นเวลา 1, 2, 3 ชั่วโมง เพื่อหาเวลาที่ดียิ่งที่สุด

8) นำถ่านที่เผาได้มาหาค่าไอโอดีนนัมเบอร์ ปริมาณเถ้า ปริมาณความชื้น และความหนาแน่น เพื่อหาเวลาที่ตีที่สูดในการเตรียมถ่านชาร์ก่อนนำไปกระตุ้นเป็นถ่านกัมมันต์ในขั้นต่อไป

### 3.2.1.1 การวิเคราะห์การดูดซับไอโอดีนนัมเบอร์ตามมาตรฐาน ASTM D4607-94

#### 1. สารเคมีที่ใช้

- 1) สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก โดยत्वกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นจำนวน 70 มิลลิลิตร เทใส่ในน้ำกลั่นที่มีปริมาตร 550 มิลลิลิตร
- 2) เตรียมน้ำแข็งเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก โดยชั่งแบ่ง 1 กรัม ละลายด้วยน้ำร้อนจนมีน้ำหนักเป็น 10 กรัม น้ำแข็งที่เตรียมได้จะใช้ภายในวันที่เตรียมเท่านั้น
- 3) สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตเข้มข้น 0.100 ± 0.001 นอร์มัล เตรียมโดยโซเดียมไทโอซัลเฟต 24.820 กรัมในน้ำ 75 มิลลิลิตร เติมโซเดียมคาร์บอเนต 0.1 กรัม เติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร ด้วยขวดวัดปริมาตร
- 4) สารละลายไอโอดีนเข้มข้น 0.100 ± 0.001 นอร์มัลเตรียมโดยละลายไอโอดีนละลายหมด แล้วจึงเติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 1,000 มิลลิลิตรด้วยขวดวัดปริมาตร
- 5) สารละลายโพแทสเซียมไอโอเดตเข้มข้น 0.001 นอร์มัล เตรียมโดยอบโพแทสเซียมไอโอเดตที่ 110 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น และชั่งมา 3.5667 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร

#### 2. วิธีเทียบมาตรฐานสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต

- 1) ปิเปตสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต 25 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ 250 มิลลิลิตร เติมโพแทสเซียมไอโอไดด์ 2 กรัม เขย่าให้ละลาย เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นปริมาณ 5 มิลลิลิตร
- 2) ไตเตรตด้วยสารละลายโซเดียมไอโอซัลเฟต โดยใช้ น้ำแบ่งเป็นอินดิเคเตอร์ จุดจุดยุติที่การละลายไม่มีสี

คำนวณความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต

$$N1 = (P \times R)/S \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

โดย	N1	คือ	ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต (นอร์มัล)
	P	คือ	ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต (มิลลิลิตร)
	R	คือ	ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต (นอร์มัล)

S คือ ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต (มิลลิลิตร)

### 3. วิธีเทียบมาตรฐานของสารละลายไอโอดีน

ปิเปตสารละลายไอโอดีน 25 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ 250 มิลลิลิตร ไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต โดยชั่งน้ำแบ่งเป็นอินดิเคเตอร์ จุดยุติ คือ จุดที่สารละลายไม่มีสี คำนวณความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนได้จาก

$$N_2 = (S \times N_1)/I \quad \dots\dots\dots (3.2)$$

โดย N<sub>2</sub> คือ ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน (นอร์มัล)

S คือ ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต (มิลลิลิตร)

N<sub>1</sub> คือ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต (นอร์มัล)

I คือ ปริมาตรของสารละลายไอโอดีน (มิลลิลิตร)

### 4. วิธีวิเคราะห์การดูดซับไอโอดีน

1) บดและคัดขนาดให้มีขนาด 0.2-0.25 mm.

2) อบตัวอย่างให้แห้งที่อุณหภูมิ 110-120 °C นาน 2 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น

3) ชั่งและบันทึกน้ำหนักตัวอย่างเท่ากับ M ให้ละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 4 ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

4) ใส่สารละลายกรดไฮโดรคลอริกจำนวน 10 มิลลิลิตร (ตวงด้วยปิเปตขนาด 10 มิลลิลิตร ต้มให้เดือดประมาณ 30 วินาที แกว่งขวดเบาๆ เพื่อให้ผงถ่านกัมมันต์ทุกซุ่มด้วยสารละลายเพื่อกำจัดเถ้าหรือซัลเฟตออกจากผิวถ่านกัมมันต์)

5) สารละลายไอโอดีน 100 มิลลิลิตร ปิดจุกแล้วเขย่าแรงๆ เป็นเวลา 30 วินาที

6) กรองด้วยกระดาษกรอง whatman เบอร์ 42 ทิ้งสารละลายที่กรองได้ 20 มิลลิลิตรแรก

7) ดูดสารละลายที่กรองได้ 50 มิลลิลิตร ด้วยปิเปต

8) ไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.1 นอร์มัล โดยใช้น้ำแบ่งเป็นอินดิเคเตอร์ จุดยุติคือจุดที่สารละลายไม่มีสี บันทึกปริมาตรของสารละลายไทโอซัลเฟตที่ใช้สีเป็น มิลลิลิตร (S) คำนวณการดูดซับจำเพาะ (X/M) และความเข้มข้นที่สมดุลของสารละลายไอโอดีน (C) ได้จากคำนวณการดูดซับไอโอดีน

คำนวณความสามารถในการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์จากสูตรสมการ ดังนี้

$$X/M \text{ (mg/g)} = [A - (DF \times B \times S)]/M \quad \dots\dots\dots (3.3)$$

เมื่อ	X/M	คือ มิลลิกรัมของไอโอดีนที่ถูกดูดซับต่อกรัมของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ดูดซับ
	N1	คือ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต มีหน่วยเป็นนอร์มัล
	N2	คือ ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน มีหน่วยเป็นนอร์มัล
	A	คือ $N1 \times 12693$
	B	คือ $N2 \times 126.93$
	DF	คือ $(I + H) \times F$
	I	คือ ปริมาตรไอโอดีน มีหน่วยเป็นมิลลิลิตร
	H	คือ ปริมาตรกรดไฮโดรคลอริก มีหน่วยเป็นมิลลิลิตร
	F	คือ ปริมาตรขวดรูปชมพู่ มีหน่วยเป็นมิลลิลิตร
	S	คือ ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต มีหน่วยเป็นมิลลิลิตร
	M	คือ ปริมาณของถ่านกัมมันต์ มีหน่วยเป็นกรัม
	C	คือ ความเข้มข้นของสารละลายที่กรองได้ มีหน่วยเป็นนอร์มัล

9) นำค่า X/M ที่ได้ทั้งสามค่ามาสร้างกราฟระหว่างแกนราบคือ logC แกนตั้งฉาก คือ log/M จะได้ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง

คำนวณค่าความเข้มข้นสมดุลของสารละลายไอโอดีนจากสูตรสมการ ดังนี้

$$C = (N1 \times S)/F \quad \dots\dots\dots (3.4)$$

เพื่อให้ค่าความเข้มข้นที่สมดุลของสารละลายไอโอดีน (C) อยู่ในช่วง 0.008-0.04 นอร์มัล ถ้าค่าความเข้มข้นที่สมดุลของสารละลายไอโอดีนมีอยู่ในช่วงดังกล่าวควรทำการทดลองใหม่ นำค่า X/M ที่ได้ทั้งสามค่ามาสร้างกราฟระหว่าง C กับ X/M

### 3.2.1.2 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (ash) (วิธีของ ASTM. D 2826 -83)

1) ชั่งถ่านกัมมันต์อย่างละ 3 กรัม ให้มีความละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 4 ในถ้วยทนไฟที่อบแห้ง และรู้น้ำหนักแล้ว

2) นำเข้าเตาเผาโดยค่อยๆ เพิ่มอุณหภูมิทีละน้อยๆ จนกระทั่งอุณหภูมิถึง 400-500 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3) เผาต่อจนกระทั่งอุณหภูมิถึง 600-700°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำออกจากเตาเผา ใส่โถดูดความชื้นเป็นเวลา 30 นาที แล้วชั่งน้ำหนัก

คำนวณหาปริมาณเถ้าได้จากสูตร

$$\text{เถ้า (ร้อยละโดยน้ำหนัก)} = [(A-B)/C] \times 100 \quad \dots\dots\dots (3.5)$$

เมื่อ A = น้ำหนัก crucible และ ash มีหน่วยเป็นกรัม

B = น้ำหนัก crucible

C = น้ำหนักตัวอย่างมีหน่วยเป็นกรัม

### 3.2.1.3 การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น (วิธีของ AWWA B604)

1) ชั่งถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดและชนิดผง ให้น้ำหนักแน่นอนถึง 2 กรัม ในถ้วยทนไฟ ที่อบแห้ง และรู้น้ำหนักแล้ว

2) อบตัวอย่างในตู้อบที่อุณหภูมิ 140°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็น ในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักทันทีและบันทึกน้ำหนักไว้ แล้วคำนวณหาความชื้นได้ จากสูตรดังนี้

$$\text{ความชื้น, ร้อยละโดยน้ำหนัก} = [(C - D) / (C - B)] \times 100 \quad \dots\dots\dots (3.6)$$

เมื่อ B = น้ำหนักของถ้วยทนไฟ, กรัม

C = น้ำหนักของถ้วยทนไฟกับน้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น, กรัม

D = น้ำหนักของถ้วยทนไฟกับน้ำหนักตัวอย่างที่อบแห้ง, กรัม

### 3.2.1.4 การวิเคราะห์หาความหนาแน่น (Apparent Density) (วิธีของ AWWA-B604)

1) อบตัวอย่างถ่านกัมมันต์ให้แห้งที่อุณหภูมิ 110-120°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 30 นาที

2) ชั่งน้ำหนักกระบอกตวงที่มีปริมาตร 10 มิลลิลิตร ให้มีความละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 4 บันทึกเป็น  $X_0$

3) ใส่ตัวอย่างถ่านลงในกระบอกตวงจนเต็ม กระแทกกันกระบอกตวง จนกระทั่งระดับของตัวอย่างในกระบอกตวงคงที่ ที่ขีดปริมาตร 10 มิลลิลิตร

4) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างพร้อมกระบอกตวง บันทึกผลเป็น  $X_1$

คำนวณหาค่าความหนาแน่น ได้จากสูตร

$$BD \text{ (ก./ลบ.ชม.)} = \frac{X_1 - X_0}{10} \dots\dots\dots (3.7)$$

เมื่อ  $X_0$  = น้ำหนักกระบอกตวง

$X_1$  = น้ำหนักตัวอย่าง+ กระบอกตวง

### 3.2.2 การกระตุ้นถ่านกัมมันต์

1) นำถ่านชาร์ที่ได้มาเผาแซ่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.25, 0.5, 1.0 M. ในอัตราส่วน 1:2 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อหาความเข้มข้นที่ดีที่สุด

2) นำมากรองโดยกระดาษกรอง Whatnam No.42 ก่อนนำไปอบที่อุณหภูมิ 110 -120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

3) นำไปเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

4) ล้างถ่านที่กระตุ้นด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 10% และล้างด้วยน้ำร้อนหลายๆ รอบจนค่า pH เป็นกลาง

5) อบถ่านที่อุณหภูมิ 110-120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

6) นำมาหาค่าไอโอดีนนัมเบอร์เพื่อหาความเข้มข้นที่ดีที่สุดในการแ่สารกระตุ้นซิงค์คลอไรด์

7) แ่ถ่านในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นที่ดีที่สุดเป็นเวลา 12, 24, 36 ชั่วโมง

8) นำไปเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

9) นำมาหาค่าไอโอดีนนัมเบอร์เพื่อหาเวลาที่ดีที่สุดในการแ่สารกระตุ้นโซเดียมคลอไรด์

### 3.2.3 การทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วโดยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว

1) เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีการปนเปื้อนของตะกั่วความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร โดยปีเปตสารละลายมาตรฐานตะกั่ว ปริมาตร 10 มิลลิลิตรปรับปริมาตรให้ได้ 1,000 มิลลิลิตร

2) นำน้ำเสียสังเคราะห์ปริมาตร 100 มิลลิลิตรลงในขวดรูปชมพู่

3) ชั่งถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว 10 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ที่มีน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนตะกั่วอยู่

- 4) ทำการปรับพีเอชทั้ง 3 ตัวอย่าง เท่ากับ 5 ด้วยกรดไนตริก 0.1 N. และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 N.
- 5) นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าเป็นเวลา 30, 60, 90 นาที ที่ความเร็ว 150 รอบ/นาที
- 6) ทำการแยกถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยการกรอง โดยใช้กระดาษกรอง Whatman No.42
- 7) นำน้ำตัวอย่างที่ผ่านการกรองถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวออกแล้วไปทำการย่อยเพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อนที่เหลืออยู่
- 8) ทำการวิเคราะห์น้ำตัวอย่างด้วยเครื่อง AAS เพื่อหาความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่เหลืออยู่ ทำให้ทราบเวลาสัมผัสที่ดีที่สุดในการดูดซับ
- 9) นำผลที่ได้มาวิเคราะห์หาปริมาณถ่านที่เหมาะสมในการดูดซับโดย ชั่งถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว 10, 20, 30 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ที่มีน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนตะกั่ว ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร
- 10) นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าเป็นเวลาที่ดีที่สุด ที่ความเร็ว 150 รอบ/นาที
- 11) ทำการแยกถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยการกรอง โดยใช้กระดาษกรอง Whatman No.42
- 12) นำน้ำตัวอย่างที่ผ่านการกรองถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวออกแล้วไปทำการย่อยเพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อนที่เหลืออยู่
- 13) ทำการวิเคราะห์น้ำตัวอย่างด้วยเครื่อง AAS เพื่อหาความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่เหลืออยู่ ทำให้ทราบปริมาณที่เหมาะสมของถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวที่ใช้ดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีการปนเปื้อนตะกั่ว

### 3.2.3.1 วิธีย่อน้ำตัวอย่าง

เนื่องจากน้ำตัวอย่างเป็นน้ำที่กรองจากถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวทำให้น้ำที่ได้จากการกรองอาจมีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์จากกะลามะพร้าว ซึ่งมีความใสไม่พอที่ผ่านการเข้าเครื่องวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก AAS ดังนั้น จึงต้องทำการย่อยเพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อนที่ไม่ใช่ตะกั่วออกจากน้ำเสียตัวอย่าง ซึ่งมีวิธีดำเนินการ ดังนี้

- 1) หลังกรองถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวออกจากน้ำตัวอย่าง แล้วทำการปิเปตน้ำตัวอย่าง 50 มิลลิลิตร ลงในขวดปิกเกอร์ ขนาด 100 มิลลิลิตร
- 2) จากนั้นนำไปเติมด้วยกรด  $\text{HNO}_3$  ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร แล้วนำไปวางบน HOT PLATE ต้มในอุณหภูมิสูงๆ แต่ห้ามให้น้ำตัวอย่างเดือด รอจนน้ำตัวอย่างเหลือ 10-15 มิลลิลิตร

3) ทำการเติมกรด  $\text{HNO}_3$  ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร แล้วต้มต่ออีก 20 นาที เมื่อครบตามเวลาทำการเติมกรด  $\text{H}_2\text{O}_2$  ปริมาตร 1 มิลลิลิตร แล้วต้มต่ออีก 20 นาที เมื่อครบตามเวลา แล้วนำออกมาทิ้งไว้ให้เย็น (ห้ามทิ้งไว้จนน้ำตัวอย่างแห้ง โดยเมื่อใกล้แห้งนั้นสามารถเติมน้ำ DI ลงในตัวอย่างได้นิดหน่อย)

4) เมื่อน้ำตัวอย่างเย็นแล้ว นำน้ำตัวอย่างไปกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.42 แล้วทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำ DI ให้ได้ปริมาตรเท่ากับ 50 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปเข้าเครื่อง AAS เพื่อวัดสารละลายตะกั่วที่เหลืออยู่ในน้ำตัวอย่างได้

### 3.2.4 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการดูดซับสารละลายแคดเมียม

1) การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์การเตรียมน้ำสังเคราะห์ ความเข้มข้นที่ 0.2 ppm ปีเปตแคดเมียม (II) ไนเตรตเตตระไฮเดรต ( $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) ปริมาณ 0.2 มิลลิลิตร ใส่ในขวดปรับปริมาตร 1000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น จะได้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของแคดเมียม 0.2 ppm

2) การทดลองหาปริมาณถ่านที่เหมาะสม

- นำถ่านกัมมันต์บดที่อุณหภูมิ 110-120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
- ชั่งถ่านกัมมันต์หนัก 10, 20 และ 30 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ 3 ขวด ตามลำดับ
- ปีเปตสารละลายแคดเมียมความเข้มข้น 0.2 ppm ความเป็นกรดต่างเท่ากับ 0.5 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ลงในขวด
- นำมาเขย่าที่ความเร็วรอบเท่ากับ 200 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 2 ชั่วโมง
- กรองสารละลายผ่านกรวยกรอง โดยทิ้งสารละลายในช่วงแรกจนกระทั่งกระดาษกรองอิมมิดิเอตด้วยสารละลาย จึงกรองรับสิ่งกรองด้วยหลอดทดลองขนาดเล็ก
- นำสิ่งกรองไปหาความเข้มข้นที่เหลือจากการดูดซับ โดยใช้เครื่อง AAS
- นำความเข้มข้นที่วัดได้มาคำนวณหาร้อยละประสิทธิภาพของการกำจัดโลหะแคดเมียม
- สร้างกราฟระหว่างปริมาณถ่าน (กรัมต่อลิตร) และร้อยละประสิทธิภาพการกำจัดโลหะแคดเมียมเพื่อหาปริมาณถ่านที่เหมาะสม

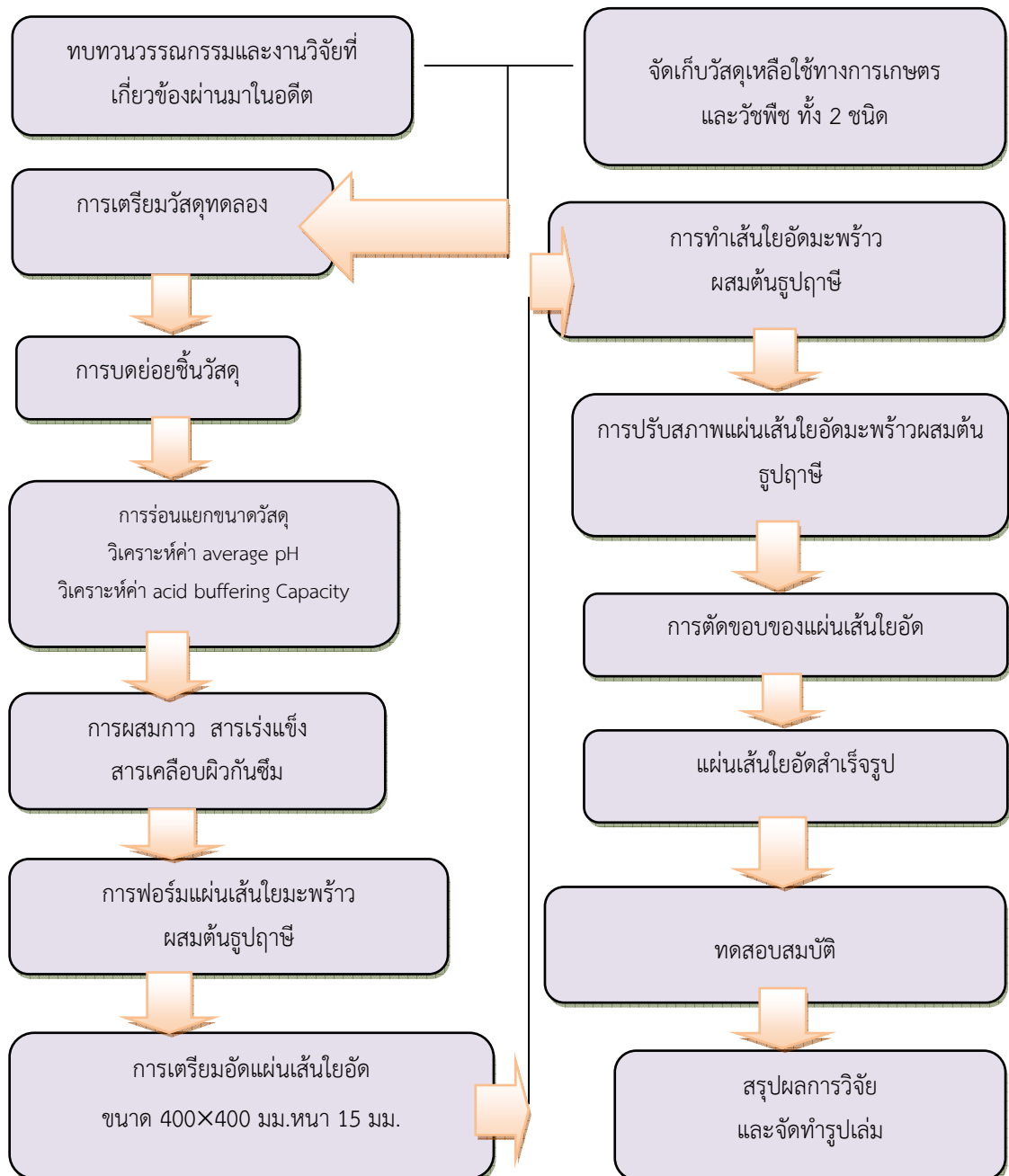
#### 3.2.4.1 การย่อยน้ำตัวอย่าง

น้ำตัวอย่างที่ได้จากการกรองอาจมีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ซึ่งมีความใสไม่มากพอที่ผ่านการเข้าเครื่องวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก AAS ดังนั้น จึงต้องทำการย่อยเพื่อขจัดสิ่งปนเปื้อนที่ไม่ใช่แคดเมียมออกจากน้ำเสียตัวอย่าง ซึ่งมีวิธีดำเนินการดังนี้

- 1) หลังกรองถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวออกจากน้ำตัวอย่าง แล้วทำการเปิดน้ำตัวอย่าง 50 มิลลิลิตร ลงในปิกรอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
- 2) จากนั้นนำไปเติมด้วยกรด  $\text{HNO}_3$  ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร แล้วนำไปวางบน Hot Plate ต้มในอุณหภูมิสูงๆ แต่ห้ามให้น้ำตัวอย่างเดือด รอจนน้ำตัวอย่างเหลือ 10-15 มิลลิลิตร
- 3) ทำการเติมกรด  $\text{HNO}_3$  ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตรอีกครั้ง แล้วต้มต่ออีก 20 นาที เมื่อครบตามเวลาทำการเติมกรด  $\text{H}_2\text{O}_2$  ปริมาตร 1 มิลลิลิตร แล้วต้มต่ออีก 20 นาที เมื่อครบตามเวลาแล้วนำออกมาทิ้งไว้ให้เย็น (ห้ามทิ้งไว้จนน้ำตัวอย่างแห้ง โดยเมื่อใกล้แห้งนั้นสามารถเติมน้ำ DI ลงในน้ำตัวอย่างได้นิดหน่อย)
- 4) เมื่อน้ำตัวอย่างเย็นแล้ว นำน้ำตัวอย่างไปกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.42 แล้วทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำ DI ให้ได้ปริมาตรเท่ากับ 50 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปเข้าเครื่อง AAS เพื่อวัดสารละลายแคดเมียมที่เหลืออยู่ในน้ำตัวอย่างได้

