

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การผลิตภาพที่ปราศจากฟอร์มาลดีไฮด์จากกลีเซอรอล  
สำหรับแผ่นปาร์ติเกิ้ล



เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน 107867  
วัน, เดือน, ปี - 8 ส.ย. 2553

b. 12213206  
i. ....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต  
สาขาเคมีอุตสาหกรรม  
ภาควิชาเคมี  
คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# **Preparation of Free-formaldehyde Adhesive from Glycerol for Particle Board**



**A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for  
the Degree of Bachelor of Science**

**Department of Chemistry**

**Faculty of Science**

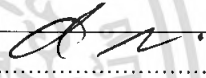


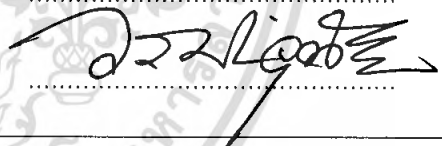
**King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang**

**2007**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง การผลิตกาวที่ปราศจากฟอร์มัลดีไฮด์จากกลีเซอรอลสำหรับแผ่นปาร์ติเกิ้ล  
นักศึกษา นางสาวจุฑามาศ วงษ์จันทร์ รหัสนักศึกษา 47050056  
นางสาวปีพมา เชาขกรณ์ รหัสนักศึกษา 47050074  
นางสาววราภรณ์ เช่นขาว รหัสนักศึกษา 47050085  
ภาควิชา เคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สาขา เคมีอุตสาหกรรม  
ปีการศึกษา 2550  
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.วันฉัตร ชื่นชม  
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม คุณวราธรรม อุ่นจิตติชัย

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

	คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด	
กรรมการ	ผศ.ดร.ภัทราวุธ มนต์วิเศษ	
กรรมการ	ผศ.ดร.วันฉัตร ชื่นชม	
กรรมการ	คุณวราธรรม อุ่นจิตติชัย	

  
(ผศ.ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์)  
หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	การผลิตกาวที่ปราศจากฟอร์มัลดีไฮด์จากกลีเซอรอลสำหรับแผ่นปาร์ติเกิ้ล	
นักศึกษา	นางสาวจุฑามาศ วงษ์จันทร์	รหัสนักศึกษา 47050056
	นางสาวปีทมา เชาขรณ์	รหัสนักศึกษา 47050074
	นางสาววราภรณ์ เช่นขาว	รหัสนักศึกษา 47050085
ภาควิชา	เคมี คณะวิทยาศาสตร์	
สาขา	เคมีอุตสาหกรรม	
ปีการศึกษา	2550	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศศ.ดร.วันฉัตร ชื่นชม	
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	นายวราธรรม อุ๋นจิตติชัย	

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเบื้องต้นในการสังเคราะห์กาวจากกลีเซอรอลสำหรับแผ่นปาร์ติเกิ้ลจากหญ้าคา ชนิดความหนาแน่นปานกลาง (750 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ขนาด 25×25×1 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยนำหญ้าคาตากแห้งมาเข้าเครื่องบดละเอียด และทำการร่อนแยกขนาด เลือกใช้หญ้าคาที่มีขนาด 5-60 เมช มาใช้ในการผลิต จากนั้นทำการขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีอัดร้อน ที่ความดัน 170 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที โดยใช้กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ (Urea formaldehyde, UF) ปริมาณ 15% โดยน้ำหนักหญ้าคา และกาวสังเคราะห์จากกลีเซอรอลบริสุทธิ์ ซึ่งแบ่งเป็น 2 ชนิดคือ กาวสังเคราะห์พอลิเอเทอร์ (กาว E) และกาวสังเคราะห์พอลิเอเทอร์/พอลิเอสเทอร์ที่มีปริมาณกรดกลูตาลิก 6% 8% และ 10% โดยน้ำหนักกลีเซอรอล (กาว EES6 EES8 และ EES10 ตามลำดับ) ซึ่งใช้ปริมาณกาว 15% โดยน้ำหนักหญ้าคา นำแผ่นปาร์ติเกิ้ลจากหญ้าคาที่ได้มาทดสอบสมบัติต่างๆ คือ การบวมตัวของแผ่นปาร์ติเกิ้ล เมื่อคั่งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง การพองตัวเมื่อแช่น้ำ ความต้านทานแรงดึงดึงจากกับผิวหน้า ความต้านทานแรงดัด และมอดูลัสยืดหยุ่น พบว่าแผ่นปาร์ติเกิ้ลจากหญ้าคาที่ใช้กาว UF มีการยึดติดและมีสมบัติดีที่สุด ส่วนการใช้กาว EES ให้สมบัติที่ดีน้อยกว่า และขึ้นอยู่กับปริมาณกรดกลูตาลิก โดยที่กาว EES10 มีสมบัติดีกว่าการใช้กาว EES8 และ EES6 นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษารวบรวมการนำส่วนที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตไปโอดีเซลมาทำให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีอย่างง่าย โดยนำมาทำให้เป็นกลาง แล้วนำไปเข้าเครื่องระเหยสารแบบหมุนเหวี่ยง เพื่อกำจัดน้ำและเมทานอลออก นำสารที่ได้มาสกัดด้วยเฮกเซน แล้วนำไปกรองลดความดัน จะได้ตะกอนที่มีโครงสร้างของกลีเซอรอลอยู่ ซึ่งทราบได้จากการพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิคนิวเคลียร์-แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโคปี [Nuclear Magnetic Resonance (NMR)]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Thesis Title</b>	Preparation of Free-formaldehyde Adhesive from Glycerol for Particle Board	
<b>Student Names</b>	Miss Jutamas Wongjan	Code 47050056
	Miss Pattama Dechakorn	Code 47050074
	Miss Waraporn Chenkao	Code 47050085
<b>Department</b>	Chemistry	
<b>Program</b>	Industrial Chemistry	
<b>Academic Year</b>	2007	
<b>Special Project Advisor</b>	Asst.Prof.Dr.Vanehat Chuenchom	
<b>Special Project Co-advisor</b>	Mr.Woratham Oonjittichai	