## แผ่นไม้อัดจากเส้นใยมะพร้าวผสมต้นธูปฤาษี

แผนผังขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยแสดงในภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 แผนผังการผลิตแผ่นไม้อัดจากเส้นใยมะพร้าวผสมต้นธูปฤาษี

### 3.2.5 การเตรียมเส้นใยมะพร้าวและต้นรูปฤาษี

ในการเตรียมเส้นใยมะพร้าวและต้นรูปฤาษีเพื่อนำไปผลิตเป็นแผ่นไม้อัดนั้น ต้องนำใยมะพร้าวและต้นรูปฤาษีมาผ่านการย่อยด้วยเครื่องย่อยและผ่านเครื่องร่อนแยกขนาด ดังรายละเอียดด้านล่าง

#### เครื่องย่อย

เครื่องย่อยเส้นใยมะพร้าวและต้นรูปฤาษี ที่ใช้ในการวิจัยซึ่งเป็นเครื่องสำหรับย่อย ดังแสดงในภาพที่ 3.4 โดยมีอุปกรณ์ที่เรียกว่า hammer mill มีส่วนประกอบหลักและหลักการทำงาน คือ มีช่องป้อนชิ้นงาน สำหรับป้อนวัสดุที่สามารถเปิดปิดได้เพื่อป้องกันอันตราย และมีมอเตอร์ 2 ตัว ตัวแรกทำหน้าที่ส่งกำลังขับให้แก่ชุดตีเส้นใย และอีกตัวเป็นตัวชุดขับเคลื่อนชิ้นวัสดุที่ผ่านการบดไปยังชุดพัดลมเป็นตัวดูดอากาศ ทำหน้าที่ดึงเส้นใยออกไปที่ทางออกโดยมีถุงดักฝุ่นและเส้นใยและป้องกันการฟุ้งกระจายของฝุ่นผงที่มีขนาดอนุภาคเล็กๆ



ภาพที่ 3.4 เครื่องย่อยเส้นใยมะพร้าวและต้นรูปฤาษี

#### เครื่องร่อนแยกขนาด

เครื่องร่อนแยกขนาด (screening) ใช้สำหรับร่อนขนาดวัสดุที่ใช้ในการแยกขนาดของเส้นใย ซึ่งมีตะแกรงการร่อน 4 ขนาด เพื่อใช้ในการแยกขนาดของวัสดุออกตามที่ต้องการและนำไปวิเคราะห์ค่าต่างๆ เพื่อต้องการร่อนแยกขนาดเส้นใยมะพร้าวและต้นรูปฤาษี ที่มีขนาดเล็กๆ ออกจากขนาดใหญ่ เอาส่วนเล็กๆ ที่เป็นฝุ่นผงที่ละเอียดออก ไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ในการทดลอง ส่วนที่มีขนาดเกินความต้องการ ต้องนำกลับไปย่อยอีกครั้ง แล้วทำการคัดขนาด ดังแสดงภาพที่ 3.5



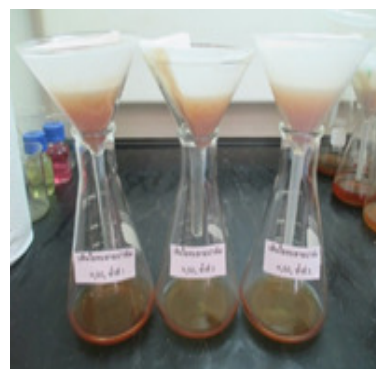
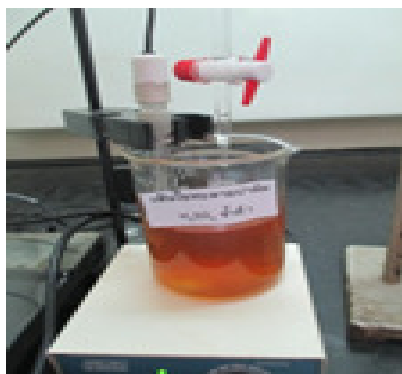
ภาพที่ 3.5 เครื่องร่อนแยกขนาด

### 3.2.6 วิธีการทดสอบความเป็นกรดเป็นด่างและการผ่อนค่าความเป็นกรดเป็นด่าง

การทดสอบค่าความเป็นกรดเป็นด่างและความสามารถในการผ่อนค่าความเป็นกรดเป็นด่าง โดนนำขึ้นวัสดุเมซ จำนวน 40 จำนวน 30 กรัม ที่ได้แช่กวนในน้ำกลั่น ปริมาตร 400 มิลลิลิตร ใช้เวลา 30 นาที และกรองเอาแต่สารละลาย นำสารละลายที่ได้ไปหาค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ค่าการผ่อนค่าความเป็นกรดเป็นด่าง แสดงในภาพที่ 3.6 โดยการผ่อนค่าความเป็นกรดให้ pH ของสารละลายที่ 3.50 ด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกเจือจาง และการผ่อนค่าความเป็นด่างให้ pH ของสารละลายที่ 7.00 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจาง ค่าความเป็นกรดเป็นด่างและการผ่อนค่าความเป็นกรดเป็นด่างของวัตถุดิบทั้ง 2 ชนิดสรุปได้ดังนี้

1. เส้นใยมะพร้าวมีค่า average pH มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.09 ส่วนค่าการผ่อนค่าความเป็นกรดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 14.33 แต่ค่าความเป็นด่างมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.80 และค่าการผ่อนค่าความเป็นกรดเป็นด่างมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 17.13

2. เส้นใยต้นธูปฤาษีมีค่า average pH มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.27 ส่วนค่าการผ่อนค่าความเป็นกรดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 11.90 แต่ค่าความเป็นด่างมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 172.37 และค่าการผ่อนค่าความเป็นกรดเป็นด่างมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 184.27 แสดงในตารางที่ 3.1



ภาพที่ 3.6 วิธีการทดสอบความเป็นกรดเป็นด่างและการผ่อนค่าความเป็นกรดเป็นด่าง

**ตารางที่ 3.1** ผลการทดสอบความเป็นกรดเป็นด่างและการผ่อนค่าความเป็นกรดเป็นด่างของเส้นใยมะพร้าวและต้นรูปฤาษี

ชนิดของวัสดุ	พีเอสเฉลี่ย	การผ่อนค่าความเป็นกรดเป็นด่าง		
		การผ่อนค่าความเป็นกรด	การผ่อนค่าความเป็นด่าง	การผ่อนค่าความเป็นกรดเป็นด่าง
เส้นใยมะพร้าว	6.09	14.33	2.80	17.13
ต้นรูปฤาษี	6.27	11.90	172.37	184.27

### 3.2.7 วิธีการวิเคราะห์หาขนาดเส้นใย

การวิเคราะห์หาขนาดเส้นใยของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและวัชพืช ทั้ง 2 ชนิดสามารถหาได้โดยใช้ตะแกรงร่อนหาขนาดเส้นใยแต่ละเมช (mesh) ตะแกรงร่อนแสดงในภาพที่ 3.7 สามารถหาได้โดยนำเส้นใยซึ่งน้ำหนัก 30 กรัม แล้วนำเส้นใยที่ซึ่งแล้วร่อนผ่านตะแกรงแต่ละเมช โดยนำตะแกรงร่อนมาวางเรียงซ้อนกันจากน้อยไปหามาก แล้วเปิดเครื่องเขย่าตะแกรงร่อน เมื่อร่อนเสร็จ 1 ครั้ง นำตะแกรงร่อนออกมาวางบนโต๊ะใช้แปรงขนพลาสติกเขี่ยเส้นใยให้กระจายออกจากกันมากที่สุด เพราะว่าเส้นใยอาจจะทับกัน ทำให้ไม่ลงรูตะแกรงร่อนด้านล่าง ทำทุกครั้งหลังจากร่อนเสร็จแต่ละครั้ง แล้วนำเส้นใยที่ได้ในแต่ละชั้นไปชั่ง แล้วนำเส้นใยตัวอย่างวางบนฐานแล้ววัดขนาดความกว้าง ความหนา และความยาว ด้วยกล้องจุลทรรศน์แล้วทำการบันทึก



**ภาพที่ 3.7** ตะแกรงร่อนและการวัดขนาดเส้นใย

### 3.2.7.1 วิธีการวิเคราะห์หาขนาดเส้นใยมะพร้าว

เส้นใยที่ใช้ในการทำแผ่นเส้นใยอัดจากเส้นใยมะพร้าวมีขนาดของเส้นใยกว้างประมาณ 0.57 มิลลิเมตร ความยาวประมาณ 15.23 มิลลิเมตรและความหนา 0.18 มิลลิเมตร มีปริมาณมากที่สุดถึง 54.97% และมีสัดส่วนความเพรียว 85.67 เท่า ค่าขนาดของเส้นใยแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 การวิเคราะห์หาขนาดเส้นใยมะพร้าว

ตัวอย่าง	ขนาดรู ตะแกรงเฉลี่ย (มม.)	ขนาด			สัดส่วนความ เพรียว	ปริมาณโดย น้ำหนัก (%) โดยเฉลี่ย
		ความยาว (มม.)	ความหนา (มม.)	ความกว้าง (มม.)		
	4.000	-	-	-	-	0
	2.840	12.65	0.29	0.82	49.05	0.64
เส้นใย	1.275	14.06	0.21	0.78	72.10	23.73
มะพร้าว	0.638	15.23	0.18	0.57	85.67	54.91
	0.337	-	-	-	-	8.93
	0.250	-	-	-	-	11.45

### 3.2.7.2 วิธีการวิเคราะห์หาขนาดเส้นใยต้นรูปถั่ว

เส้นใยที่ใช้ในการทำแผ่นเส้นใยอัดจากเส้นใยต้นรูปถั่ว มีขนาดของเส้นใยที่ใช้ในการอัดแผ่นความกว้างประมาณ 0.24 มิลลิเมตร ความยาวประมาณ 1.15 มิลลิเมตรและความหนา 6.44 มิลลิเมตร มีปริมาณมากที่สุดถึง 0.67 % และมีสัดส่วนความเพรียว 26.99 เท่า ค่าขนาดของเส้นใยแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ผลการวิเคราะห์หาขนาดเส้นใยต้นรูปถั่ว

ตัวอย่าง	ขนาดรู ตะแกรง เฉลี่ย (มม.)	ขนาด			สัดส่วนความ เพรียว	ปริมาณโดย น้ำหนัก (%) โดยเฉลี่ย
		ความยาว (มม.)	ความหนา (มม.)	ความกว้าง (มม.)		
	1.275	1.15	6.44	0.24	26.99	0.67
เส้นใย	0.638	0.70	5.44	0.25	21.38	18.81
จากต้น	0.337	0.42	3.84	0.16	23.36	54.74
รูปถั่ว	0.215	0.27	3.18	0.12	26.40	18.12
	0.165	0.20	3.10	0.13	24.48	4.23
	0.135	0.16	2.79	0.10	27.88	2.22
	0.120	0.13	2.16	0.08	25.62	1.21

### 3.2.8 เครื่องวัดปริมาณความชื้น

เครื่องวัดปริมาณความชื้นเป็นเครื่องที่ใช้หาค่าปริมาณความชื้นของวัสดุก่อนที่จะนำไปคำนวณหาปริมาณเส้นใยก่อนการอัดแผ่น ในการวิจัยนี้หมายถึง เส้นใยมะพร้าวและเส้นใยต้นธูปฤาษี เครื่องวัดปริมาณความชื้นแสดงในภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.8 เครื่องวัดปริมาณความชื้นของวัสดุ

### 3.2.9 เครื่องผสมและอุปกรณ์พ่นกาว

วิธีการผสมและการพ่นกาว แบบมีอากาศผสม กาวจะถูกทำให้เป็นละอองด้วยแรงอัดอากาศจากปั๊มลมผ่านชุดควบคุมความดัน และส่วนผสมกาวจะถูกขับออกจากชุดควบคุมความดัน ผ่านไปยังหัวพ่นลม จะทำให้ละอองกาวที่จะไปสัมผัสกับชั้นวัสดุได้มากขึ้นและทั่วถึง และสารปรับปรุงคุณภาพที่ใช้ คือสารพาราฟินอิมัลชัน พร้อมด้วยอุปกรณ์ในการผสม เครื่องผสมเส้นใยและอุปกรณ์พ่นกาวแสดงในภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.9 เครื่องผสมและการพ่นสารยึดติด

### 3.2.10 การฟอร์มแผ่นเส้นใยอัดจากเส้นใยมะพร้าวผสมตันรูปถาชี

เป็นกรรมวิธีการโรยเส้นใยที่ผ่านการผสมกาวและสารผสมอื่นๆ แล้ว ลงในแม่พิมพ์ไม้ตามขนาดที่ต้องการแล้วดึงแม่พิมพ์ไม้ออกก็จะได้การฟอร์มแผ่นเส้นใย แสดงในภาพที่ 3.10



ภาพที่ 3.10 การฟอร์มแผ่นเส้นใยอัดจากเส้นใยมะพร้าวผสมตันรูปถาชี

### 3.2.11 การเตรียมอัดแผ่นเส้นใยอัดจากเส้นใยมะพร้าวผสมตันรูปถาชี

การเตรียมอัดแผ่นเส้นใยอัดจากเส้นใยมะพร้าวผสมตันรูปถาชีเป็นการนำแผ่นที่ได้จากการฟอร์มแผ่นนำมาวางบนเครื่องอัดร้อน พร้อมด้วยเหล็กกรองอัดทั้งด้านบนและด้านล่าง และเหล็กควบคุมขนาดความหนาของแผ่นด้านข้าง แล้วนำเข้าเครื่องอัดร้อนโดยมีชุดเครื่องอัดไฮดรอลิกเป็นแท่นกดเพื่อทำการขึ้นรูปแสดงในภาพที่ 3.11



ภาพที่ 3.11 การเตรียมอัดแผ่นเส้นใยอัดด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก

### 3.2.12 การอัดร้อน

กรรมวิธีการอัดร้อน (hot pressing) เป็นกระบวนการอัดแบบแผ่นอัดร้อนในแนวราบแผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมตันรูปถาฐี ที่ผ่านกระบวนการโรยลงในกรอบไม้พร้อมแผ่นรองอัดด้านบนด้านล่าง และด้านข้างซึ่งเป็นเหล็กควบคุมความหนาของแผ่น แล้วนำมาเข้าเครื่องอัดร้อนโดยมีชุดเครื่องอัดไฮดรอลิกที่ใช้เป็นเครื่องอัดในการทำการขึ้นรูป เพื่ออัดให้ได้ขนาดความหนาของแผ่นตามที่ต้องการ ขนาดความหนาที่ใช้ในการผลิต คือ 15 มิลลิเมตร เวลาการอัดประมาณ 5 นาที อุณหภูมิที่ใช้ 120 องศาเซลเซียส และความดัน  $150 \text{ kg/cm}^2$  เครื่องอัดแผ่นเส้นใยแสดงในภาพที่ 3.12



ภาพที่ 3.12 การอัดร้อนแผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมตันรูปถาฐี

### 3.2.13 การปรับสภาวะอุณหภูมิของแผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมตันรูปถาฐี

การปรับสภาวะความชื้นและอุณหภูมิของแผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมตันรูปถาฐี หลังจากอัดร้อนแล้วนำแผ่นที่ได้ไปปรับสภาวะความชื้นที่อุณหภูมิห้องประมาณ 24 ชั่วโมง เนื่องจากแผ่นที่ออกจากเครื่องอัดร้อนจะมีอุณหภูมิที่ผิวสูงมากเพื่อให้ความชื้นในแผ่นเพิ่มขึ้นและให้อุณหภูมิของแผ่นลดลงและเพื่อให้ปริมาณความชื้นและอุณหภูมิกระจายสม่ำเสมอทั่วกันทั้งแผ่น ก่อนที่จะนำแผ่นที่ได้จากการอัดขึ้นรูปไปตัดขอบ การปรับสภาวะอุณหภูมิของแผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมตันรูปถาฐีแสดงในภาพที่ 3.13



ภาพที่ 3.13 การปรับสภาวะอุณหภูมิของแผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมต้นธูปฤาษี

### 3.2.14 การตัดขนาดแผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมต้นธูปฤาษี

การตัดขนาด (sizing) แผ่นเส้นใยมะพร้าวผสมต้นธูปฤาษี ต้องนำไปปรับสภาวะความชื้นและอุณหภูมิของแผ่นก่อนจะนำไปตัดขอบทั้ง ตัดริมออกทั้ง 4 ด้าน ด้านละ 2.5 เซนติเมตร ตามมาตรฐานกำหนด ด้วยเครื่องเลื่อยที่ใช้สำหรับตัดขึ้นทดสอบให้ได้ขนาด ตามชิ้นงานที่จะนำไปทดสอบสมบัติต่างๆ ที่ระบุไว้ตามมาตรฐานการตัดขนาดขอบแสดงในภาพที่ 3.14



ภาพที่ 3.14 การตัดขนาดแผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมต้นธูปฤาษี

### 3.2.15 แผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมต้นธูปฤาษีขึ้นสำเร็จรูป

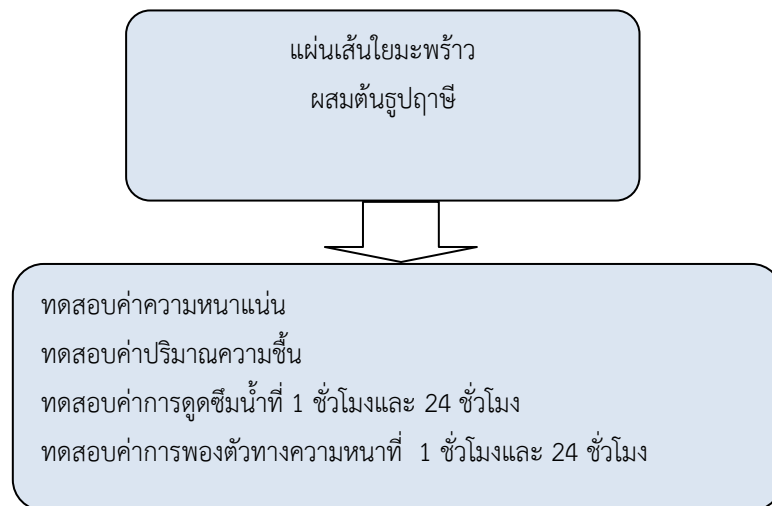
ที่ได้จากการขึ้นรูปในการทดลองนำไปทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ เชิงกล และเชิงความร้อนตามที่มาตรฐานกำหนดที่ใช้ในการทดสอบ ดังแสดงภาพที่ 3.15



ภาพที่ 3.15 แผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมต้นธูปฤาษี

### 3.2.16 การวางแผนการทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ

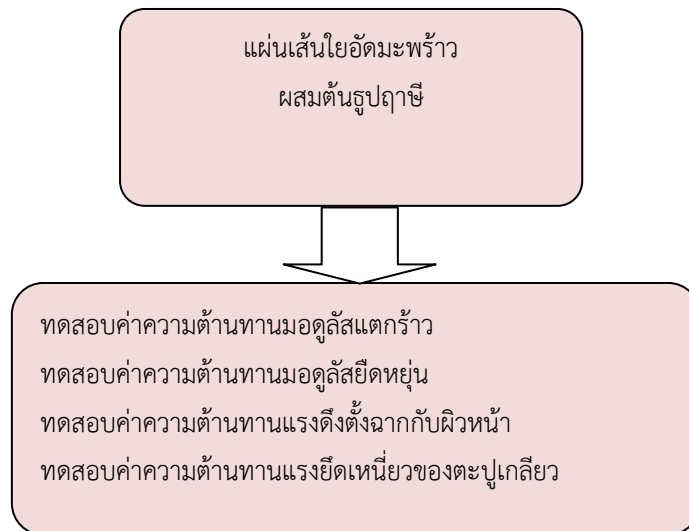
การวางแผนการทดสอบสมบัติเชิงกายภาพทดสอบตามมาตรฐาน มอก.876-2547 และ JIS 5908-2003 แสดงในภาพที่ 3.16



ภาพที่ 3.16 แผนผังการทดสอบสมบัติเชิงกายภาพแผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมต้นธูปฤาษี

### 3.2.17 การวางแผนการทดสอบสมบัติเชิงกล

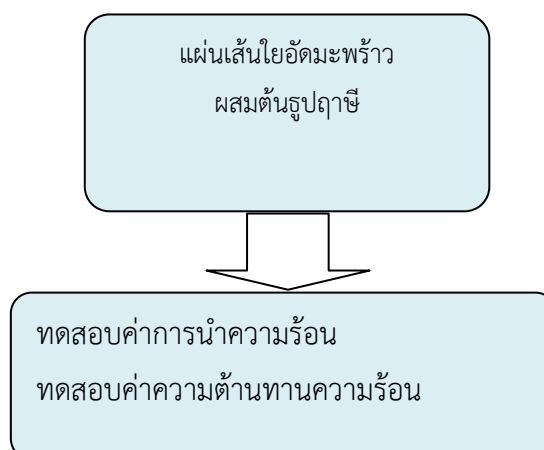
การวางแผนการทดสอบสมบัติเชิงกลทดสอบตามมาตรฐาน มอก.876-2547และJIS 5908-2003 แสดงในภาพที่ 3.17



ภาพที่ 3.17 แผนผังการทดสอบสมบัติเชิงกลแผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมต้นรูปฤาษี

### 3.2.18 การวางแผนการทดสอบสมบัติเชิงความร้อน

การวางแผนการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 177-2010 แสดงในภาพที่ 3.18



ภาพที่ 3.18 แผนผังการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนแผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมต้นรูปฤาษี

### 3.2.19 การทดสอบ

การวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design: RCBD) ทำการทดสอบ 5 ซ้ำ นำค่าเฉลี่ยที่ได้มาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of variance) เปรียบเทียบความแตกต่างของชุดทดลองแบบ Duncan's new Multiple Range Test (DMRT) และ

ทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ สมบัติเชิงกล และสมบัติเชิงความร้อน โดยนำแผ่นที่ผลิตได้ไปทดสอบอ้างอิง ตามมาตรฐาน มอก. 876-2547 JIS A 5908-2003 (8 type) และ ASTM C177-2010 ตามลำดับ

#### 3.2.19.1 การเตรียมชิ้นทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ

1) ชิ้นทดสอบค่าความหนาแน่นและค่าปริมาตรความชื้น ขนาด 50 มิลลิเมตร x 50 มิลลิเมตร ที่ใช้สารยึดติดกาวสังเคราะห์ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน และกาวสังเคราะห์ไอโซไซยานาตเรซิน ที่ปริมาณสารยึดติด 10% ที่ความหนาของแผ่น 15 มิลลิเมตร อย่างละ 5 แผ่น

2) ชิ้นทดสอบค่าการดูดซึมน้ำและค่าการพองตัวทางความหนา ขนาด 50 มิลลิเมตร x 50 มิลลิเมตร ที่ใช้สารยึดติดกาวสังเคราะห์ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน และ กาวสังเคราะห์ ไอโซไซยานาตเรซิน ที่ปริมาณสารยึดติด 10% ที่ความหนาของแผ่น 15 มิลลิเมตร อย่างละ 5 แผ่น

#### 3.2.19.2 การเตรียมชิ้นทดสอบสมบัติเชิงกล

1) ชิ้นทดสอบค่าความต้านทานแรงดัดและมอดูลัสยืดหยุ่น ขนาด 50 มิลลิเมตร x L มิลลิเมตร L=15 เท่าของความหนาระบุของชิ้นทดสอบ (ไม่น้อยกว่า 150 มิลลิเมตร บวก 50 มิลลิเมตรที่ใช้สารยึดติดกาวสังเคราะห์ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน กาวสังเคราะห์ไอโซไซยานาตเรซิน (pMDI) ที่ปริมาณสารยึดติด 10% ที่ความหนาของแผ่น 15 มิลลิเมตร อย่างละ 5 แผ่น

2) ชิ้นทดสอบความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า ขนาด 50 มิลลิเมตร x 50 มิลลิเมตร ที่ใช้สารยึดติดกาวสังเคราะห์ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน และกาวสังเคราะห์ ไอโซไซยานาตเรซิน (pMDI) ที่ปริมาณสารยึดติด 13% ที่ความหนาของแผ่น 15 มิลลิเมตร อย่างละ 5 แผ่น

3) ชิ้นทดสอบค่าความแข็งแรงการยึดเหนี่ยวของตะปูเกลียว ขนาด 50 มิลลิเมตร x 50 มิลลิเมตรที่ใช้สารยึดติดกาวสังเคราะห์ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน และกาวสังเคราะห์ไอโซไซยานาตเรซิน (pMDI) ที่ปริมาณสารยึดติด 10% ที่ความหนาของแผ่น 15 มิลลิเมตร อย่างละ 5 แผ่น

#### 3.2.19.3 การเตรียมชิ้นทดสอบสมบัติเชิงความร้อน

1) ชิ้นทดสอบค่าการนำความร้อนและความต้านทานความร้อน ขนาด 300 มิลลิเมตร x 300 มิลลิเมตร ที่ใช้สารยึดติดกาวสังเคราะห์ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน และกาวสังเคราะห์ ไอโซไซยานาตเรซิน (pMDI) ที่ปริมาณสารยึดติด 10% ที่ความหนาของแผ่น 15 มิลลิเมตร อย่างละ 5 แผ่น

### 3.2.20 วิธีการทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ

การทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ (physical properties tests) ประกอบด้วย การทดสอบค่าความหนาแน่น ค่าปริมาณความชื้น ค่าการดูดซึมน้ำและค่าการพองตัวทางความหนา ดังนี้

#### 3.2.20.1 วิธีการทดสอบค่าความหนาแน่น

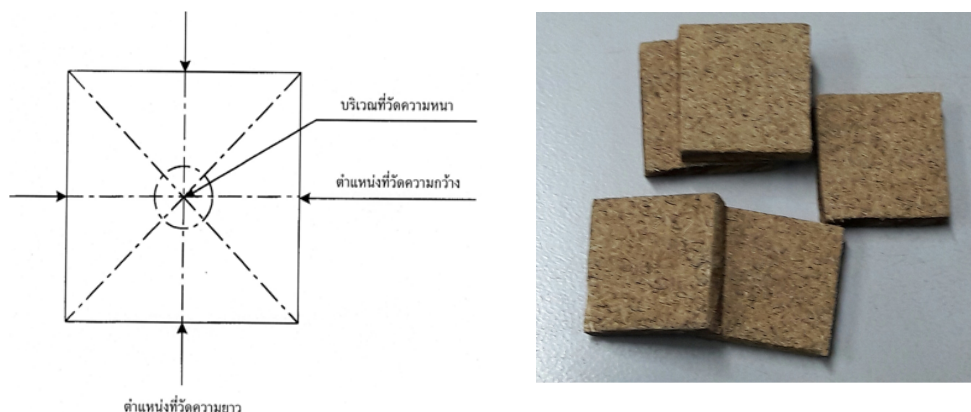
การทดสอบค่าความหนาแน่น เป็นวิธีการทดสอบหาค่าความหนาแน่นที่เทียบกับอัตราส่วนของน้ำหนักต่อปริมาณหนึ่งหน่วยมีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในการตรวจสอบหาค่าความหนาแน่น ของงานวิจัยนี้ทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน มอก.876-2547 แผ่นขึ้นไม้อัดชนิดอัดราบ หรือ JIS A 5908-2003 (8 type) Japanese standard association

##### ขั้นตอนการทดสอบค่าความหนาแน่น

- 1) ตัดชิ้นทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบค่าความหนาแน่น ให้มีขนาดความกว้าง 50 มิลลิเมตร×ความยาว 50 มิลลิเมตร แสดงในรูปที่ 3.23
- 2) นำชิ้นทดสอบมาชั่งน้ำหนักโดยใช้ เครื่องชั่งที่มีความละเอียดถึง 0.1กรัม
- 3) การวัดความหนาโดยใช้ไมโครมิเตอร์หรือเครื่องมือวัดความหนาที่เทียบเท่าที่วัดได้ละเอียดถึง 0.5 มิลลิเมตร ซึ่งมีแป้นวัดเรียบและขนานกันและมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 ถึง 20 มิลลิเมตร ให้วัดความหนาที่บริเวณตรงจุดกึ่งกลางของชิ้นทดสอบ
- 4) วัดความกว้างและความยาวของชิ้นทดสอบโดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์แบบเลื่อนหรือเครื่องวัดอื่นที่เทียบเท่าซึ่งอ่านได้ละเอียดถึง 0.1 มิลลิเมตร โดยให้เครื่องมือทำมุมกับแนวระนาบของชิ้นทดสอบประมาณ 45 องศา แสดงในภาพที่ 3.19
- 5) ตรวจสอบหาค่าความหนาแน่นของชิ้นทดสอบแต่ละชิ้นและค่าเฉลี่ย และคำนวณหาค่าความหนาแน่นของแผ่นสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.8

$$D = [m / V] \times 10^6 \quad \dots \dots \dots (3.8)$$

เมื่อ	D	คือ ค่าความหนาแน่น มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m <sup>3</sup> )
	m	คือ น้ำหนัก มีหน่วยเป็นกรัม (g)
	V	คือ ปริมาตร มีหน่วยเป็นลูกบาศก์มิลลิเมตร (mm <sup>3</sup> )



ภาพที่ 3.19 ตำแหน่งที่วัดความกว้าง ยาว และความหนา ของชิ้นงานทดสอบ

### 3.2.20.2 วิธีการทดสอบค่าปริมาณความชื้น

การทดสอบค่าปริมาณความชื้น เป็นวิธีการทดสอบหาค่าปริมาณความชื้นที่เทียบกับน้ำหนักอบแห้งโดยมีค่าปริมาณความชื้นเป็นเปอร์เซ็นต์ (%) ของงานวิจัยนี้ทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน มอก. 876-2547 แผ่นขึ้นไม้อัดชนิดอัตราบหรือ JIS A 5908-2003 (8 type) Japanese standard association

#### ขั้นตอนการทดสอบค่าปริมาณความชื้น

- 1) ตัดชิ้นทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบค่าปริมาณความชื้น ซึ่งมีขนาดความกว้าง 50 มิลลิเมตร x ความยาว 50 มิลลิเมตร
- 2) นำชิ้นทดสอบแต่ละชิ้นมาชั่งน้ำหนักโดยใช้ เครื่องชั่งที่มีความละเอียดถึง 0.01 กรัมที่ผ่านการตรวจสอบหาค่าปริมาณความชื้น แล้วให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนถึง 0.01 กรัมเป็นน้ำหนักก่อนอบแห้งหลังจากชั่งน้ำหนัก
- 3) นำชิ้นทดสอบมาอบในเตาอบที่มีอุณหภูมิ  $103 \pm 2$  องศาเซลเซียสจนน้ำหนักของแผ่นคงที่แล้ว นำชิ้นทดสอบมาใส่ในเดซิเคเตอร์แล้ว ปล่อยให้เย็นแล้ว นำชิ้นทดสอบออกมาชั่งน้ำหนักสุดท้ายเป็นน้ำหนักอบแห้ง และมวลของชิ้นทดสอบเมื่อชั่ง 2 ครั้งเป็นเวลาห่างกัน 6 ชั่วโมงต้องไม่แตกต่างกันเกิน 0.1 ของมวลของชิ้นทดสอบ ตู้อบความชื้น แสดงในภาพที่ 3.20
- 4) หาค่าปริมาณความชื้นของชิ้นทดสอบแต่ละชิ้นและหาค่าเฉลี่ย และคำนวณหาค่าปริมาณความชื้นของแผ่นสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.9

$$MC = [(W_1 - W_0) / W_0] \times 100 \quad \dots\dots\dots (3.9)$$

เมื่อ	MC	คือ ค่าปริมาณความชื้น มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ (%)
	$W_1$	คือ น้ำหนักก่อนอบ มีหน่วยเป็นกรัม (g)
	$W_0$	คือ น้ำหนักหลังอบ มีหน่วยเป็นกรัม (g)



ภาพที่ 3.20 ตู้อบความชื้น

### 3.2.20.3 วิธีการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ

การทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ เป็นวิธีการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำที่เทียบกับน้ำหนักแห้ง โดยที่มีค่าการดูดซึมน้ำเป็นเปอร์เซ็นต์ (%) โดยน้ำหนัก ของงานวิจัยนี้ตรวจสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน มอก. 876-2547 แผ่นขึ้นไม้อัดชนิดอัดราบ หรือ JIS A 5908-2003 (8 type) Japanese standard association

#### ขั้นตอนการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ

- 1) ตัดชิ้นทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบการดูดซึมน้ำซึ่งมีขนาดความกว้าง 50 มิลลิเมตร x ความยาว 50 มิลลิเมตร
- 2) นำชิ้นทดสอบที่ใช้ทดสอบการดูดซึมน้ำมาชั่งน้ำหนักโดย ให้ทราบ น้ำหนักที่แน่นอนถึง 0.1 กรัมเป็นน้ำหนักก่อนแช่น้ำแล้ว นำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ย แสดงใน ภาพที่ 3.22 เป็นความหนาก่อนแช่น้ำ นำความกว้าง ความยาว และความหนาของแผ่นก่อน แช่น้ำมาคำนวณเป็นการดูดซึมน้ำก่อนแช่น้ำ
- 3) นำชิ้นทดสอบแช่ในน้ำสะอาดที่มีอุณหภูมิห้อง โดยตั้งให้ชิ้นทดสอบให้ได้ฉาก กับระดับกับผิวหน้า โดยให้ขอบบนอยู่ใต้ระดับผิวหน้าประมาณ 25 มิลลิเมตร และแต่ละชิ้นต้องไม่ติดกัน เวลาที่ใช้ในการแช่น้ำ 2 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง เมื่อแช่ชิ้นทดสอบครบ 1 ชั่วโมงแล้วรีบนำชิ้นทดสอบ ขึ้นมาซับน้ำ ที่ผิวออกให้หมด แล้วชั่งทันทีเป็นน้ำหนักหลังแช่น้ำ 1 ชั่วโมง

4) นำชิ้นทดสอบไปแช่น้ำอีก 23 ชั่วโมง แล้วนำขึ้นมาชั่งตามวิธีเดิม น้ำหนักที่ชั่งได้ในครั้งนี้ เป็นน้ำหนักหลังแช่น้ำ 24 ชั่วโมง วัดความกว้าง ความยาว และความหนาเหมือนตอนแรก

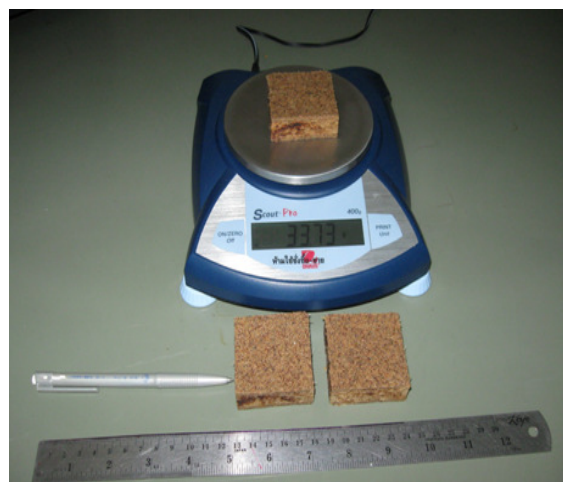
5) คำนวณหาค่าการดูดซึมน้ำหลังแช่น้ำ พร้อมกับบันทึกผลการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ รายงานค่าเฉลี่ยค่าการดูดซึมน้ำของชิ้นทดสอบ วิธีการคำนวณหาค่าการดูดซึมน้ำของแผ่นที่ 2 ชั่วโมง และที่ 24 ชั่วโมง แสดงในภาพที่ 3.21 จากสมการที่ 3.10

$$WA = [(W_2 - W_1) / W_1] \times 100 \quad \dots\dots\dots (3.10)$$

เมื่อ WA คือ ค่าการดูดซึมน้ำ มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ (%)  
 $W_1$  คือ น้ำหนักก่อนแช่น้ำ มีหน่วยเป็นกรัม (g)  
 $W_2$  คือ น้ำหนักหลังแช่น้ำ มีหน่วยเป็นกรัม (g)



ภาพที่ 3.21 ชุดทดสอบการดูดซึมน้ำและการพองตัวของความหนา



ภาพที่ 3.22 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล

### 3.2.20.4 วิธีการทดสอบค่าการพองตัวทางความหนา

การทดสอบค่าการพองตัวทางความหนา (thickness swelling) เป็นวิธีการทดสอบค่าการพองตัวทางความหนา โดยปริมาตรของงานวิจัยนี้ทดสอบ อ้างอิงตามมาตรฐาน มอก. 876-2547 แผ่นขึ้นไม้อัดชนิดอัดราบ หรือ JIS A 5908-2003 (8 type) Japanese standard association

#### ขั้นตอนการทดสอบค่าการพองตัวทางความหนา

1) ตัดชิ้นทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบค่าการพองตัวทางความหนา ซึ่งมีขนาดความกว้าง 50 มิลลิเมตร x ความยาว 50 มิลลิเมตร แผ่นทดสอบวัดการพองตัวทางความหนา แสดงในภาพที่ 3.23

2) การวัดความหนาโดยใช้ไมโครมิเตอร์หรือเครื่องมือวัดความหนาที่เทียบเท่าที่วัดได้ละเอียดถึง 0.5 มิลลิเมตร ซึ่งมีแป้นวัดเรียบและขนานกันและมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 ถึง 20 มิลลิเมตร ให้วัดความหนาที่บริเวณตรงจุดกึ่งกลางของชิ้นทดสอบ

3) วัดความกว้าง และความยาว ของชิ้นทดสอบโดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์แบบเลื่อนหรือเครื่องมือวัดอื่นที่เทียบเท่าซึ่งอ่านได้ละเอียดถึง 0.1 มิลลิเมตร โดยให้เครื่องมือทำมุมกับแนวระนาบของชิ้นทดสอบประมาณ 45 องศา แสดงตามรูปที่ 3.23

4) นำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ย เป็นความหนาก่อนแช่น้ำ นำความกว้าง ความยาว ความหนาของแผ่นก่อนแช่น้ำมาคำนวณเป็นค่าการพองตัวก่อนแช่น้ำ

5) นำชิ้นทดสอบแช่ในน้ำสะอาดที่มีอุณหภูมิ  $20 \pm 2$  องศาเซลเซียส โดยตั้งให้ชิ้นทดสอบให้ได้ฉากกับระดับกับผิวหน้า โดยให้ขอบบนอยู่ใต้ระดับผิวหน้าประมาณ 25 มิลลิเมตร และแต่ละชิ้นต้องห่างจากกันและต้องห่างจากผนังและก้นภาชนะที่ใสไม่น้อยกว่า 10 มิลลิเมตร

6) เมื่อแช่ชิ้นทดสอบครบ 1 ชั่วโมง ให้นำชิ้นทดสอบมาซับน้ำที่ผิวออกให้หมดด้วยผ้าหมาดแล้วปล่อยให้อุณหภูมิห้องโดยวางให้ขอบด้านใดด้านหนึ่งอยู่บนแผ่นวัสดุที่ไม่ดูดซึมน้ำ เช่น พลาสติก กระดาษ

7) นำชิ้นทดสอบมาวัดความหนาตามตำแหน่ง เดิมเป็นความหนาหลังแช่น้ำและคำนวณหาค่าการพองตัวทางความหนาหลังแช่น้ำ พร้อมกับบันทึกผลการทดสอบค่าการพองตัวทางความหนา รายงานค่าเฉลี่ยการพองตัวทางความหนาของชิ้นทดสอบ วิธีการคำนวณหาค่าการพองตัวทางความหนาของแผ่นที่ 2 ชั่วโมง และที่ 24 ชั่วโมง จากสมการที่ 3.11

$$TS = [(T_2 - T_1) / T_1] \times 100 \dots\dots\dots (3.11)$$

เมื่อ	TS	คือ ค่าการพองตัวทางความหนา มีหน่วยเป็น เปอร์เซ็นต์ (%)
	T <sub>1</sub>	คือ ความหนาก่อนแช่น้ำ มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร (mm)
	T <sub>2</sub>	คือ ความหนาหลังแช่น้ำ มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร (mm)



ภาพที่ 3.23 การพองตัวทางความหนาหลังแช่น้ำที่ 2 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง

### 3.2.21 วิธีการทดสอบสมบัติเชิงกล

การทดสอบสมบัติเชิงกล (mechanical properties tester) ประกอบด้วย การทดสอบค่าความต้านทานมอดุลัสแตกร้าว (modulus of rupture : MOR) หรือความต้านทานแรงดัด และค่ามอดุลัสยืดหยุ่น (modulus of elasticity : MOE) ค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า (tensile strength perpendicular to plane of board) ค่าความต้านทานแรงยึดเหนี่ยวของตะปูเกลียว (screw holding power) มีวิธีการทดสอบดังนี้

#### 3.2.21.1 วิธีการทดสอบค่าความต้านทานแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น

ในการทดสอบค่าความต้านทานแรงดัดซึ่งแสดงถึงความสามารถในการต้านการแตกหักหรือความแข็งแรง (strength) ของไม้และมอดุลัสยืดหยุ่นซึ่งแสดงถึงความสามารถในการต้านการโก่งหรือความแข็งตึง (stiffness) ของไม้ ของงานวิจัยนี้ทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน มอก.876-2547 แผ่นชิ้นไม้อัดชนิดอัดราบ หรือ JIS A 5908-2003 (8 type) Japanese standard association

##### ขั้นตอนการทดสอบค่าความต้านทานแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น

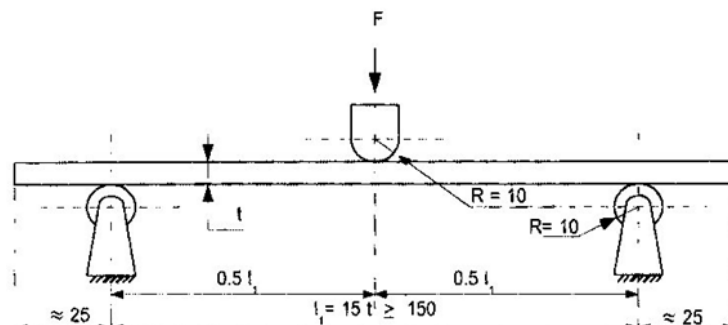
- 1) ตัดชิ้นทดสอบตามมาตรฐานวัดค่าความต้านทานแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น ขนาดความกว้าง 50 มิลลิเมตร x ขนาดความยาว 200 มิลลิเมตร
- 2) นำชิ้นทดสอบที่ใช้ทดสอบค่าความต้านทานแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น ไปปรับสภาพที่อุณหภูมิ  $20 \pm 2$  องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ  $65 \pm 5$  จนน้ำหนักคงที่ คือน้ำหนักของชิ้นทดสอบที่ชั่ง 2 ครั้งห่างกัน 24 ชั่วโมง ต่างกันไม่เกินร้อยละ 0.1

3) เครื่องกดซึ่งสามารถวัดแรงกดได้ละเอียดถึง 5 นิวตัน หรือร้อยละ 5 ของแรงกดสูงสุดที่ชิ้นทดสอบรับได้ หัวกดต้องมีปลายส่วนที่ใช้กดเป็นรูปครึ่งวงกลม มีรัศมี 10 มิลลิเมตร และมีความยาวไม่น้อยกว่าความกว้างของชิ้นทดสอบ แทนรองรับ ต้องมีลักษณะหน้าตัดเป็นรูปวงกลม หรือรูปครึ่งวงกลม มีรัศมี 10 มิลลิเมตร ความยาวไม่น้อยกว่าความกว้างของชิ้นทดสอบ มาตรฐานการแอนตัว ซึ่งสามารถอ่านค่าได้ละเอียดถึง 0.1 มิลลิเมตร

4) นำชิ้นทดสอบวางลงบนแทนรองรับซึ่งมีระยะห่างกัน 15 เท่าของความหนา

1) ระบุของชิ้นทดสอบ แต่ต้องไม่น้อยกว่า 150 มิลลิเมตร ให้ปลายชิ้นทดสอบยื่นออกไปจากจุดที่รองรับประมาณข้างละ 25 มิลลิเมตร เท่าๆ กัน ดังแสดงภาพที่ 3.24 และภาพที่ 3.25

5) ให้แรงกดลงบนจุดกึ่งกลางของชิ้นทดสอบ โดยมีอัตราการเพิ่มแรงกดอย่างสม่ำเสมอ เวลาที่ใช้ตั้งแต่เริ่มกดจนกระทั่งชิ้นทดสอบหักต้องไม่น้อยกว่า 30 วินาที และไม่เกิน 120 วินาที



ภาพที่ 3.24 ลักษณะการทดสอบค่าความต้านทานแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น

6) คำนวณหาค่า ความต้านทานแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่นของแผ่นสามารถคำนวณจากสมการที่ 3.12 และสมการที่ 3.13

$$f_m = 3 F_{max} \times L_1 / 2 b t^2 \dots\dots\dots (3.12)$$

- เมื่อ  $f_m$  คือ ค่าความต้านทานแรงดัด มีหน่วยเป็น เมกะพาสคัล (MPa)
- $F_{max}$  คือ แรงกดสูงสุดที่ชิ้นทดสอบรับได้ มีหน่วยเป็น นิวตัน (N)
- $L_1$  คือ ระยะห่างของแทนรองรับ มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร (mm)
- $b$  คือ ความกว้างที่จุดกึ่งกลางด้านยาวของชิ้นทดสอบ มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร (mm)

t คือ ความหนาที่จุดกึ่งกลางของชิ้นทดสอบ มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร (mm)

$$E_m = L_1^3 (F_2 - F_1) / 4 b t^3 (a_2 - a_1) \dots\dots\dots (3.13)$$

เมื่อ  $E_m$  คือ ค่าความต้านทานมอดุลัสยืดหยุ่น มีหน่วยเป็นเมกะพาสคัล (MPa)  
 $L_1$  คือ ระยะห่างของแท่นรองรับ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm)  
 $F_2 - F_1$  คือ แรงกดที่เพิ่มขึ้น ในช่วงที่เส้นกราฟเป็นเส้นตรง มีหน่วยเป็นนิวตัน (N)  
 $b$  คือ ความกว้างที่จุดกึ่งกลางด้านยาวของชิ้นทดสอบ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm)  
 $t$  คือ ความหนาที่จุดกึ่งกลางของชิ้นทดสอบ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm)  
 $a_2 - a_1$  คือ ระยะแอนตัวที่เพิ่มขึ้นในช่วงที่เส้นกราฟเป็นเส้นตรง มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm)



ภาพที่ 3.25 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงดึงและมอดุลัสยืดหยุ่น

### 3.2.21.2 วิธีการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า

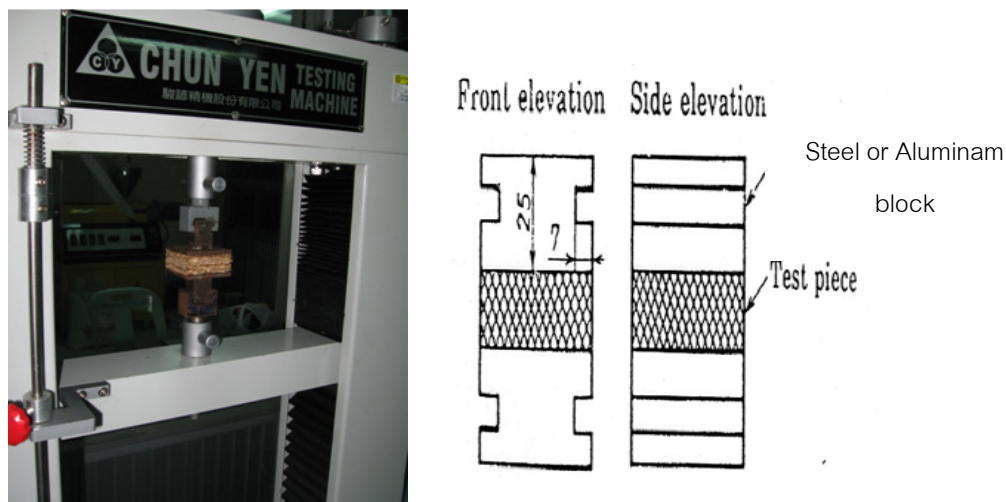
การทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า tensile strength perpendicular to plane of board) หรือแรงยึดเหนี่ยวภายใน (internal bond) ของงานวิจัยนี้ ทดสอบอ้างอิง ตามมาตรฐานมอก. 876-2547 แผ่นชั้นไม้อัดชนิดอัตราบ หรือ JIS A 5908-2003 (8 type) Japanese standard association

### ขั้นตอนการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า

- 1) ตัดชิ้นทดสอบตามมาตรฐานค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า ขนาดความกว้าง 50 มิลลิเมตร × ความยาว 50 มิลลิเมตร โดยใช้เครื่องทดสอบแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า แสดงในภาพที่ 3.26
- 2) นำชิ้นทดสอบที่ใช้ทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า ไปปรับสภาพที่อุณหภูมิ  $20 \pm 2$  องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ  $65 \pm 5$  จนน้ำหนักคงที่ คือน้ำหนักของชิ้นทดสอบที่ชั่ง 2 ครั้งห่างกัน 24 ชั่วโมง ต่างกันไม่เกินร้อยละ 0.1
- 3) นำชิ้นทดสอบแต่ละชิ้นมาเข้า เครื่องดึง ซึ่งสามารถให้แรงดึงเพื่อแยกชิ้นทดสอบออกในเวลาไม่น้อยกว่า 30 วินาที และแต่ไม่มากกว่า 90 วินาที พร้อม แผ่นดึงซึ่งทำด้วยไม้หรือโลหะที่เหมาะสม ขนาดไม่น้อยกว่า 50 มิลลิเมตร × 50 มิลลิเมตร ความหนาตามความเหมาะสม และติดผิวหน้าทั้งสองของชิ้นทดสอบกับแผ่นดึง โดยใช้กาวสังเคราะห์ที่มีแรงยึดระหว่างชิ้นทดสอบกับแผ่นดึงได้มากกว่าแรงยึดในตัวชิ้นทดสอบ
- 4) นำชิ้นทดสอบที่เตรียมได้แล้วนั้นไปเข้าเครื่องดึงดังรูปที่ 3.31 ดึงให้ชิ้นทดสอบแยกออกจากกัน ซึ่งปกติจะแยกในขั้นได้อัตราการเพิ่มแรงดึงต้องเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ เวลาที่ใช้ตั้งแต่เริ่มดึงจนกระทั่งชิ้นทดสอบแยกออกจากกันต้องไม่น้อยกว่า 30 วินาที และแต่ไม่มากกว่า 90 วินาที ความเร็วในการดึงประมาณ 2 มิลลิเมตร/นาที
- 5) รายงานผล ค่าเฉลี่ยค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าเป็นเมกะพาสคัล (MPa) และคำนวณหาค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า จากสมการที่ 3.14

$$IB = F / (W \times L) \quad \dots\dots\dots (3.14)$$

เมื่อ	IB	คือ ค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า มีหน่วยเป็น เมกะพาสคัล (MPa)
	F	คือ แรงดึงสูงสุด มีหน่วยเป็นนิวตัน (N)
	W	คือ ความกว้าง มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm)
	L	คือ ความยาว มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm)



ภาพที่ 3.26 การทดสอบแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า

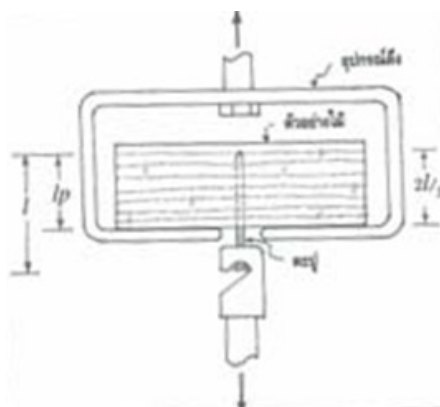
### 3.2.21.3 วิธีการทดสอบค่าความต้านทานแรงยึดเหนี่ยวของตะปูเกลียว

การทดสอบค่าความต้านทานแรงยึดเหนี่ยวของตะปูเกลียว (nail and screw holding power) ของงานวิจัยนี้ทดสอบอ้างอิง ตามมาตรฐาน มอก. 876-2547 แผ่นขึ้นไม้อัดชนิดอัดราบ หรือ JIS A 5908-2003 (8 type) Japanese Standard Association

#### ขั้นตอนการทดสอบค่าความต้านทานแรงยึดเหนี่ยวของตะปูเกลียว

- 1) ตัดชิ้นทดสอบตามมาตรฐานค่าความต้านทานแรงยึดเหนี่ยวของตะปูเกลียว ขนาด ความกว้าง 50 มิลลิเมตร X ความยาว 50 มิลลิเมตร
- 2) นำชิ้นทดสอบที่ใช้ทดสอบค่าความต้านทานแรงยึดเหนี่ยวของตะปูเกลียว ไปปรับสถานะที่อุณหภูมิ  $20 \pm 2$  องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ  $65 \pm 5$  จนน้ำหนักคงที่ คือน้ำหนักของชิ้นทดสอบที่ชั่ง 2 ครั้งห่างกัน 24 ชั่วโมง ต่างกันไม่เกินร้อยละ 0.1
- 3) นำชิ้นทดสอบที่เตรียมได้แล้วนั้นไปเข้าเครื่องดึงแรงยึดเหนี่ยวของตะปูเกลียว ด้านผิวหน้าดังภาพที่ 3.27 ซึ่งสามารถให้แรงดึงเพื่อถอนตะปูเกลียวออกจากชิ้นทดสอบ ตะปูเกลียวควรใช้ตามมาตรฐาน มอก. 499-2526 ตะปูเกลียวหัวผ่า ซึ่งมีขนาดความยาว 40 มิลลิเมตร หรือมีขนาดที่ใกล้เคียง
- 4) ชิ้นทดสอบแต่ละชิ้นให้ทดสอบ 3 แห่ง คือ ที่กึ่งกลางผิวหน้า 1 แห่ง และที่กึ่งกลางของขอบ 2 ขอบที่ประชิดกัน การเตรียมชิ้นทดสอบโดยขันตะปูเกลียวลงในชิ้นทดสอบซึ่งได้เจาะรูนำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 มิลลิเมตร ลึก 6 มิลลิเมตรไว้แล้วขันตะปูเกลียวจนกระทั่งจมลึกลงไปถึง 13 มิลลิเมตร เสร็จแล้ว

5) นำชิ้นทดสอบไปเข้าเครื่องดิง ดิงให้ตะปูเกลียวถอนจากชิ้นทดสอบ แรงที่จะใช้ ดิงจะต้องอยู่ในแนวเดียวกับตะปูเกลียว และตั้งฉากกับผิวหน้าหรือผิวขอบของชิ้นทดสอบ อัตราการ เพิ่มแรงดิงต้องเป็นไปอย่างสม่ำเสมอเวลาที่ใช้ตั้งแต่เริ่มดิงจนกระทั่งตะปูเกลียวถอดออกจากชิ้น ทดสอบต้องไม่น้อยกว่า 30 วินาที และไม่มากกว่า 90 วินาที และ รายงานผลค่าเฉลี่ยค่าความต้าน แรงยึดเหนี่ยวของตะปูเกลียวเป็นนิวตัน



ภาพที่ 3.27 การทดสอบค่าความต้านทานแรงยึดเหนี่ยวของตะปูเกลียว

#### 3.2.21.4 วิธีการทดสอบสมบัติเชิงความร้อน

การทดสอบค่าการนำความร้อน (thermal conductivity) และความต้านทาน ความร้อน ของแผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมตันรูปทรงแฉาบของการวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบอ้างอิงตาม มาตรฐาน ASTM C 177-2010 Standard test methods for steady state heat flux measurements and thermal transmission properties by means of the guarded – hot plate apparatus

##### ขั้นตอนการทดสอบค่าการนำความร้อนและความต้านทานความร้อน

1) ตัดชิ้นทดสอบตามมาตรฐานการวัดค่าการนำความร้อนและความต้านทาน ความร้อน ขนาดความกว้าง 300 มิลลิเมตร x ความยาว 300 มิลลิเมตร ชิ้นงานตัวอย่างแสดงในภาพ ที่ 3.28

2) นำชิ้นทดสอบไปปรับสภาพก่อนทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นนำชิ้นทดสอบมาวางอยู่ระหว่างแผ่นโลหะ 2 แผ่นโดยมีอุณหภูมิของแผ่นด้านเย็น

1) (cold plate) และมีอุณหภูมิของแผ่นด้านร้อน และอุณหภูมิขณะทำการ ทดสอบชิ้นงานตัวอย่างอยู่ในช่วง 28-31.5 องศาเซลเซียส โดยการให้ความร้อนแก่ชิ้นงาน

2) วัดผลต่างของอุณหภูมิที่ด้านบน และด้านล่างของชิ้นงาน ขณะทำการทดสอบ ได้ทำการหล่อเย็น (cooling) อุปกรณ์โดยใช้น้ำเย็นที่อุณหภูมิประมาณ 10-15 องศาเซลเซียส ตลอดเวลาและทิ้งชิ้นทดสอบไว้ประมาณ 20 นาที จนกว่าค่าอุณหภูมิของเครื่องคงที่

3) อ่านค่าอัตราการนำความร้อนที่ถ่ายเทต่อหนึ่งหน่วยเวลา ซึ่งสามารถอ่าน

4) จากเครื่องพร้อมกับเครื่องจะรายงานผลเป็นค่าสภาพการนำความร้อนในหน่วย วัตต์/เมตร.เคลวิน ( $w/m.K$ ) สามารถคำนวณค่าการนำความร้อน จากสมการที่ 3.15

$$K = QL / [A (T_H - T_C)] \quad \dots\dots\dots (3.15)$$

เมื่อ	Q	คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนด้วยการนำความร้อน มีหน่วยเป็น วัตต์ (w)
	A	คือ พื้นที่ผิววัสดุ มีหน่วยเป็นตารางเมตร ( $m^2$ )
	$T_H$	คือ อุณหภูมิที่ผิวของวัสดุด้านร้อน มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส หรือ เคลวิน ( $^{\circ}C, K$ )
	$T_C$	คือ อุณหภูมิที่ผิวของวัสดุด้านเย็น มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส หรือ เคลวิน ( $^{\circ}C, K$ )
	L	คือ ความหนาของวัสดุ มีหน่วยเป็นเมตร (m)
	K	คือ ค่าการนำความร้อนของวัสดุ มีหน่วยเป็นวัตต์/เมตร.เคลวิน ( $w/m.K$ )

5) อ่านค่าอัตราค่าความต้านทานความร้อนที่ถ่ายเทต่อหนึ่งหน่วยเวลา ซึ่งสามารถอ่านจากเครื่องพร้อมกับเครื่องจะรายงานผลเป็นค่าความต้านทานความร้อนในหน่วย (เมตร.เคลวิน/วัตต์ ( $m.k/w$ ) สามารถคำนวณค่าความต้านทานความร้อน จากสมการที่ 3.16

$$R = 1 / C = \Delta X / K \quad \dots\dots\dots (3.16)$$

เมื่อ	R	คือ ค่าความต้านทานความร้อน มีหน่วยเป็น ตร.เมตร.เคลวิน /วัตต์ ( $m^2.K/w$ )
	C	คือ ค่าการนำความร้อน มีหน่วยเป็น วัตต์/ตร.เมตร.เคลวิน หรือ จูล/กก.เคลวิน
	$\Delta X$	คือ ความหนาของวัสดุ มีหน่วยเป็น เมตร (m)
	K	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ มีหน่วยเป็น วัตต์/เมตร.เคลวิน ( $w/ m.K$ )

เครื่องทดสอบค่าการนำความร้อนและความต้านทานความร้อนแสดงในภาพที่ 3.28



รูปที่ 3.33 แผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมตันรูปถาชี



ภาพที่ 3.28 เครื่องทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนและขึ้นตัวอย่างขึ้นทดสอบ

## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

การวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการแปรรูปวัสดุเหลือทิ้งจากมะพร้าว ได้แก่ กะลามะพร้าว และเส้นใยมะพร้าว เพื่อใช้ประโยชน์ในเชิงอุตสาหกรรม โดยการนำกะลามะพร้าวมาแปรรูปเป็นถ่านกัมมันต์เพื่อใช้ในการดูดซับโลหะหนักในน้ำเสียจากอุตสาหกรรม และนำเส้นใยมะพร้าวมาผลิตแผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมตันรูปภาณี ผลการวิจัยมีรายละเอียดดังนี้

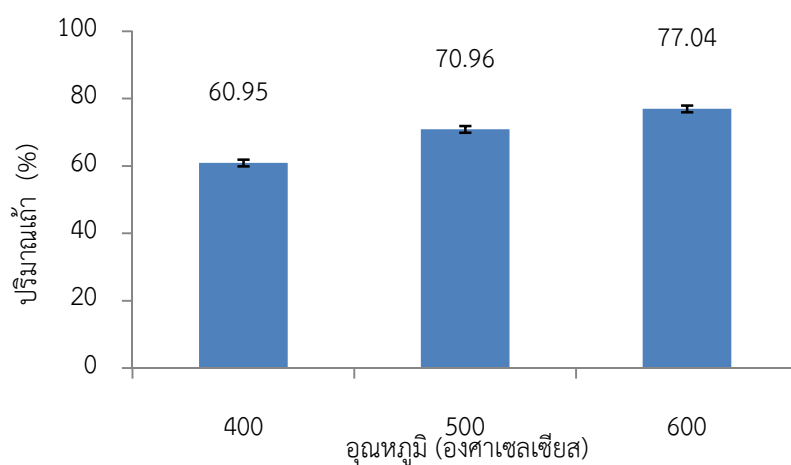
#### 4.1 การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว

##### 4.1.1 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวเพื่อดูดซับสารตะกั่วและแคดเมียมในน้ำเสียโดยมีขั้นตอนการทดลอง 3 ขั้นตอน ได้แก่ การคาร์บอนไนเซชัน การกระตุ้นทางเคมี และการดูดซับโลหะหนักในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยในขั้นตอนการคาร์บอนไนเซชัน จะศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ถ่าน ได้แก่ อุณหภูมิและเวลาในการเผาถ่าน ศึกษาผลของอุณหภูมิ (300, 400 และ 500 องศาเซลเซียส) ที่เวลาเวลา 1 ชั่วโมง ที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของถ่าน ได้แก่ ความหนาแน่น ความชื้น ปริมาณเถ้า และค่าไอโอดีนนัมเบอร์ ผลของอุณหภูมิในการเผาถ่านแสดงดังตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.1-4.4

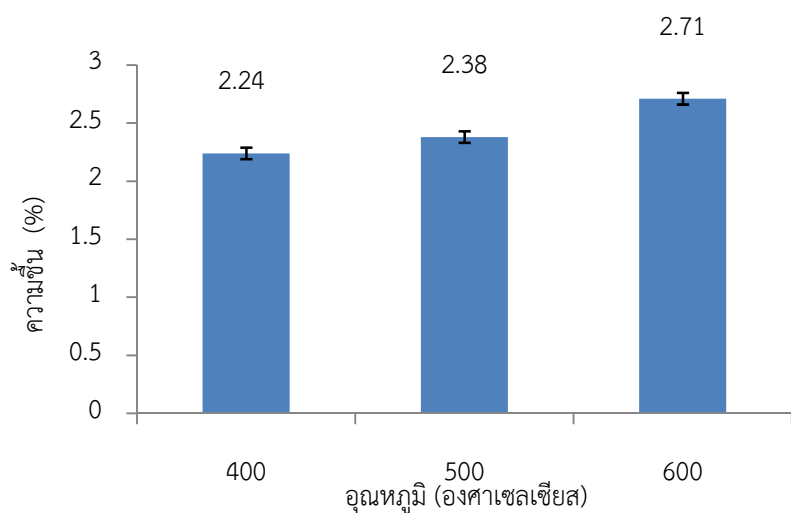
ตารางที่ 4.1 แสดงผลของอุณหภูมิการเผาถ่านคาร์ที่มีผลต่อถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว

ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อถ่านกัมมันต์	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		
	400	500	600
ปริมาณเถ้า (%)	60.95	70.96	77.04
ความชื้น (%)	2.24	2.38	2.71
ความหนาแน่น (g/ml)	0.57	0.51	0.49
ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ (mg/g)	447.92	452.50	472.50



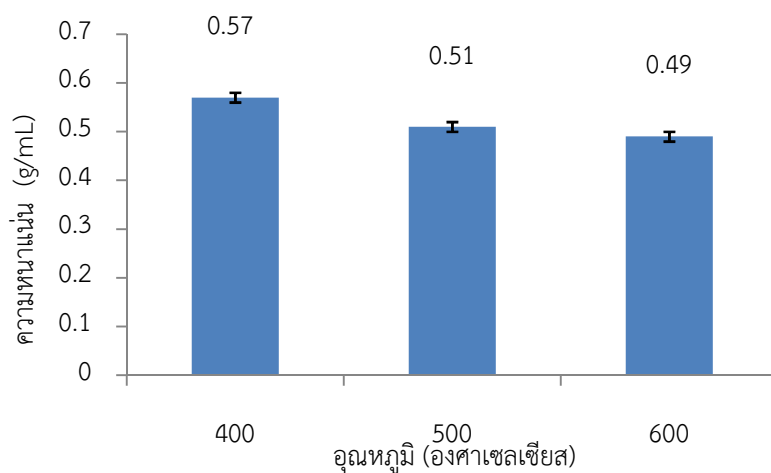
ภาพที่ 4.1 แสดงผลของอุณหภูมิต่อปริมาณงอกในการเพาะถัวยักษ์ที่มีผลต่อปริมาณงอก

จากภาพที่ 4.1 พบว่าอุณหภูมิต่อปริมาณงอก ซึ่งอุณหภูมิต่อปริมาณงอกที่ 400 องศาเซลเซียส มีปริมาณงอก เท่ากับ 60.95 มีปริมาณงอกน้อยที่สุด อุณหภูมิต่อปริมาณงอกที่ 500 องศาเซลเซียส มีปริมาณงอก เท่ากับ 70.96 และอุณหภูมิต่อปริมาณงอกที่ 600 องศาเซลเซียส มีปริมาณงอก เท่ากับ 77.04 มีปริมาณงอกมากที่สุด ดังนั้น เมื่ออุณหภูมิต่อปริมาณงอกสูงขึ้นจะทำให้ปริมาณงอกมากขึ้น



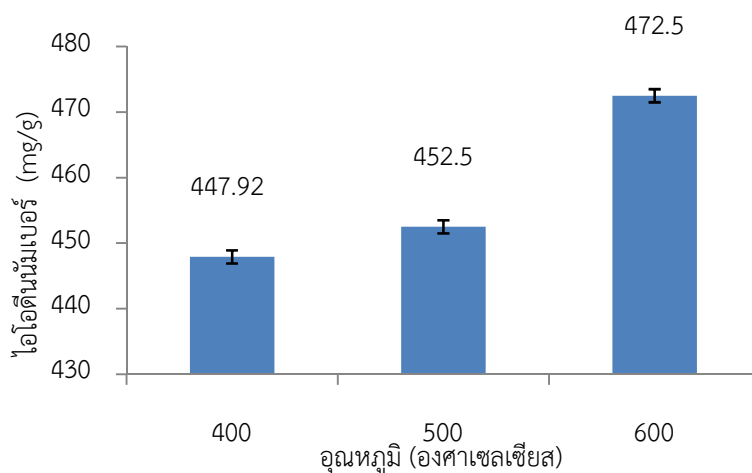
ภาพที่ 4.2 แสดงผลของอุณหภูมิต่อปริมาณความงอกในการเพาะถัวยักษ์ที่มีผลต่อปริมาณความงอก

จากภาพที่ 4.2 พบว่าอุณหภูมิต่อปริมาณความงอก ซึ่งอุณหภูมิต่อปริมาณความงอกที่ 400 องศาเซลเซียส มีความงอก เท่ากับ 2.24 มีปริมาณงอกน้อยที่สุด อุณหภูมิต่อปริมาณความงอกที่ 500 องศาเซลเซียส มีความงอก เท่ากับ 2.38 และอุณหภูมิต่อปริมาณความงอกที่ 600 องศาเซลเซียส มีความงอก เท่ากับ 2.71 มีความงอกมากที่สุด ดังนั้น เมื่ออุณหภูมิต่อปริมาณความงอกสูงขึ้นจะทำให้ความงอกมากขึ้น



**ภาพที่ 4.3** แสดงผลของอุณหภูมิในการเผาถ่านชาร์ที่มีผลต่อความหนาแน่น

จากภาพ ที่ 4.3 พบว่าอุณหภูมิมีผลต่อความหนาแน่น ซึ่งอุณหภูมิที่ 400 องศาเซลเซียส มีค่าความหนาแน่น เท่ากับ 0.57 g/mL มีค่าความหนาแน่นมากที่สุด อุณหภูมิที่ 500 องศาเซลเซียส มีค่าความหนาแน่น เท่ากับ 0.51 g/mL และอุณหภูมิที่ 600 องศาเซลเซียส มีค่าความหนาแน่น เท่ากับ 0.49 g/mL มีค่าความหนาแน่นน้อยที่สุด ดังนั้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ค่าความหนาแน่น มีค่าลดลง



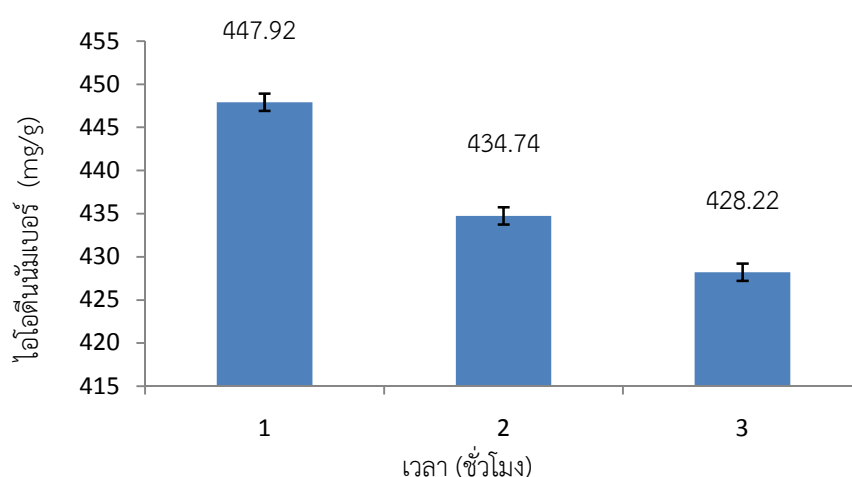
**ภาพที่ 4.4** แสดงผลของอุณหภูมิในการเผาถ่านชาร์ที่มีผลต่อค่าไอโอดีนัมเบอร์

จากภาพ ที่ 4.4 พบว่าอุณหภูมิมีผลต่อการดูดซับไอโอดีน ซึ่งอุณหภูมิที่ 400 องศาเซลเซียส มีค่าการดูดซับเท่ากับ 447.92 mg/g มีค่าการดูดซับน้อยที่สุด อุณหภูมิที่ 500 องศาเซลเซียส มีค่า การดูดซับเท่ากับ 452.50 mg/g และอุณหภูมิที่ 600 องศาเซลเซียส มีค่าการดูดซับเท่ากับ 472.5 mg/g มีค่าการดูดซับมากที่สุด ดังนั้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ค่าการดูดซับไอโอดีนมีค่าเพิ่มขึ้น

จากตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.1.4.4 อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเผาถ่านสำหรับนำไปกระตุ้นด้วยวิธีทางเคมีคือที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เนื่องจากมีความหนาแน่นมาก มีความชื้นและเถ้า น้อย ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับผลิตถ่านกัมมันต์ โดยสามารถดูดซับไอโอดีนัมเบอร์ได้ 447.92 มิลลิกรัมต่อกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิ 500 และ 600 องศาเซลเซียส ที่มีค่าการดูดซับไอโอดีนัมเบอร์ 452.502 และ 472.50 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ แต่มีค่าความหนาแน่น น้อย มีความชื้นและเถ้ามาก จึงไม่เหมาะในการนำไปผลิตถ่านกัมมันต์

#### 4.1.2 ผลของเวลาที่มีผลต่อถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว

จากการวิเคราะห์หาค่าการดูดซับไอโอดีนัมเบอร์ของถ่านที่เผาด้วยอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ที่ 1, 2 และ 3 ชั่วโมง ได้ผลการทดลอง ตามภาพที่ 4.5

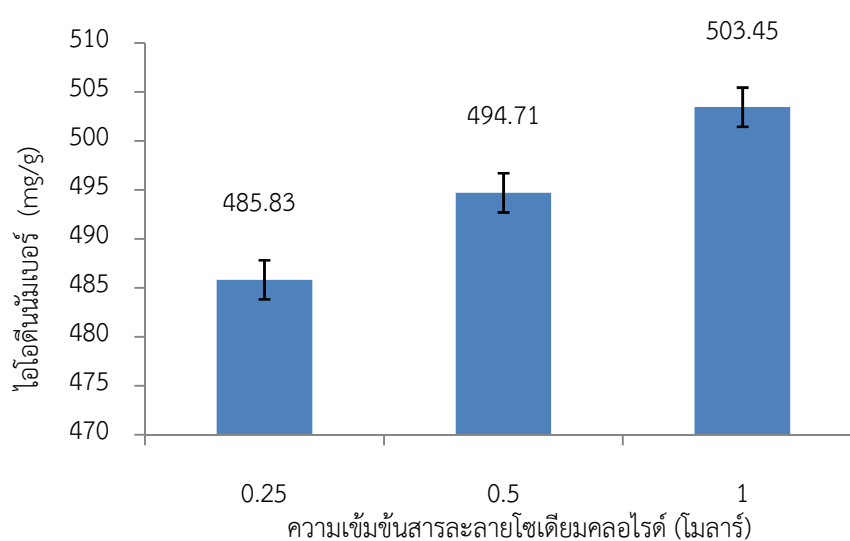


ภาพที่ 4.5 แสดงผลของเวลาในการเผาถ่านที่มีผลต่อค่าไอโอดีนัมเบอร์

จากการทดลองพบว่า เวลาในการเผาถ่านที่เหมาะสม คือ ที่เวลา 1 ชั่วโมง โดยมีค่าการดูดซับไอโอดีนัมเบอร์เท่ากับ 447.92 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งสูงกว่าค่าการดูดซับไอโอดีนัมเบอร์ที่เวลา 2 และ 3 ชั่วโมง ซึ่งมีค่าการดูดซับไอโอดีนัมเบอร์เท่ากับ 434.74 และ 428.22 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ

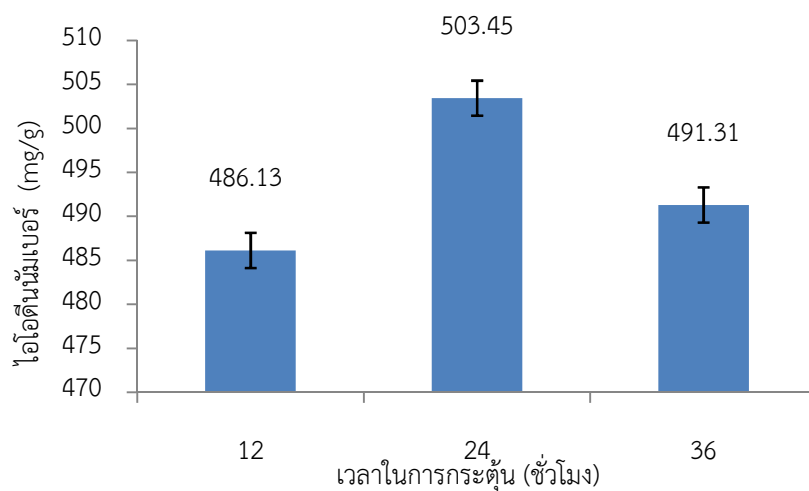
#### 4.1.3 ผลของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์และเวลาในการกระตุ้นที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว

ถ่านกะลามะพร้าวที่ได้จากการเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะถูกนำไปกระตุ้นทางเคมีด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ที่ความเข้มข้นของสารละลายต่างๆ และใช้เวลาในการกระตุ้นต่างๆ นำมาเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.6 และ 4.7



ภาพที่ 4.6 แสดงผลของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่มีผลต่อค่าไอโอดีนนมเบอร์

จากการทดลองพบว่าความเข้มข้นที่เหมาะสมในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว คือ ความเข้มข้นที่ 1 M โดยมีค่าการดูดซับไอโอดีนนมเบอร์เท่ากับ 503.45 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งมากกว่าความเข้มข้นที่ 0.25 M. และ 0.5 M. ซึ่งมีค่าการดูดซับไอโอดีนนมเบอร์เท่ากับ 485.83 และ 494.71 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ



**ภาพที่ 4.7** แสดงผลของเวลาในการกระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่มีผลต่อค่าไอโอดีนนัมเบอร์

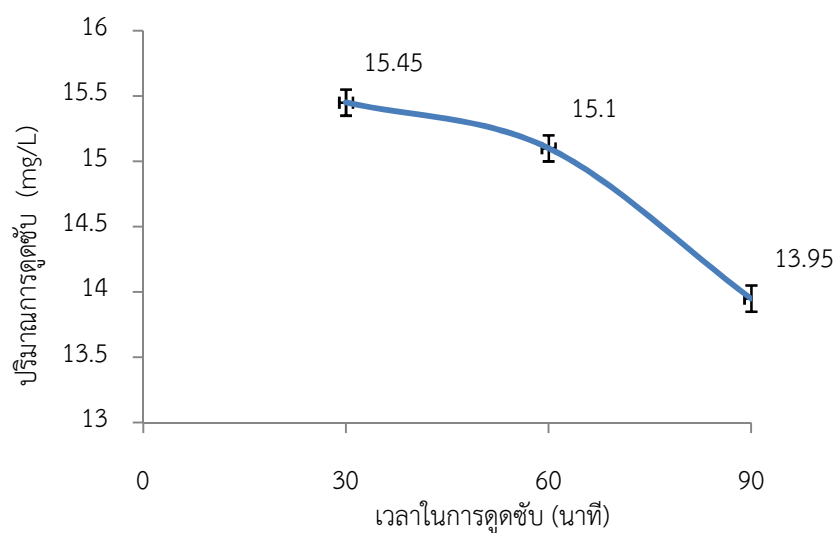
จากการทดลองพบว่า เวลาในการกระตุ้นที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวที่กระตุ้นด้วยโซเดียมคลอไรด์ คือ ที่เวลา 24 ชั่วโมง โดยมีค่าการดูดซับไอโอดีนเท่ากับ 503.45 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งมากกว่าการกระตุ้นที่เวลา 12 และ 36 ชั่วโมง ซึ่งมีค่าการดูดซับไอโอดีนนัมเบอร์เท่ากับ 486.13 และ 491.31 มิลลิกรัมต่อกรัม

#### 4.1.4 ประสิทธิภาพการดูดซับการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว

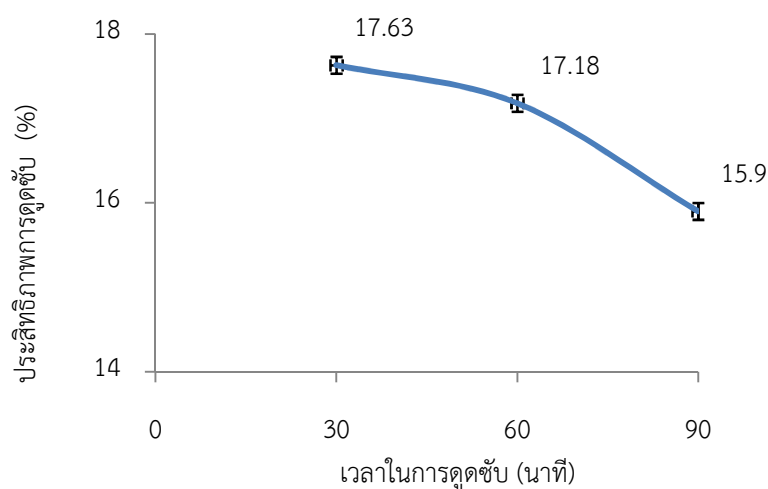
ในการดูดซับสารตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์จะเริ่มต้นจากค่าความเข้มข้นที่กำหนดเป็นค่ามาตรฐาน คือ ไม่เกิน 100 mg/L ปริมาตร 100 มิลลิลิตร มีค่า pH ของสารละลาย เท่ากับ 5 และนำไปเขย่าด้วยความเร็วรอบ 200 ต่อนาที เป็นเวลา 30, 60 และ 90 นาที โดยใช้ถ่าน 10, 20 และ 30 กรัม ผลการทดลองแสดงตารางที่ 4.2-4.3 และภาพที่ 4.8-4.11

ตารางที่ 4.2 แสดงผลของระยะเวลาการดูดซับที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว

ความเข้มข้น ตะกั่วเริ่มต้น (mg/l)	ความเข้มข้น ตะกั่วที่วัดได้ (mg/l)	เวลา (min)	ปริมาณ ถ่านกัมมันต์ (g)	pH	ความ เข้มข้นที่ เหลือ (mg/l)	ปริมาณที่ ถูกดูดซับ (mg/l)	ร้อยละการ ดูดซับ (%)
100	87.65	30	10	5	72.20	15.45	17.63
100	87.65	60	10	5	72.59	15.10	17.18
100	87.65	90	10	5	73.71	13.95	15.90



ภาพที่ 4.8 แสดงผลของเวลาการดูดซับที่มีผลต่อปริมาณการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว

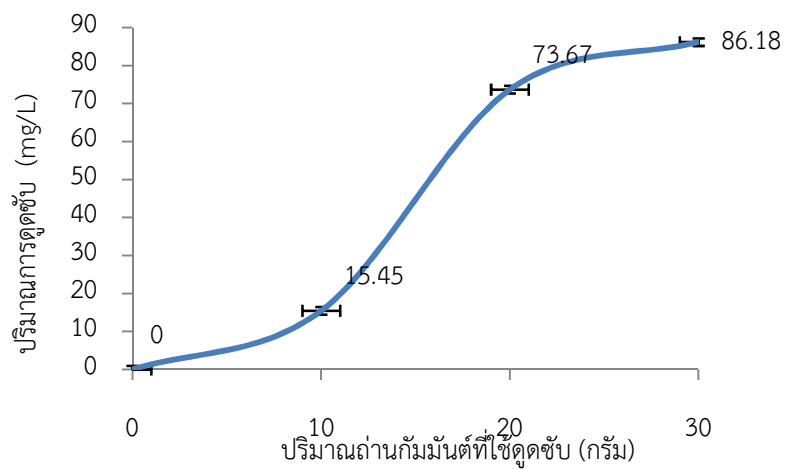


**ภาพที่ 4.9** แสดงผลของเวลาการดูดซับที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว

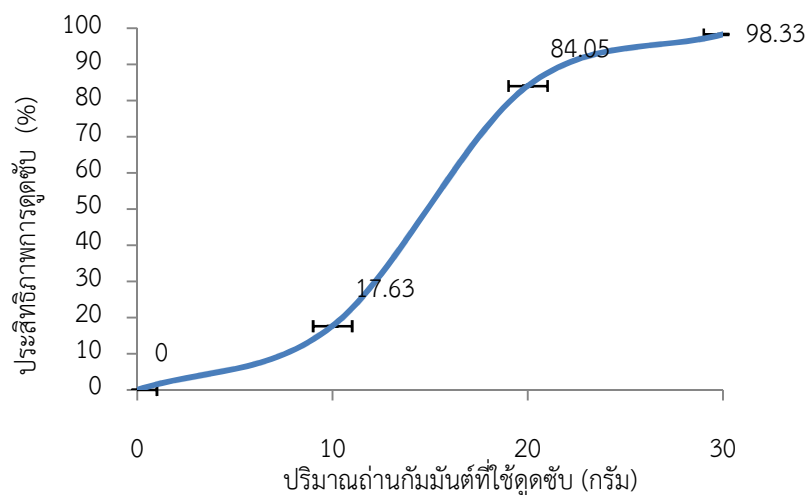
จากผลการทดลองพบว่าเวลาการดูดซับที่เหมาะสมในการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวคือ 30 นาที โดยสามารถดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ได้ 15.45 มิลลิกรัมต่อลิตรคิดเป็นร้อยละ 17.63 ซึ่งมากกว่าเวลาสัมผัสที่ 60 และ 90 นาที ซึ่งสามารถดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ได้ 15.06 และ 13.94 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละ 17.18 และ 15.90 ตามลำดับ

**ตารางที่ 4.3** แสดงผลของปริมาณถ่านกัมมันต์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนตะกั่วโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว

ความเข้มข้นเริ่มต้น (mg/l)	ความเข้มข้นที่วัดได้ (mg/l)	เวลาการดูดซับ (min)	ปริมาณ (g)	pH	ความเข้มข้นที่เหลือ (mg/l)	ปริมาณที่ถูกดูดซับ (mg/l)	ร้อยละการดูดซับ (%)
100	87.68	30	0	5	87.68	0	0
100	87.68	30	10	5	72.20	15.45	17.63
100	87.68	30	20	5	13.98	73.67	84.05
100	87.68	30	30	5	1.46	86.18	98.33



ภาพที่ 4.10 แสดงผลของปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ดูดซับที่มีผลต่อปริมาณการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว



ภาพที่ 4.11 แสดงผลของปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ดูดซับที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว

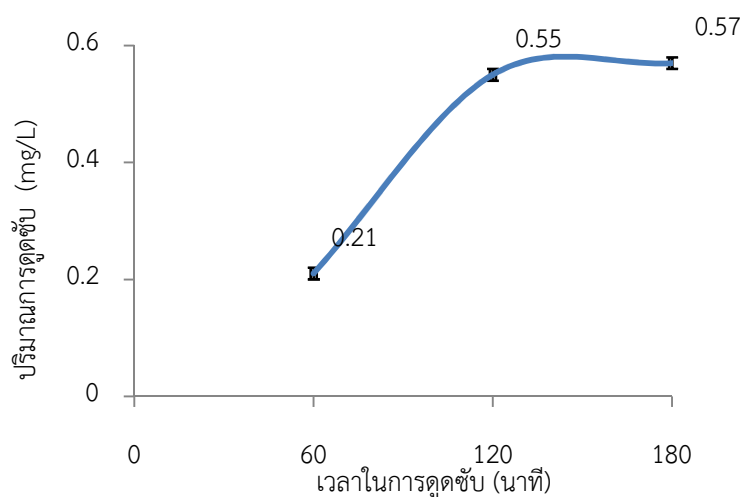
จากผลการทดลองพบว่าปริมาณถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมในการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ คือ 30 กรัม โดยสามารถดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ได้ 86.183 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละ 98.33 ซึ่งมากกว่าปริมาณ 10 และ 20 กรัม ซึ่งสามารถดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ได้ 15.45 และ 73.67 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละ 17.63 และ 84.05 ตามลำดับ

#### 4.1.5 ประสิทธิภาพการดูดซับการดูดซับแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว

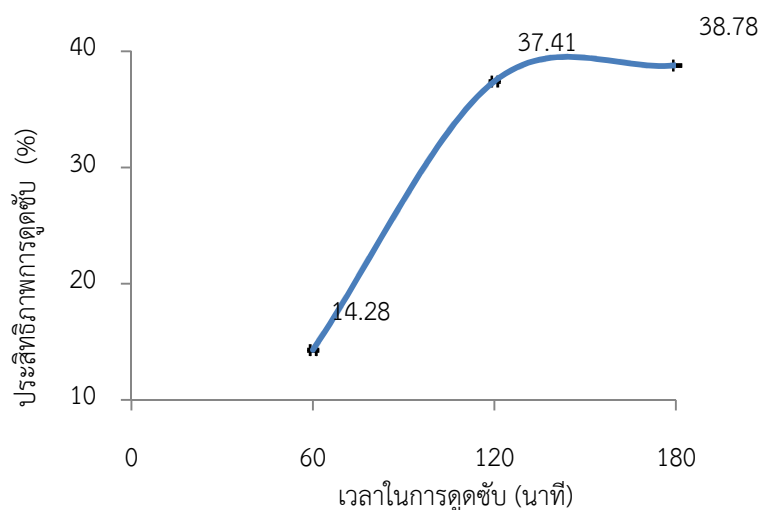
ในการดูดซับสารแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์จะเริ่มต้นจากค่าความเข้มข้นที่ 1.5 ppm ปริมาตร 100 มิลลิลิตร มีค่า pH ของสารละลาย เท่ากับ 7.15 และนำไปเขย่าด้วยความเร็วรอบ 200 ต่อนาที เป็นเวลา 30, 60 และ 90 นาที โดยใช้ถ่าน 10, 20 และ 30 กรัม ผลการทดลองแสดงตารางที่ 4.4-4.5 และภาพที่ 4.12-4.15

**ตารางที่ 4.4** แสดงผลของระยะเวลาการดูดซับที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว

ความเข้มข้นแคดเมียมเริ่มต้น (ppm)	ความเข้มข้นแคดเมียมที่วัดได้ (ppm)	เวลา (min)	ปริมาณถ่านกัมมันต์ (g)	pH	ความเข้มข้นที่เหลือ (ppm)	ปริมาณที่ถูกดูดซับ (ppm)	ร้อยละการดูดซับ (%)
1.5	1.47	60	10	7.15	1.26	0.21	14.28
1.5	1.47	120	10	7.15	0.92	0.55	37.41
1.5	1.47	180	10	7.15	0.90	0.57	38.78



**ภาพที่ 4.12** แสดงผลของระยะเวลาการดูดซับที่มีผลต่อปริมาณการดูดซับแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว

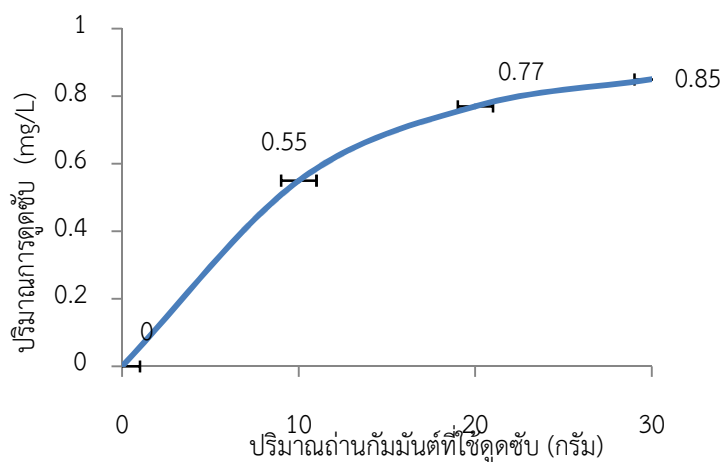


ภาพที่ 4.13 แสดงผลของเวลาการดูดซับที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว

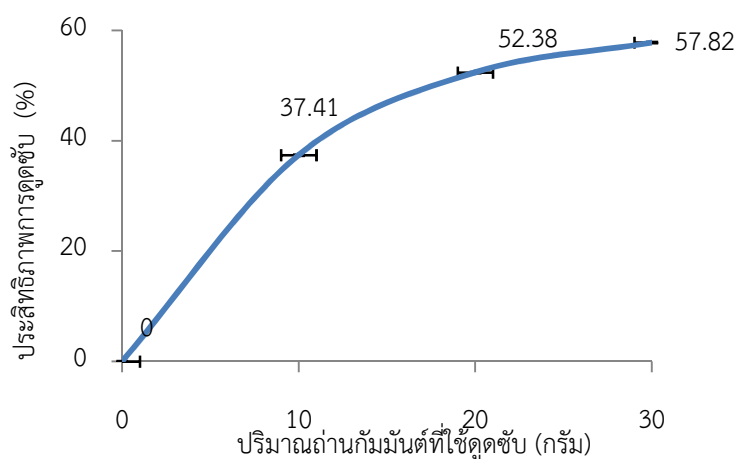
จากผลการทดลองพบว่าเมื่อใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว 10 กรัม ทำการดูดซับแคดเมียมเป็นเวลา 60 นาที โดยสามารถดูดซับแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ได้ 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละ 14.25 ซึ่งมากกว่าเวลาสัมผัสที่ 120 และ 180 นาที ซึ่งสามารถดูดซับแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ได้ 0.55 และ 0.57 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละ 37.41 และ 38.78 ตามลำดับ เวลาการดูดซับแคดเมียมที่เหมาะสมที่สุดคือ 120 นาที เนื่องจากประสิทธิภาพไม่แตกต่างจากที่เวลา 180 นาที เป็นการประหยัดเวลาในการดูดซับมากกว่า

ตารางที่ 4.5 แสดงผลของปริมาณถ่านกัมมันต์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว

ความเข้มข้นแคดเมียมเริ่มต้น (ppm)	ความเข้มข้นแคดเมียมที่วัดได้ (ppm)	เวลา (min)	ปริมาณถ่านกัมมันต์ (g)	pH	ความเข้มข้นที่เหลือ (ppm)	ปริมาณที่ถูกดูดซับ (ppm)	ร้อยละการดูดซับ (%)
1.5	1.47	120	0	7.15	1.47	0	0
1.5	1.47	120	10	7.15	0.92	0.55	37.41
1.5	1.47	120	20	7.15	0.70	0.77	52.38
1.5	1.47	120	30	7.15	0.62	0.85	57.82



ภาพที่ 4.14 แสดงผลของปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ดูดซับที่มีผลต่อปริมาณการดูดซับแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว



ภาพที่ 4.15 แสดงผลของปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ดูดซับที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว

จากผลการทดลองพบว่าปริมาณถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมในการดูดซับแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์คือ 30 กรัม โดยสามารถดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ได้ 0.85 ppm คิดเป็นร้อยละ 57.82 ซึ่งมากกว่าปริมาณ 10 และ 20 กรัม ซึ่งสามารถดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ได้ 0.55 และ 0.77 ppm คิดเป็นร้อยละ 37.41 และ 52.38 ตามลำดับ

จากการศึกษาการแปรรูปกะลามะพร้าวเป็นถ่านกัมมันต์พบว่าถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้สามารถใช้ในการดูดซับโลหะหนักสองชนิด คือ ตะกั่วและแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## 4.2 การผลิตแผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมตันรูปถาชี

การแปรรูปเส้นใยมะพร้าวเพื่อใช้เป็นวัสดุสำหรับผลิตแผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมตันรูปถาชี โดยได้ทดสอบสมบัติต่างๆ ของแผ่นเส้นใยอัดที่ได้ ซึ่งสมบัตินั้นมีแนวโน้มในทางที่ดี ผลการทดลองมีรายละเอียดดังนี้

### 4.2.1 การผลิตแผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมตันรูปถาชี

การวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ขึ้นรูปแผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมตันรูปถาชี และได้ทดสอบสมบัติต่างๆ ของแผ่นเส้นใยอัด จึงมีความเป็นไปได้อย่างยิ่งในการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและวัชพืชทั้ง 2 ชนิดนี้มาเป็นวัตถุดิบหลักในการทำแผ่นเส้นใยอัด ผู้วิจัยได้ทำการขึ้นรูปตัวอย่างแผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมตันรูปถาชี ตามกระบวนการที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 โดยใช้สารยึดติด 2 ชนิด ประกอบด้วยกาวสังเคราะห์ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน (UF) และกาวสังเคราะห์ไอโซไซยานาเตเรซิน (pMDI) ที่ปริมาณสารยึดติด 10% โดยน้ำหนักแห้ง โดยมีส่วนผสมปริมาณสารพาราฟินอิมัลชันที่ 1% และสารเร่งแข็งที่ 2% ผสมลงไปในกระบวนการพ่นสารยึดติด และนำตัวอย่างมาทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ เชิงกล และเชิงความร้อน ลักษณะของแผ่นเส้นใยอัดที่ได้แสดงในภาพที่ 4.16 ซึ่งมีวิธีการทดสอบตามมาตรฐานที่กำหนดดังนี้



ภาพที่ 4.16 ลักษณะของแผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมตันรูปถาชี

#### 4.2.2 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ

การวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาศักยภาพของแผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมต้นรูปฤาษี การทดสอบประกอบด้วย ค่าความหนาแน่น ค่าปริมาณความชื้น ค่าการดูดซึมน้ำที่ 2 และ 24 ชั่วโมง และค่าการพองตัวทางความหนาที่ 2 และ 24 ชั่วโมง อาศัยการทดสอบตามมาตรฐาน มอก. 876-2547 แผ่นขึ้นไม้อัดชนิดอัดราบ หรือ JIS A 5908-2003 (8 type) ตามลำดับ

##### 1) ผลการทดสอบค่าความหนาแน่น

ผลการศึกษาค่าความหนาแน่นของแผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมต้นรูปฤาษี แสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลการศึกษาค่าความหนาแน่นของแผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมต้นรูปฤาษี

ชนิดแผ่น	ความหนาแน่นที่กำหนด (kg/m <sup>3</sup> )	ชนิดสารยึดติด	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นที่ได้ (kg/m <sup>3</sup> ) ± SD
แผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมต้นรูปฤาษี ที่ร้อยละ 50:50	600	(UF)10%	658.25±0.23
		(pMDI)10%	669.22±0.25
มาตรฐาน มอก. 876-2547	-	-	400-900
มาตรฐาน JIS A 5908-2003 (8 type)	-	-	400-900

จากตารางที่ 4.6 ค่าความหนาแน่นของแผ่นที่ใช้สารยึดติด 2 ชนิด คือ กาวสังเคราะห์ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน และกาวสังเคราะห์ไอโซไซยาเนตเรซิน ที่ปริมาณสารยึดติด 10% ที่ความหนาของแผ่น 15 มิลลิเมตร และความหนาแน่นที่กำหนด 600 kg/m<sup>3</sup> ตามลำดับ เป็นไปตามมาตรฐาน JIS A 5908-2003 (8 type) และ มอก. 876-2547 เกณฑ์ที่กำหนดมาตรฐานค่าความหนาแน่นไว้ คือ 400-900 kg/m<sup>3</sup> จากการทดสอบสมบัติของแผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมต้นรูปฤาษี ด้านค่าความหนาแน่นของแผ่นมีดังนี้ แผ่นเส้นใยอัดที่ทำจากเส้นใยมะพร้าวที่ร้อยละ 50 ผสมเส้นใยต้นรูปฤาษีที่ร้อยละ 50 ความหนาแน่นของแผ่นที่กำหนด 600 kg/m<sup>3</sup> ที่ใช้กาวสังเคราะห์ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน ค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของแผ่นที่ได้ 658.25 kg/m<sup>3</sup> และที่ใช้กาวสังเคราะห์ไอโซไซยาเนตเรซิน ค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของแผ่นที่ได้ 669.22 kg/m<sup>3</sup> สามารถผ่านเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนดค่าความหนาแน่นไว้ คือ 400-900 kg/m<sup>3</sup> ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่าแผ่นเส้นใยอัด

มะพร้าวผสมต้นรูปภาชี เมื่อทำการทดสอบเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพ พบว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกำหนด

## 2) ผลการทดสอบค่าปริมาณความชื้น

ผลการศึกษาค่าปริมาณความชื้นของแผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมต้นรูปภาชี แสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลการศึกษาค่าปริมาณความชื้นของแผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมต้นรูปภาชี

ชนิดแผ่น	ความหนาแน่นที่ได้ (kg/m <sup>3</sup> ) ±SD	ชนิดสารยึดติด	ค่าเฉลี่ยปริมาณความชื้น (%) ±SD
แผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมต้นรูปภาชี ที่ร้อยละ 50:50	658.25±0.23	(UF)10%	9.38±0.31
	669.22±0.25	(pMDI)10%	8.54±0.33
มาตรฐาน มอก. 876-2547	-	-	4-13
มาตรฐาน JIS A 5908-2003 (8 type)	-	-	5-13

จากตารางที่ 4.7 ค่าปริมาณความชื้นของการผลิตที่ใช้สารยึดติด 2 ชนิด คือ กาวสังเคราะห์ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน (UF) กาวสังเคราะห์ไอโซไซยาเนต เรซิน (pMDI) ที่ปริมาณสารยึดติด 10% ที่ความหนาของแผ่นที่ 15 มิลลิเมตร และความหนาแน่นที่กำหนด 600 kg/m<sup>3</sup> ตามลำดับ เป็นไปตามมาตรฐาน JIS A 5908-2003 (8type) และ มอก. 876-2547 เกณฑ์ที่กำหนดมาตรฐานค่าปริมาณความชื้นคือ 4-13% จากการทดสอบสมบัติของแผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมต้นรูปภาชี ในด้านค่าปริมาณความชื้นของแผ่นสรุปได้ดังนี้ แผ่นเส้นใยอัดที่ทำจากเส้นใยมะพร้าวที่ร้อยละ 50 ผสมเส้นใยต้นรูปภาชีที่ร้อยละ 50 ค่าความหนาแน่นของแผ่นที่กำหนด 600 kg/m<sup>3</sup> ที่ใช้กาวสังเคราะห์ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน ค่าปริมาณความชื้นเฉลี่ยของแผ่นที่ได้ 9.38% และที่ใช้กาวสังเคราะห์ไอโซไซยาเนต เรซิน ค่าปริมาณความชื้นเฉลี่ยของแผ่นที่ได้ 8.54% สามารถผ่านเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนดค่าปริมาณความชื้นที่ 4-13% และ 5-13% ตามลำดับ สรุปได้ว่าแผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมต้นรูปภาชี เมื่อทำการทดสอบเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพ พบว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกำหนด

### 3) ผลการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำที่ 2 และ 24 ชั่วโมง

ผลการศึกษาค่าการดูดซึมน้ำที่ 2 และ 24 ชั่วโมง ของแผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมต้น  
 ทุปฤาชี แสดงดังตารางที่ 4.8

**ตารางที่ 4.8** ผลการศึกษาค่าการดูดซึมน้ำที่ 2 และ 24 ชั่วโมง ของแผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสม  
 ต้นทุปฤาชี

ชนิดแผ่น	ความหนาแน่น ที่ได้ (kg/m <sup>3</sup> ) ±SD	ชนิด สารยึดติด	ค่าเฉลี่ย การดูดซึมน้ำ ที่ 2 ชั่วโมง (%) ±SD	ค่าเฉลี่ย การดูดซึมน้ำ ที่ 24 ชั่วโมง (%) ±SD
แผ่นเส้นใยอัดมะพร้าว ผสมต้นทุปฤาชี ที่ร้อยละ 50:50	658.25±0.23	(UF)10%	34.72±0.22	42.24±0.31
	669.22±0.25	(pMDI)10%	15.25±0.23	65.27±0.32
มาตรฐาน มอก. 876-2547	-	-	-	-
มาตรฐาน JIS A 5908 -2003 (8 type)	-	-	-	-

จากตารางที่ 4.8 ของการผลิตแผ่นที่ใช้สารยึดติด 2 ชนิด คือ กาวสังเคราะห์ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน และ กาวสังเคราะห์ไอโซไซยานาตเรซิน (pMDI) ที่ปริมาณสารยึดติด 10% ที่ความหนาของแผ่น 15 มิลลิเมตร และความหนาแน่นที่กำหนด 600 kg/m<sup>3</sup> พบว่าแผ่นเส้นใยอัดที่ทำจากเส้นใยมะพร้าวที่ร้อยละ 50 ผสมเส้นใยต้นทุปฤาชีที่ร้อยละ 50 ที่ใช้ กาวสังเคราะห์ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน และ ที่ใช้ กาวสังเคราะห์ไอโซไซยานาตเรซิน ค่าการดูดซึมน้ำที่ 2 ชั่วโมงเท่ากับ 34.72% และ 15.25% ตามลำดับ และค่าการดูดซึมน้ำที่ 24 ชั่วโมงเท่ากับ 42.24% และ 65.27% ตามลำดับ

#### 4) ผลการทดสอบค่าการพองตัวของความหนาที่ 2 และ 24 ชั่วโมง

ผลการศึกษาค่าการพองตัวของความหนาที่ 2 และ 24 ชั่วโมง ของแผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมต้นรูปฤาษี แสดงดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ผลการศึกษาค่าการพองตัวของความหนาที่ 2 และ 24 ชั่วโมงของแผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมต้นรูปฤาษี

ชนิดแผ่น	ความหนาแน่นที่ได้ (kg/m <sup>3</sup> ) ±SD	ชนิดสารยึดติด	ค่าเฉลี่ยการพองตัวของความหนาที่ 2 ชั่วโมง (%) ±SD	ค่าเฉลี่ยการพองตัวของความหนาที่ 24 ชั่วโมง (%) ±SD
แผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมต้นรูปฤาษี ที่ร้อยละ 50:50	658.25±0.23	(UF)10%	9.78±0.22	19.29±0.31
	669.22±0.25	(pMDI)10%	4.64±0.23	12.45±0.32
มาตรฐาน มอก.876-2547			-	12
มาตรฐาน JIS A 5908-2003 (8 type)			-	12

จากตารางที่ 4.9 ของการผลิตแผ่นที่ใช้สารยึดติด 2 ชนิด คือ กาวสังเคราะห์ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ เรซินและกาวสังเคราะห์ไอโซไซยาเนตเรซิน ที่ปริมาณสารยึดติด 10% ที่ความหนาของแผ่นที่ 15 มิลลิเมตร และความหนาแน่นที่กำหนด 600 kg/m<sup>3</sup> พบว่าแบบที่ใช้กาวสังเคราะห์ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน มีค่าเฉลี่ยการพองตัวของความหนาที่ 24 ชั่วโมง เท่ากับ 19.29% ซึ่งเกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ไม่เกิน 12% ส่วนแบบที่ใช้กาวสังเคราะห์ไอโซไซยาเนต เรซิน มีค่าเฉลี่ยการพองตัวของความหนาที่ 24 ชั่วโมง เท่ากับ 12.45% ซึ่งไม่เกินที่มาตรฐานกำหนด

#### 4.2.3 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล

การวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาค่าการทดสอบสมบัติเชิงกล (mechanical properties test) ประกอบด้วย การทดสอบค่าความต้านทานมอดูลัสแตกร้า (modulus of rupture : MOR) หรือความต้านทานแรงดัด และค่าความต้านทานมอดูลัสยืดหยุ่น (modulus of elasticity : MOE) ค่า

ความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า (tensile strength perpendicular to plane of board : IB)  
ค่าความต้านทานแรงยึดเหนี่ยวของตะปูเกลียวด้านผิว (screw holding ) ตามลำดับดังนี้

### 1) ผลการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงและความต้านทานมอดุลัสยึดหยุ่น

ผลการศึกษาค่าความต้านทานแรงดึงและความต้านทานมอดุลัสยึดหยุ่นของแผ่นเส้นใย  
อัดมะพร้าวผสมต้นรูปฤาษี แสดงดังตารางที่ 4.10

**ตารางที่ 4.10** ผลการศึกษาค่าความต้านทานแรงดึงและความต้านทานมอดุลัสยึดหยุ่นของแผ่นเส้นใย  
อัดมะพร้าวผสมต้นรูปฤาษี

ชนิดแผ่น	ความหนา แน่นที่ได้ (kg/m <sup>3</sup> ) ±SD	ชนิด สารยึดติด	ค่าเฉลี่ย ความ ต้านทาน แรงดึง (MPa)	ค่าเฉลี่ยความ ต้านทานมอ ดูลัสยึดหยุ่น (MPa) ±SD
แผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสม ต้นรูปฤาษี ที่ร้อยละ 50:50	658.25±0.23	(UF) 10%	13.76±0.32	1182±0.33
	669.22±0.25	(pMDI) 10%	15.41±0.31	1369±0.32
มาตรฐาน มอก.876 -2547			≥0.13	≥1600
มาตรฐาน JIS A 5908-2003 (8type)			≥0.8	≥2000

จากตารางที่ 4.10 ชนิดของสารยึดติดของแผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมต้นรูปฤาษี และผล  
การศึกษาค่าความต้านทานแรงดึงและความต้านทานมอดุลัสยึดหยุ่นของการผลิตที่ใช้สารยึดติด 2  
ชนิด คือ กาวสังเคราะห์ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน และ กาวสังเคราะห์ไอโซไซยาเนตเรซิน (pMDI) ที่  
ปริมาณสารยึดติด 10% ที่ความหนาของแผ่นที่ 15 มิลลิเมตร และความหนาแน่นที่กำหนด 600  
kg/m<sup>3</sup> ตามลำดับ เป็นไปตามมาตรฐาน มอก. 876-2547 เกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดค่าความต้านทาน  
แรงดึง คือ มากกว่าหรือเท่ากับ 0.13 MPa ส่วนค่าความต้านทานมอดุลัสยึดหยุ่นคือมากกว่าหรือ  
เท่ากับ 1,600 MPa และมาตรฐาน JIS A 5908-2003 (8type) คือ มากกว่าหรือเท่ากับ 0.8 MPa  
และค่าความต้านทานมอดุลัสยึดหยุ่นคือมากกว่าหรือเท่ากับ 2,000 MPa จากการทดสอบสมบัติของ  
แผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมต้นรูปฤาษี ในด้านค่าความต้านทานแรงดึงและความต้านทานมอดุลัส  
ยึดหยุ่นของแผ่นได้ดังนี้ แผ่นเส้นใยอัดที่ทำจากเส้นใยมะพร้าวที่ร้อยละ 50 ผสมเส้นใยต้นรูปฤาษีที่  
ร้อยละ 50 ความหนาแน่นของแผ่นที่กำหนด 600 kg/m<sup>3</sup> ที่ใช้กาวสังเคราะห์ยูเรีย

พอร์มัลดีไฮด์เรซิน และกาวสังเคราะห์ไอโซไซยาเนตเรซิน ค่าความต้านทานแรงดึงดัดและมอดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยของแผ่นที่ได้ 13.76 MPa และ 15.41MPa และค่าความต้านทานมอดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยของแผ่นที่ได้ 1182 MPa และ 1369 MPa ค่าความต้านทานแรงดึงดัดสามารถผ่านค่ามาตรฐานที่กำหนดทั้งที่ใช้สารยึดติดกาวสังเคราะห์ยูเรียพอร์มัลดีไฮด์เรซิน และกาวสังเคราะห์ไอโซไซยาเนตเรซิน ส่วนค่ามอดูลัสยืดหยุ่นไม่สามารถผ่านเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด

## 2) ผลการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า

ผลการศึกษาค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นเส้นใยมะพร้าวผสมต้น  
 ทุปฤาชี แสดงดังตารางที่ 4.11

**ตารางที่ 4.11** ผลการศึกษาค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นเส้นใยอัดมะพร้าว  
 ผสมต้นทุปฤาชี

ชนิดแผ่น	ความหนา แน่นที่ได้ (kg/m <sup>3</sup> ) ±SD	ชนิด สารยึดติด	ค่าเฉลี่ยความ ต้านทานแรงดึงตั้ง ฉากกับผิวหน้า (MPa) ±SD
แผ่นเส้นใยอัดมะพร้าว	658.25±0.23	(UF) 10%	0.38±0.33
ผสมต้นทุปฤาชี ที่ร้อยละ 50:50	669.22±0.25	(pMDI) 10%	0.74±0.34
มาตรฐาน มอก. 876-2547			≥ 0.35
มาตรฐาน JIS A 5908-2003 (8type)			≥ 0.15

จากตารางที่ 4.11 และผลการศึกษาค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าในการผลิตที่ใช้สารยึดติด 2 ชนิด คือ กาวสังเคราะห์ยูเรียพอร์มัลดีไฮด์เรซิน และกาวสังเคราะห์ไอโซไซยาเนตเรซิน ที่ปริมาณสารยึดติด 10% ที่ความหนาของแผ่นที่ 15 มิลลิเมตร และความหนาแน่นที่กำหนด 600 kg/m<sup>3</sup> เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน มอก. 876-2547 เกณฑ์ที่กำหนดค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าคือ มากกว่าหรือเท่ากับ 0.35 MPa และมาตรฐาน JIS A 5908-2003 (8type) เกณฑ์ที่กำหนดค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าคือ มากกว่าหรือเท่ากับ 0.15 MPa จากการทดสอบสมบัติของแผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมต้นทุปฤาชี ในด้านค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าได้ผลดังนี้ แผ่นเส้นใยอัดที่ทำจากเส้นใยอัดมะพร้าวที่ร้อยละ 50 ผสมเส้นใยต้นทุปฤาชีที่ร้อยละ 50 ความหนาแน่นของแผ่นที่กำหนด 600 kg/m<sup>3</sup> ที่ใช้กาวสังเคราะห์ยูเรียพอร์

มัลดีไฮด์เรซิน ค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าเฉลี่ยของแผ่นที่ได้ 0.38 MPa และที่ใช้กาวสังเคราะห์ไอโซไซยาเนตเรซิน ค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าเฉลี่ยของแผ่นที่ได้ 0.74 MPa สามารถผ่านค่ามาตรฐานที่กำหนดที่ใช้สารยึดติดกาวสังเคราะห์ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน และที่ใช้กาวสังเคราะห์ไอโซไซยาเนตเรซิน ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่าแผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมต้นธูปฤาษีเมื่อทำการทดสอบเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพ พบว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกำหนด

### 3) ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงการยึดเหนี่ยวของตะปูเกลียวด้านผิว

ผลการศึกษาค่าความแข็งแรงการยึดเหนี่ยวของตะปูเกลียวด้านผิวของแผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมต้นธูปฤาษี ดังแสดงในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ผลการศึกษาค่าความแข็งแรงการยึดเหนี่ยวของตะปูเกลียวด้านผิวของแผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมต้นธูปฤาษี

ชนิดแผ่น	ความหนาแน่นที่ได้ (kg/m <sup>3</sup> ) ±SD	ชนิดสารยึดติด	ค่าความแข็งแรงการยึดเหนี่ยวของตะปูเกลียวด้านผิว (N) ±SD
แผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมต้นธูปฤาษี ที่ร้อยละ 50:50	658.25±0.23	(UF)10%	363.59±0.32
	669.22±0.25	(pMDI)10%	368.75±0.33
มาตรฐาน มอก. 876-2547			360
มาตรฐาน JIS A 5908-2003 (8type)			360

จากตารางที่ 4.12 ผลการศึกษาค่าความแข็งแรงการยึดเหนี่ยวของตะปูเกลียวด้านผิวของการผลิตแผ่นเส้นใยอัดที่ใช้สารยึดติด 2 ชนิด คือ กาวสังเคราะห์ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน และกาวสังเคราะห์ ไอโซไซยาเนตเรซิน (pMDI) ที่ปริมาณสารยึดติด 10% ที่ความหนาของแผ่นที่ 15 มิลลิเมตร และความหนาแน่นที่กำหนด 600 kg/m<sup>3</sup> ตามลำดับ เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน มอก. 876-2547 และมาตรฐาน JIS A 5908-2003 (8type) คือ 360 N จากการทดสอบสมบัติของแผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมต้นธูปฤาษี ในด้านค่าความแข็งแรงการยึดเหนี่ยวของตะปูเกลียว ได้ผลดังนี้ แผ่นเส้นใยที่ทำจากเส้นใยอัดมะพร้าวที่ร้อยละ 50 ผสมเส้นใยต้นธูปฤาษีที่ร้อยละ 50 ความหนาแน่นของแผ่นที่กำหนด 600 kg/m<sup>3</sup> ที่ใช้กาวสังเคราะห์ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน

ค่าความแข็งแรงการยึดเหนี่ยวของตะปูเกลียวด้านผิวเฉลี่ยของแผ่นที่ได้ 363.59N และที่ใช้กาวสังเคราะห์ไอโซไซยาเนตเรซิน ค่าความแข็งแรงการยึดเหนี่ยวของตะปูเกลียวด้านผิวเฉลี่ยของแผ่นที่ได้ 368.75N ไม่ผ่านตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน มอก. 876-2547 และมาตรฐาน JIS A 5908-2003 (8type) คือ 360 N ที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่า แผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมต้นรูปฤาษี เมื่อทำการทดสอบเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพพบว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกำหนด

#### 4.2.4 ผลการทดสอบสมบัติเชิงความร้อน

การวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับค่าการนำความร้อนและค่าความต้านทานความร้อนของแผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมต้นรูปฤาษี ที่ใช้ปริมาณสารยึดติดกาวสังเคราะห์ไอโซไซยาเนตเรซิน (pMDI) และกาวสังเคราะห์ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน (UF) ที่ปริมาณสารยึดติด 10% โดยน้ำหนักแห้ง และค่าความหนาแน่นของแผ่นที่กำหนด 600 kg/m<sup>3</sup> ความหนาของแผ่นที่ 15 มิลลิเมตร ผลการทดสอบค่าการนำความร้อน และความต้านทานความร้อนสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.13

##### 1) ผลการทดสอบค่าการนำความร้อนและความต้านทานความร้อน

ผลการศึกษาค่าการนำความร้อนและความต้านทานความร้อนของแผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมต้นรูปฤาษี ที่ใช้สารยึดติด 2 ชนิด คือ กาวสังเคราะห์ไอโซไซยาเนตเรซิน (pMDI) และกาวสังเคราะห์ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน (UF) ที่ปริมาณสารยึดติด 10% ที่ความหนาของแผ่นที่ 15 มิลลิเมตร และค่าความหนาแน่นที่กำหนด 600 kg/m<sup>3</sup> ตามลำดับ ตามมาตรฐาน ASTM C 177-2010 เปรียบเทียบจากตารางที่ 4.13 แสดงค่าการนำความร้อนและความต้านทานความร้อนที่สัมพันธ์กับความหนาแน่น

**ตารางที่ 4.13** ผลการศึกษาค่าการนำความร้อนและความต้านทานความร้อนของแผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมต้นรูปฤาษี

ชนิดแผ่น	ความหนาแน่น ที่ได้ (kg/m <sup>3</sup> ) ±SD	ชนิด สารยึดติด	ค่าเฉลี่ยการนำ ความร้อน w/(m.k) ±SD	ค่าเฉลี่ยความ ต้านทานความ ร้อน (m <sup>2</sup> .k)/w ±SD
แผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสม ต้นรูปฤาษี ที่ร้อยละ 50:50	658.25±0.23	(UF)10%	0.045±0.03	0.1574±0.03
	669.22±0.25	(pMDI)10%	0.175±0.02	0.1211±0.02

จากการทดสอบสมบัติของแผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมตันรูปถาชี ในด้านค่าการนำความร้อนและความต้านทานความร้อนของแผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมตันรูปถาชี ได้ผล ดังนี้ แผ่นเส้นใยอัดที่ทำจากเส้นใยอัดมะพร้าวที่ร้อยละ 50 ผสมเส้นใยตันรูปถาชี ที่ร้อยละ 50 ความหนาแน่นของแผ่นที่กำหนด  $600 \text{ kg/m}^3$  ที่ใช้กาวสังเคราะห์ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน ค่าการนำความร้อนและค่าความต้านทานความร้อนเฉลี่ยของแผ่นที่ได้  $0.045 \text{ w/m.k}$  และ  $0.1574 \text{ m}^2.\text{k/w}$  และที่ใช้กาวสังเคราะห์ไอโซไซยาเนต เรซิน ค่าการนำความร้อนและค่าความต้านทานความร้อนเฉลี่ยของแผ่นที่ได้  $0.175 \text{ w/m.k}$  และ  $0.1211 \text{ m}^2.\text{k/w}$  ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่าแผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมตันรูปถาชี สามารถใช้เป็นวัสดุกันความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารได้ ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบค่าการนำความร้อนและความต้านทานความร้อนของวัสดุหลายชนิด ดังแสดงตารางที่ 4.14 จะเห็นได้ว่าค่าการนำความร้อนและความต้านทานความร้อนของแผ่นเส้นใยอัด มีค่าการนำความร้อนต่ำกว่า แผ่นยิปซัม ไม้อัด ที่มีความหนาแน่นใกล้เคียงกัน แต่สูงกว่าแผ่นฉนวนใยแก้วเล็กน้อย ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่า แผ่นที่ผลิตได้เป็นฉนวนความร้อนที่ดีอีกประเภทหนึ่ง

**ตารางที่ 4.14** การเปรียบเทียบค่าการนำความร้อนและความต้านทานความร้อนของวัสดุประเภทต่างๆ

วัสดุประเภทต่าง ๆ	ความหนาแน่น ( $\text{kg/m}^3$ )	ค่าการนำความร้อน ( $\text{w/m.k}$ )	ค่าความต้านทานความร้อน ( $\text{m}^2.\text{k/w}$ )
แผ่นยิปซัมตราช้างชนิดทนความชื้น	775	0.2973	0.0410
แผ่นยิปซัมตราช้างชนิดอะลูมิเนียมพอยล์	745	0.3215	0.0302
แผ่นยิปซัมตราช้างชนิดปรุปลายรูนฟินโฮล	745	0.2888	0.0422
แผ่นยิปซัมตราช้างชนิดธรรมดา หนา 12 มม.	760	0.3187	0.0390
แผ่นยิปซัมตราช้างชนิดพีวีซี	684	0.2112	0.0622
แผ่นยิปซัมตราช้างชนิดทนไฟ	885	0.3533	0.0430
แผ่นยิปซัมตราช้างชนิดธรรมดา	725	0.3058	0.0305
แผ่นเซลโลกรีตชนิดธรรมดา หนา ½ นิ้ว	608	0.1143	0.1096
แผ่นเซลโลกรีตชนิดธรรมดา หนา ¾ นิ้ว	529	0.1171	0.1638
แผ่นเซลโลกรีตชนิดธรรมดา หนา 1 นิ้ว	392	0.1082	0.2818
แผ่นเซลโลกรีตชนิดธรรมดา หนา 1 ½ นิ้ว	384	0.1201	0.2755
แผ่นเซลโลกรีตชนิดธรรมดา หนา 2 นิ้ว	388	0.1242	0.3825

วัสดุประเภทต่าง ๆ	ความหนาแน่น (kg/m <sup>3</sup> )	ค่าการนำความร้อน (w/m.k)	ค่าความต้านทาน ความร้อน (m <sup>2</sup> .k/w )
แผ่นเซลโลกรีตชนิดโฟม หนา ½ นิ้ว	377	0.0766	0.1791
แผ่นเซลโลกรีตชนิดโฟม	377	0.0728	0.1791
แผ่นไม้ทุเรียน	440	0.1345	0.1652
แผ่นไม้สน	600	0.1970	0.1227
แผ่นไม้เมเปิ้ล	676	0.2072	0.1067
แผ่นไม้มะค่า	788	0.230	0.0977
แผ่นไม้เต็ง	980	0.2235	0.0995
แผ่นไม้สัก	685	0.2095	0.1070
แผ่นไม้อัด	907	0.2290	0.0450
แผ่นพอลิยูรีเทนโฟม	55	0.0303	0.8802
แผ่นโฟม	20	0.0408	0.2763
แผ่นฉนวนใยแก้ว	69	0.0410	0.2785
แผ่นฉนวนใยแก้วอะลูมิเนียมฟอยล์ 1 ด้าน	130	0.0460	0.3760
แผ่นฉนวนยาง	74	0.0483	0.2763
แผ่นยิปซัมบอร์ด	800	0.2820	0.0430

ที่มา: คู่มือวัสดุก่อสร้าง, 2541

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

#### สรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการแปรรูปวัสดุเหลือทิ้งจากมะพร้าว ได้แก่ กะลามะพร้าว และเส้นใยมะพร้าว เพื่อใช้ประโยชน์ในเชิงอุตสาหกรรม โดยการนำกะลามะพร้าวมาแปรรูปเป็นถ่านกัมมันต์ เพื่อใช้ในการดูดซับน้ำเสียจากอุตสาหกรรม และนำเส้นใยมะพร้าวมาผลิตแผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมต้นรูปถากิ จากผลการวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

#### 5.1 การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว

การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเผาถ่านคือ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยค่าไอโอดีนนัมเบอร์สูงสุดที่ 447.92 มิลลิกรัมต่อกรัม เมื่อกระตุ้นเป็นถ่านกัมมันต์ด้วยโซเดียมคลอไรด์ พบว่าความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่เหมาะสมคือที่ความเข้มข้น 1 M และใช้เวลาในการกระตุ้น 24 ชั่วโมง โดยให้ค่าไอโอดีนนัมเบอร์สูงสุดที่ 503.45 มิลลิกรัมต่อกรัม เมื่อนำไปดูดซับตะกั่วและแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ ที่ความเข้มข้นของตะกั่วเริ่มต้น 86.647 มิลลิกรัมต่อลิตร ถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับตะกั่วได้ถึง 86.18 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละ 98.33 โดยสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับตะกั่ว คือ ใช้ปริมาณถ่าน 30 กรัม ที่เวลาการดูดซับ 30 นาที ส่วนการดูดซับแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ ที่ความเข้มข้นของแคดเมียมเริ่มต้น 1.47 ppm ถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับแคดเมียมได้ถึง 0.85 ppm คิดเป็นร้อยละ 57.82 โดยสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับแคดเมียม คือ ใช้ปริมาณถ่าน 30 กรัม ที่เวลาการดูดซับ 120 นาที

จากการศึกษาการแปรรูปกะลามะพร้าวเป็นถ่านกัมมันต์พบว่าถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้สามารถใช้ในการดูดซับโลหะหนักสองชนิด คือ ตะกั่วและแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

#### 5.2 การผลิตแผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมต้นรูปถากิ

การแปรรูปวัสดุเหลือทิ้งจากมะพร้าวเพื่อใช้ประโยชน์ในเชิงอุตสาหกรรม โดยการนำเส้นใยมาอัดเป็นแผ่นเส้นใยมะพร้าวที่ร้อยละ 50 ผสมเส้นใยต้นรูปถากิ ที่ร้อยละ 50 ที่ได้นำมาศึกษาสมบัติเชิงกายภาพ เชิงกล และเชิงความร้อน สามารถสรุปผลการวิจัยได้ ดังนี้

1) สรุปผลการทดลองสมบัติเชิงกายภาพ แผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวที่ร้อยละ 50 ผสมเส้นใยอัดต้นรูปถั่วฝักยาว ที่ร้อยละ 50 มีความหนาแน่นของแผ่นที่กำหนด  $600 \text{ kg/m}^3$  แผ่นที่ใช้กาวสังเคราะห์ยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซิน มีค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของแผ่นที่ได้  $658.25 \text{ kg/m}^3$  และแผ่นที่ใช้กาวสังเคราะห์ไอโซไซยานาตเรซิน มีค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของแผ่นที่ได้  $669.22 \text{ kg/m}^3$  ตามลำดับ แผ่นที่ใช้กาวสังเคราะห์ยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซิน มีค่าปริมาณความชื้นเฉลี่ยของแผ่นที่ได้ 9.38% และแผ่นที่ใช้กาวสังเคราะห์ไอโซไซยานาตเรซิน มีค่าปริมาณความชื้นเฉลี่ยของแผ่นที่ได้ 8.54% ตามลำดับ แผ่นที่ใช้กาวสังเคราะห์ยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซิน และที่ใช้กาวสังเคราะห์ไอโซไซยานาตเรซิน มีค่าการดูดซึมน้ำที่ 2 ชั่วโมง เฉลี่ยของแผ่นที่ได้ 34.72 % และ 15.25 % และที่ 24 ชั่วโมง เฉลี่ยของแผ่นที่ได้ 42.24% และ 65.27% ตามลำดับ แผ่นที่ใช้กาวสังเคราะห์ยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซิน และที่ใช้กาวสังเคราะห์ไอโซไซยานาตเรซิน มีค่าการพองตัวทางความหนาที่ 2 ชั่วโมง เฉลี่ยของแผ่นที่ได้มีค่าระหว่าง 9.78% และ 4.64% และที่ 24 ชั่วโมงเฉลี่ยของแผ่นที่ได้มีค่าระหว่าง 19.29% และ 12.45% ตามลำดับ

2) สรุปผลการทดลองสมบัติเชิงกล แผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวที่ร้อยละ 50 ผสมต้นรูปถั่วฝักยาวที่ร้อยละ 50 ความหนาแน่นของแผ่นที่กำหนด  $600 \text{ kg/m}^3$  ที่ใช้กาวสังเคราะห์ยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซิน และกาวสังเคราะห์ไอโซไซยานาตเรซิน มีค่าความต้านทานแรงดัดเท่ากับ 13.76 MPa และ 15.41 MPa และค่าความต้านทานมอดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ 1182 MPa และ 1369 MPa ตามลำดับ แผ่นที่ใช้กาวสังเคราะห์ยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซิน ค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าเฉลี่ยของแผ่นที่ได้ 0.38 MPa และที่ใช้กาวสังเคราะห์ไอโซไซยานาตเรซิน ค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าเฉลี่ยของแผ่นที่ได้ 0.74 MPa ตามลำดับ แผ่นที่ใช้กาวสังเคราะห์ยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซิน ค่าความแข็งแรงการยึดเหนี่ยวของตะปูเกลียวด้านผิวเฉลี่ยของแผ่นที่ได้ 363.59 N และที่ใช้กาวสังเคราะห์ไอโซไซยานาตเรซิน ค่าความแข็งแรงการยึดเหนี่ยวของตะปูเกลียวด้านผิวเฉลี่ยของแผ่นที่ได้ 368.75 N

3) สรุปผลการทดลองสมบัติเชิงความร้อน แผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวที่ร้อยละ 50 ผสมต้นรูปถั่วฝักยาวที่ร้อยละ 50 ความหนาแน่นของแผ่นที่กำหนด  $600 \text{ kg/m}^3$  ที่ใช้กาวสังเคราะห์ยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซิน ค่าการนำความร้อนและค่าความต้านทานความร้อนเฉลี่ยของแผ่นที่ได้ 0.045 w/m.k และ  $0.1574 \text{ m}^2 \cdot \text{k/w}$  และที่ใช้กาวสังเคราะห์ไอโซไซยานาตเรซิน ค่าการนำความร้อนและค่าความต้านทานความร้อนเฉลี่ยของแผ่นที่ได้ 0.175 w/m.k และ  $0.1211 \text{ m}^2 \cdot \text{k/w}$  ตามลำดับ

## อภิปรายผล

การสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวที่กระตุ้นด้วยโซเดียมคลอไรด์ เพื่อใช้ในการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม พบว่าถ่านที่กระตุ้นด้วยโซเดียมคลอไรด์ ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส อัตราส่วนถ่าน: โซเดียมคลอไรด์ โดยน้ำหนักเท่ากับ 1:3 และเวลากระตุ้น 1 ชั่วโมง ให้ค่าไอโอดีน นัมเบอร์เท่ากับ 503.45 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งให้ค่าไอโอดีนนัมเบอร์สูงที่สุด เนื่องจากเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ และใช้เวลาที่กระตุ้นที่มากขึ้นจะทำให้ถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับได้ดีขึ้น แต่เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิในการกระตุ้นมากขึ้นจะทำให้ถ่านกัมมันต์ที่ได้ค่อนข้างมีความเป็นเถ้ามาก ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ อรัญ ขวัญปาน (2554) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของการกำจัดตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว โดยกระตุ้นโดยใช้โซเดียมคลอไรด์ และพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ใช้การเผากระตุ้นคือ 700 องศาเซลเซียส และวัสดุที่มีค่าการดูดซับสูงสุดคือ กะลามะพร้าว ซึ่งอัตราส่วน น้ำหนักของวัตถุดิบต่อสารกระตุ้นที่เหมาะสม คือ 1:1 ได้ค่าไอโอดีนเท่ากับ 623 มิลลิกรัม และพื้นที่ผิวเท่ากับ 674 ตารางเมตรต่อกรัม พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้มีประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วสูงกว่า 85% การดูดซับตะกั่วสำหรับถ่านกัมมันต์ คือ 10 นาที ผลของการหาไอโซเทอมการดูดซับแบบ ฟรุนดิช แสดงให้เห็นว่าถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวมีความสามารถในการดูดซับตะกั่ว 5.0 มิลลิกรัมของตะกั่วต่อกรัมของถ่านกัมมันต์

การผลิตแผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมต้นรูปฤาษี เมื่อทำการทดสอบเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพ พบว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกำหนดมีบางสมบัติสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานกำหนด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของกำพล ชูปรีดา และคณะ (2546) ได้ศึกษาการผลิตแผ่นเส้นใยอัดความหนาแน่นสูงจาก ผักตบชวา ที่ได้ทดลองจากกรรมวิธีการผลิตแบบแห้งชนิดผิวเรียบ 2 หน้า ซึ่งมีความหนาแน่นที่กำหนด  $800 \text{ kg/m}^3$  ขึ้นไป ใช้ปริมาณการสังเคราะห์ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซินที่ 10% 13% และ 16% และปริมาณพาราฟินอิมัลชัน 0.75% เทียบกับน้ำหนักแห้งของเส้นใยผักตบชวา พบว่า ค่าความหนาแน่นเฉลี่ย และค่าความชื้น อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

## ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1. สามารถนำถ่านกัมมันต์ไปใช้ในการดูดซับโลหะหนักในน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรม หรือประยุกต์ใช้ในการกรองสิ่งสกปรก และการฟอกสี
2. แผ่นเส้นใยอัดมะพร้าวผสมต้นรูปฤาษีสามารถนำไปผลิตในอุตสาหกรรมไม้อัดได้

### ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยสำหรับผู้สนใจใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาการผลิตถ่านกัมมันต์ชนิดอื่นๆ มีดังนี้

1. ควรศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์โดยใช้กระบวนการกระตุ้นทางกายภาพ
2. ควรศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์โดยใช้สารกระตุ้นชนิดอื่น และควรใช้วัตถุดิบเหลือใช้ชนิดอื่นๆ ซึ่งนำมาเปรียบเทียบกับงานวิจัยนี้ได้
3. สำหรับถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้สามารถวิเคราะห์การดูดซับโลหะหนักชนิดอื่นๆ เช่น การดูดซับปรอท หรือการดูดซับสารระเหย เป็นต้น

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยสำหรับผู้สนใจใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาการผลิตแผ่นเส้นใยอัดชนิดอื่นๆ มีดังนี้

1. ศึกษาลักษณะ รูปร่างและขนาดของเส้นใยขนาดต่างๆ
2. ศึกษาปริมาณสารเคมีที่ใช้เป็นส่วนผสมในการทำแผ่นเส้นใยอัด
3. ศึกษาความแตกต่าง สมบัติของการใช้สารเติมแต่งที่ระดับต่างๆ และปริมาณของสารเคลือบผิวกันซึมต่อการดูดซึมน้ำ
4. ศึกษาการนำวัสดุอินทรีย์ชนิดอื่นมาใช้ในการขึ้นรูปแผ่นเส้นใยอัด

## บรรณานุกรม

### บรรณานุกรมภาษาไทย

กรมวิทยาศาสตร์บริการ. ตะกั่ว LEAD. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักจัดการกากของเสียและสารอันตราย กรมควบคุมมลพิษ. 2547.

กิตติเดช แก้วฉา ชัยคาน ก้องสุวรรณศิริและภูวนาท ด้วงเสน. (2547) การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดจากใบยางพารา. สืบค้นเมื่อ 21 มิถุนายน 2558. เข้าถึงได้จาก: <http://forprod.forest.go.th/forprod/RESEARCH/ABSTRACT/1195.htm>.

กิตติศักดิ์ บัวศรี. (2544) การผลิตแผ่นฉนวนความร้อนจากฟางข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 223 หน้า.

กาวเรซินชนิดแข็งตัวเมื่อร้อน. สืบค้นเมื่อ 10 มิถุนายน 2558. เข้าถึงได้จาก:

<http://www.forest.go.th/forprod/ContractUs/org/details/wcs/adhesiveweb.htm>

กำพล ชูปรีดา กิตติภณ ศิริปัญญาและฤทธิชัย เต็งการณกิจ. (2546) การศึกษาการผลิตแผ่นเส้นใยอัดความหนาแน่นสูงจากผักตบชวา. สืบค้นเมื่อ เมื่อ 1 มิถุนายน 2558. เข้าถึงได้จาก: <http://library.kmutnb.ac.th/projects/ind/FDT/fdt0270t.html>

เกรียงไกร วิริยะเมฆานนท์ และ ยศวีร์ สุขเสน. (2544) ผนังมอร์ต้าซีเมนต์เสริมเส้นใยพืชธรรมชาติ. สืบค้นเมื่อ 13 มิถุนายน 2558. เข้าถึงได้จาก: <http://www.thaithesis.org/detail.php?id=46102>

ขวัญเรือน กันทวง พงศ์พันธ์ ตั้งไพบุลย์วรรณ และ สุชาติ บุญดำรงธรรม. (2545) ฉนวนใยเซลลูโลสที่อัดโดยเครื่องอัดแผ่นแบบไฮดรอลิกส์ . สืบค้นเมื่อ เมื่อ 3 มิถุนายน 2558. เข้าถึงได้จาก: <http://www.eppo.go.th/encon/abstract/2545-MJU-cellulose.html>

คณะพลังงานและวัสดุ. (2541) คู่มือวัสดุก่อสร้าง. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 92 หน้า.

ฉันททิพย์ คำนวนทิพย์และมนทิพย์ ล้อสุริยนต์. (2550) ศึกษาแผ่นอัดจากใยมะพร้าว ชานอ้อย ฟางข้าว และแกลบ. สืบค้นเมื่อ เมื่อ 13 มิถุนายน 2558. เข้าถึงได้จาก: <http://www.rtir.rmutt.ac.th/handle/123456789/269>

ฐานันดร รัศมี เครือวัลย์ กาญจนสุวรรณ และนันทพร ศุภเจริญ. (2548) การศึกษาการผลิตแผ่นผลิตภัณฑ์ที่ทำจากแกลบ โดยใช้ปานตรนารายณ์เป็นส่วนผสม. สืบค้นเมื่อ 5 มิถุนายน 2558. เข้าถึงได้จาก: <http://library.kmutnb.ac.th/projects/ind/CCT/cct0287e.html>

- ตระการ ก้าวกสิกรรม. (2537) คู่มือฉนวนความร้อน. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : บริษัทเอ็มแอนด์ดี จำกัด 312 หน้า.
- เทียมชัย บัวลอย. การดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลโค. วิทยานิพนธ์. มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2553.
- ชนพันธุ์ ศิริรักษ์ สายชล จันทวงษ์และอรุณพงศ์ สีนอนันต์. (2547) การศึกษาแผ่นพื้นปาร์เก้จากเส้นใยมะพร้าว. สืบค้นเมื่อ 16 มิถุนายน 2558. เข้าถึงได้จาก: <http://www.uc.thailis.or.th/~chameleon?..>
- ธัญชัย ปทุมวรกิจ. (2548) การพัฒนาฉนวนอาคารจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร. วิทยานิพนธ์ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาสถาปัตยกรรมและการผังเมือง, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 154 หน้า.
- ธราพงษ์ วิทิตสานต์. ถ่านกัมมันต์การผลิตและการนำไปใช้. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553.
- ธวัช รอบรู้ มารุต รอดศาสตราและฐิติกุล ภาคคีรี. (2547). การศึกษาคุณภาพของแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดซึ่งผลิตจากต้นยาสูบ. สืบค้นเมื่อ เมื่อ 12 มิถุนายน 2558. เข้าถึงได้จาก: <http://library.kmutnb.ac.th/projects/ind/FDT/fdt0358t.html>
- ธเนศ ศรีตภาณุและปราณี ปานกล้า. (2544) กรรมวิธีการผลิตแผ่นผลิตภัณฑ์หนาแน่นปานกลางจากเส้นใยมะพร้าว. สืบค้นเมื่อ เมื่อ 12 มิถุนายน 2558. เข้าถึงได้จาก: <http://library.kmutnb.ac.th/projects/ind/FDT/fdt0135e.html>
- ธีรวรรณ ฉิมมา. (2544). การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตแผ่นผักตบชวาอัดซีเมนต์. สืบค้นเมื่อ 2 มิถุนายน 2558. เข้าถึงได้จาก: <http://www.thaithesis.org/detail.php?id=46102>
- นพนันท์ นานคงแนบ. (2545) การพัฒนาแผ่นขึ้นไม้อัดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำโดยมีอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างเปลือกทุเรียนและใยมะพร้าว. สืบค้นเมื่อ 10 มิถุนายน 2558. เข้าถึงได้จาก: <http://www.thaithesis.org/detail.php?id=2099>
- นิตการ เจริญดี. (2543) การผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดจากผักตบชวา. สืบค้นเมื่อ 19 มิถุนายน 2558. เข้าถึงได้จาก: <http://www.library.mahidol.ac.th/thesis/environment.php>.
- ประยูร สุรินทร์. (2544) การศึกษากระบวนการผลิตและสมบัติแผ่นฉนวนความร้อนจากขานอ้อย. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 99 หน้า.
- ประเสริฐศักดิ์ พะศรีและวรพงศ์ วงศ์สนิท. (2547) การศึกษาการผลิตแผ่นอัดจากแผ่นसानไบเตยหนามและแผ่นปิดผิว MDF ด้วยแผ่นसानไบเตยหนาม. สืบค้นเมื่อ 23 มิถุนายน 2558. เข้าถึงได้จาก: <http://library.kmutnb.ac.th/projects/ind/FDT/fdt0298t.html>

- พงศ์วิทย์ ลิ้มปิติศุทธิ์และเศกสรรค์ วิวัฒน์ธนเสถียร. (2547) การศึกษาการผลิตแผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลางจากต้นไมยราบยักษ์. สืบค้นเมื่อ 24 มิถุนายน 2558. เข้าถึงได้จาก <http://library.kmutnb.ac.th/projects/ind/FDT/fdt0362e.html>
- พรชัย ราชชนะพันธ์ กนกศักดิ์ ลอยเลิศ และ ดำรงใจ เชื้ออ่อนแก้ว. (2553) ผลของปริมาณของกาวแป้งผสมและขนาดผงจากเปลือกมะขามต่อคุณสมบัติของแผ่นขึ้นไม้อัด. ในการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48 สาขาอุตสาหกรรมเกษตร. กรุงเทพฯ, หน้า 117-123.
- พลัฎฐ์ โสภณากิจโกศล. การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวเพื่อใช้ในการดูดซับโลหะโครเมียม (VI). กรุงเทพมหานคร: ฐานข้อมูลวิทยานิพนธ์ไทย. 2554.
- ภาณุวัตร จิตพุทธิ. ใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดที่ทำจากกะลามะพร้าววางงานวิจัยกำจัดโลหะโครเมียม. วิทยานิพนธ์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2543.
- รวีวรรณ ยงเมืองน้อย รุ่งอรุณ ทาทอง และสุชาดา ศาलगาม. (2555). ประสิทธิภาพการดูดซับสีของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากไม้ตะเคียบใช้แล้วโดยวิธีการกระตุ้นทางเคมีที่ใช้สารละลายเกลือสมุทรและเกลือสินเธาว์. วิทยานิพนธ์. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- วรรณธรรม อุ่นจิตติชัย. (2543) กาวในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์แผ่นไม้ประกอบ. ในเอกสารประกอบการสัมมนาทางวิชาการ, สมาคมวิทยาศาสตร์การเกษตรแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์. วันที่ 12-13 กรกฎาคม 2543, กรุงเทพมหานคร., 178 หน้า.
- วันเพ็ญ ทานหิรัญและศศิวิมล ครองธรรม. (2546) แผ่นผลิตภัณฑ์ขึ้นไม้อัดมวลเบาจากต้นมันสำปะหลัง. สืบค้นเมื่อ 23 มิถุนายน 2558. เข้าถึงได้จาก: <http://library.kmutnb.ac.th/projects/ind/FDT/fdt0227t.html>
- วาที ทองสัมฤทธิ์และธนวรรณ เวียงสีมา. (2538) การศึกษาระดับปริมาณเนื้อกาวที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของแผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลางจากไม้ยางพารา. สืบค้นเมื่อ 2 มิถุนายน 2558. เข้าถึงได้จาก: <http://library.kmutnb.ac.th/projects/ind/FDT/fdt0003e.html>
- วิจิต เพชรกลัดและอภิรัตน์ โชคบวร. (2546) การศึกษาการผลิตแผ่นใยสับประรดอัดความหนาแน่นปานกลาง. สืบค้นเมื่อ 23 มิถุนายน 2558. เข้าถึงได้จาก: <http://library.kmutnb.ac.th/projects/ind/FDT/fdt0262t.html>
- ศุภกิจ ใจจักร์ธรรมและอภิชัย ยวนอยู่. (2546) แผ่นผลิตภัณฑ์แผ่นขึ้นอัดจากเศษไม้ไผ่. สืบค้นเมื่อ 11 มิถุนายน 2558. เข้าถึงได้จาก: <http://library.kmutnb.ac.th/projects/ind/FDT/fdt0272t.html>

- ศูนย์การเรียนรู้อุตสาหกรรมเมืองแร่. (2559). “ตะกั่ว”. สืบค้นเมื่อ 2558, สิงหาคม 31, เข้าถึงได้จาก: <http://lc.dpim.go.th/kb/1075>.
- สมคิด ทองบุญ. (2541) แผ่นขึ้นไม้อัดจากเกล็ดไม้ยางพาราโดยใช้สารย้อมฟอลิเมอร์อีกเอ็มดีไอ. สืบค้นเมื่อ 11 มิถุนายน 2558. เข้าถึงได้จาก: <http://www.research.or.th/handle/123456789171288>
- สมเจตน์ พืชพันธ์และพัฒนะ รักความสุข. (2546) การผลิตฉนวนความร้อนจากเส้นใยหญ้าแฝกและน้ำยางธรรมชาติ. สืบค้นเมื่อ 29 มิถุนายน 2558. เข้าถึงได้จาก: [http://kucon.lib.ku.ac.th/cgi-bin/kucon.exe?rec\\_id=008619](http://kucon.lib.ku.ac.th/cgi-bin/kucon.exe?rec_id=008619)
- สโรชา เจริญวัย. (2543) การพัฒนาต้นแบบแผ่นขึ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนและมะพร้าวที่ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำ. สืบค้นเมื่อ 27 มิถุนายน 2558. เข้าถึงได้จาก: <http://www.thaithesis.org/detail.php?id=1198>
- สุรเชษฐ์ เจ๊ะดอเกาะห์ และนพพล กุลจิระภัทร. (2548) การศึกษาการผลิตแผ่นวัสดุทดแทนไม้จากแกนต้นกล้วยงา แผ่นปาร์ติเกิลบอร์ด และแผ่นเอ็มดีเอฟ. สืบค้นเมื่อ 28 มิถุนายน 2558. เข้าถึงได้จาก: <http://library.kmutnb.ac.th/projects/ind/CCT/cct0284e.html>
- สำนักงานประกันสังคม. (2552). “สถิติงานประกันสังคม 2552”. สืบค้นเมื่อ 2558, สิงหาคม 31, เข้าถึงได้จาก: <http://www.sso.go.th/wpr/uploads/uploadImages/file/stat2552.pdf>.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2547) มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นขึ้นไม้อัดชนิดอัดราบ. มอก. 876-2547. กระทรวงอุตสาหกรรม. 17 หน้า.
- อนงค์ ไพจิตรประภาภรณ์ และคณะ. ตะกั่ว. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: กองสิ่งแวดล้อมทรัพยากรธรณีกรมทรัพยากรธรณี, 2545.
- อรัญ ขวัญปาน. ประสิทธิภาพของการกำจัดตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว ไม้โกงกาง และเปลือกทุเรียน. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา. (2554)
- อัญชลี เบญจโลหพันธ์. (2546) การพัฒนาแผ่นยับยั้งจากเปลือกทุเรียน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 80 หน้า.

### บรรณานุกรมภาษาต่างประเทศ

- Ajiwe V., Okeke CA., Ogbuagu JO., Ojukwu U. and Onwukeme VI. (1998). Characterization and applications of oils extracted from *Canarium schweinfurtii*, *Vitex doniana* and *Xylopiya aethiopia* fruits/seeds. *Bioresource Technology*. 64(3):249-252.
- American Society for Testing and Materials. (2010) ASTM C 177-10 Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Host Plate Apparatus. In Annual Book of ASTM Standards, MD,U.S.A., Vol. 04.06. pp. 21-32.
- Han G., Zhang C., Zhang D., Umenura D., and Kawai S. (1998). Upgrading of urea formaldehyde bonded reed and wheat straw particleboard using silane coupling agents,” *Journal of Wood Science*, 44, 282-286.
- Higuchi, T. (1997) Biosynthesis of Wood Component. In *Biochemistry and Molecular Biological of Wood*, Berlin, Springer-Verlay , pp. 93-97.
- Japanese Standards Association Particleboard. (2003) JIS A 5908-2003 Japanese Industrial Standard Tokyo. Hohbunsha Co.Ltd. 23 p.
- Jurasek L. M. et al. (1987) The catalytic Mechanism of Cellulose. In Moo-Young (ed) *Biomass Conversion* , pp. 131-137.
- Kuhad, R.C. (1993) Lignocellulose Biotechnology : Current and future Proaspects. *Critical Reviews in Biotechnology*, Vol. 13 , No. 2 , pp. 151-172.
- Linko M. Viikari L. and Suihko. ML. (1984) Hydrolysis of Xylan and fermentation of Xylose to ethanol. *Biotechnology Asvs.* 2, pp. 233-252.
- Norkrans, B. (1967) Cellulose and Cellulosis. *Advances in Applied Microbiology*, Vol. 9, pp. 91-125.
- O.S. Amuda, A.A. Giwa, I.A. Bello. 2007. Removal of heavy metal from industrial wastewater using modified activated coconut shell carbon. *Biochemical Engineering Journal*. 36. 174–181.
- Reginald Child, S. Ramanathan. (1938). Composition of Coconut Shells. *J. Am. Chem. Soc.* 60 (6). pp. 1506–1507.

- Satya sai P.M. and Ahamed J. (1997). Production of Activated Carbon from Coconut Shell Char in a Fluidized Bed Reactor. *Ind. Eng. Chem. Res.* 36 (9), pp 3625–3630.
- Stephen, G.R. and Heichel,G.H. (1975) *Biotechnology Bioengineering Symposium*. No. 5 pp. 77-80.
- Tomme, P., Warren, R.A.J., and Gilkes, N.R. (1995) *Cellulose Hydrolysis by Bacteria and Fungi*. Department of Microbiology and Tmmunology, University of British Columbia, Vancouver, British Columbia, Vol. 6, T 1Z3 , Canada, 30 p.
- Yalinkilic M.K., Imamura Y., Takahashi M., Ozdemir T. (1998). Biological, physical and mechanical properties of particleboard manufactured from waste tea leaves. Online: Availble from: [https://www.researchgate.net/publication/248436623Biological\\_physical\\_and\\_mechanical\\_properties\\_of\\_particleboard\\_manufactured\\_from\\_waste\\_tea\\_leaves](https://www.researchgate.net/publication/248436623Biological_physical_and_mechanical_properties_of_particleboard_manufactured_from_waste_tea_leaves)
- Yang H.S., Kim H..J., Son J., Park H.J., Lee B.J., and Twang T.S. (2004). Rice-husk flour filled polypropylene composites; mechanical and morphological studies. *Composite Structures*. 63 (3-4), 305-312.

ภาคผนวก

### Composition of Stainless steel

ตาราง ก 1.1 Porous stainless steel (PSS)

No. Sam	Element	%Weight	%Atomic
No. Sam	Element	%Weight	%Atomic
1	C	3.95	15.95
2		4.21	16.85
3		3.62	14.76
Avg		<b>3.93</b>	<b>15.85</b>
SD		<b>0.30</b>	<b>1.05</b>
1	Cr	18.97	17.68
2		18.3	16.92
3		18.64	17.55
Avg		<b>18.64</b>	<b>17.38</b>
SD		<b>0.34</b>	<b>0.41</b>
1	Fe	65.92	57.17
2		66.86	57.54
3		66.97	58.7
Avg		<b>66.58</b>	<b>57.80</b>
SD		<b>0.58</b>	<b>0.80</b>
1	Ni	11.16	9.2
2		10.63	8.7
3		10.77	8.98
Avg		<b>10.85</b>	<b>8.96</b>

substrate	Element	%weight	%Atomic
PSS-oxi	C	3.93	15.85
	Cr	18.64	17.38
	Fe	66.58	57.80
	Ni	10.85	8.96
	sum	100.00	100.00

### Composition of Stainless steel

ตาราง ก 1.2 Porous stainless steel + Oxidation (PSS + oxi)  
(Thermal Oxidation) oxidized at 600 oC, 6 h.

No. Sam	Element	%Weight	%Atomic
1	C	2.98	9.86
2		3.13	10.47
3		2.88	9.17
Avg		<b>3.00</b>	<b>9.83</b>
SD		<b>0.13</b>	<b>0.65</b>
1	O	11.7	29.01
2		10.76	27.01
3		14.05	33.52
Avg		<b>12.17</b>	<b>29.85</b>
SD		<b>1.69</b>	<b>3.33</b>
1	Cr	16.5	12.58
2		16.67	12.88
3		16.23	11.92
Avg		<b>16.47</b>	<b>12.46</b>
SD		<b>0.22</b>	<b>0.49</b>
1	Fe	59.27	42.1
2		59.99	43.16
3		57.73	39.47
Avg		<b>59.00</b>	<b>41.58</b>
SD		<b>1.15</b>	<b>1.90</b>
1	Ni	9.55	6.45
2		9.54	6.47
3		9.1	5.92
Avg		<b>9.40</b>	<b>6.28</b>
SD		<b>0.26</b>	<b>0.31</b>

substrate	Element	%weight	%Atomic
PSS-oxi	C	3.00	9.83
	O	12.17	29.85
	Cr	16.47	12.46
	Fe	59.00	41.58
	Ni	9.40	6.28
	sum	<b>100.03</b>	<b>100.00</b>

## Composition of Stainless steel

ตาราง ก 1.3 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> porous stainless steel (PSS- Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

No. Sam	Element	%Weight	%Atomic
1	C	2.89	8.76
2		2.97	9.05
3		2.76	8.47
Avg		<b>2.87</b>	<b>8.76</b>
SD		<b>0.11</b>	<b>0.29</b>
1	O	16.81	38.28
2		16.49	37.67
3		16.24	37.44
Avg		<b>16.51</b>	<b>37.80</b>
SD		<b>0.29</b>	<b>0.43</b>
1	Cr	17.53	12.28
2		17.63	12.39
3		17.73	12.58
Avg		<b>17.63</b>	<b>12.42</b>
SD		<b>0.10</b>	<b>0.15</b>
1	Fe	54.44	35.51
2		54.11	35.41
3		55.15	36.42
Avg		<b>54.57</b>	<b>35.78</b>
SD		<b>0.53</b>	<b>0.56</b>
1	Ni	8.33	5.17
2		8.8	5.45
3		8.12	5.1
Avg		<b>8.42</b>	<b>5.24</b>
SD		<b>0.35</b>	<b>0.19</b>

substrate	Element	%weight	%Atomic
PSS-Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C	2.87	8.76
	O	16.51	37.80
	Cr	17.63	12.42
	Fe	54.57	35.78
	Ni	8.42	5.24
	sum	100.00	99.99

## ประวัติผู้วิจัย

นางจิตตินาถ สุขคนตร์ เกิดเมื่อวันที่ 19 กันยายน 2518 ที่จังหวัดระนอง สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เมื่อปี พ.ศ. 2540 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท สาขาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ. 2543 และสำเร็จปริญญาเอก สาขาปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ. 2553 ปัจจุบันดำรงตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาเคมี และเป็นอาจารย์ผู้สอนหลักสูตรอาชีวอนามัยและความปลอดภัย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสวนดุสิต

นางสาวจันทร์สัจ วุฒิสัตย์วงศ์กุล เกิดเมื่อวันที่ 19 มิถุนายน 2519 ที่จังหวัดอุดรธานี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เมื่อปี พ.ศ. 2541 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระเกล้าธนบุรี เมื่อปี พ.ศ. 2545 และสำเร็จปริญญาเอก สาขาวิชาการออกแบบและผลิตแบบบูรณาการ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระเกล้าธนบุรี เมื่อปี พ.ศ. 2559 ปัจจุบันดำรงตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสวนดุสิต

นางทัศนีย์ ทองก้านเหลือง เกิดเมื่อวันที่ 9 ตุลาคม 2513 ที่จังหวัดกาญจนบุรี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาเทคโนโลยีเซรามิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏลำปาง เมื่อปี พ.ศ. 2537 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระเกล้าธนบุรี เมื่อปี พ.ศ. 2543 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาเอก สาขาวิชาการออกแบบและผลิตแบบบูรณาการ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระเกล้าธนบุรี เมื่อปี พ.ศ. 2553 ปัจจุบันดำรงตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

นายกิตติศักดิ์ บัวศรี เกิดเมื่อวันที่ 17 เมษายน 2507 ที่จังหวัดสงขลา สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมเครื่องกล เมื่อปี พ.ศ. 2538 สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน เมื่อปี พ.ศ. 2556 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระเกล้าธนบุรี เมื่อปี พ.ศ. 2544 ปัจจุบันดำรงตำแหน่งครูชำนาญการพิเศษ วิทยาลัยสารพัดช่างกาญจนบุรี สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา

นางวันปิติ ธรรมศรี เกิดเมื่อวันที่ 2 มกราคม 2519 ที่จังหวัดร้อยเอ็ด สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาประมง มหาวิทยาลัยขอนแก่น เมื่อปี พ.ศ. 2541 สำเร็จ

การศึกษาระดับปริญญาโท วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาทรัพยากรการเกษตรและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยขอนแก่น เมื่อปี พ.ศ. 2546 ปัจจุบันดำรงตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม และเป็นอาจารย์ผู้สอนหลักสูตรอาชีวอนามัยและความปลอดภัย คณะ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสวนดุสิต

นายวีรชน ภูหินกอง เกิดเมื่อวันที่ 9 พฤศจิกายน 2521 ที่จังหวัดร้อยเอ็ด สำเร็จการศึกษา ระดับปริญญาตรี ศษ.บ. สาขาวิทยาศาสตร์ สาขาเคมี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เมื่อปี พ.ศ. 2542 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท วท.ม. เคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง เมื่อปี พ.ศ. 2554 ปัจจุบันดำรงตำแหน่งนักวิจัย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสวนดุสิต

นายนครินทร์ ศรีสุวรรณ เกิดเมื่อวันที่ 8 พฤศจิกายน 2521 ที่จังหวัดชุมพร สำเร็จการศึกษา ระดับปริญญาตรี สาขาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ เมื่อปี พ.ศ. 2542 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท วัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เมื่อปี พ.ศ. 2545 และสำเร็จปริญญาเอก Materials Science and Engineering จาก Institut National Polytechnique de Toulouse (INPT), Toulouse, France ปัจจุบันดำรงตำแหน่งนักวิจัย ฝ่ายเทคโนโลยีการกักต่อน สถาบันนวัตกรรม เทคโนโลยีไทย-ฝรั่งเศส มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