### Abstract

This research involved a study to synthesize adhesive from glycerol for medium-density boards ( $750 \text{ kg/m}^3$ ) from cogon grass with a dimensional size of  $25 \times 25 \times 1$  cubic centimeters. First, cogon grass was dried and ground into small pieces using the hammer mill. Their particle size was selected by a sieve machine and the size of 5-60 mesh was used. The Particle boards were then formed by hot-press processing. Processing condition was the pressure of  $170 \text{ kg/cm}^2$ , temperature at  $150 \text{ }^\circ\text{C}$  and time for 20 minutes. Urea formaldehyde (UF) and the synthetic adhesives were used at 15% by weight of the cogon grass. The synthetic adhesives from pure glycerol can be classified into 2 types, polyether (adhesive E) and polyether/polyester with 6% 8% and 10% glutaric acid by weight of glycerol (Adhesive EES6, EES8 and EES10 ). The boards were tested for their properties including thickness swell, internal bond (IB), modulus of rupture (MOR) and modulus of elasticity (MOE). The result showed that cogon grass board using 15% of UF had the best adhesion and properties . The board using EES adhesive showed inferior properties. Depending on amount of glutaric acid, EES10 gave better properties than EES8 and EES6, respectively. Furthermore, the simple method to purify glycerol waste from the manufacture of biodiesel was attempted. It was first neutralized and evaporated using rotary vacuum evaporator to eliminate water and methanol. Then it was extracted with hexane followed by vacuum filtration. Finally, the obtained solid containing glycerol was characterized by Nuclear Magnetic Resonance (NMR) spectroscopy.

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี อันเนื่องมาจากได้รับความช่วยเหลือและคำแนะนำจากคณาจารย์และบุคคลหลายฝ่ายที่ทำให้โครงการพิเศษนี้มีความสมบูรณ์ ทางคณะผู้จัดทำโครงการพิเศษจึงขอกราบขอบพระคุณผู้ให้ความสนับสนุนดังรายนามต่อไปนี้

ผศ.ดร.วันฉัตร ชื่นชม ให้คำปรึกษา และเสียสละเวลาในการตรวจสอบแก้ไขเนื้อหาารูปเล่ม อีกทั้งยังให้ความเชื่อมั่นในคณะผู้จัดทำ ซึ่งเป็นกำลังใจอันล้ำค่าอย่างยิ่ง

นายวรรณธรรม อุ่นจิตติชัย นักวิชาการกรมป่าไม้ 8 งานอุตสาหกรรมวัสดุทดแทนไม้ อาจารย์ที่ปรึกษา ร่วมในโครงการพิเศษนี้ ที่ให้ทั้งความรู้และคำปรึกษาที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง และอำนวยความสะดวกในการดำเนินงานวิจัยที่กรมป่าไม้ รวมทั้งให้ความอนุเคราะห์ในเรื่องสถานที่ เครื่องมือ และสารเคมี ซึ่งทำให้คณะผู้จัดทำระลึกถึงอยู่เสมอ

ผศ.ดร.ภัทราวุธ มนต์วิเศษ และรศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด ที่สละเวลาเพื่อเป็นคณะกรรมการในการสอบ ให้ความเอาใจใส่ในการตรวจแก้ไข และให้คำแนะนำที่ดีมาโดยตลอด

ผศ.ดร.พัชณี เจริญยิ่ง ที่ให้ความรู้ คำแนะนำ และสละเวลาในการวิเคราะห์สารตัวอย่างด้วยเทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโคปีมา โดยตลอด

คณาจารย์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ให้ความรู้ คำแนะนำ และความภาคภูมิใจ

เจ้าหน้าที่งานอุตสาหกรรมวัสดุทดแทนไม้ สำนักวิจัยการจัดการป่าไม้และผลิตผลป่าไม้ กรมป่าไม้ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ โดยเฉพาะการทำงานกับเครื่องจักรที่มีความเสี่ยงต่ออันตราย และคำพูดที่ดูเหมือนเป็นคำธรรมดาแต่มีค่ามาโดยตลอด

เจ้าหน้าที่ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่อำนวยความสะดวกในด้านอุปกรณ์และสารเคมี

บิดาและมารดา ผู้เป็นแรงบันดาลใจและให้กำลังใจอยู่เบื้องหลังเสมอ ไม่ว่าสิ่งนั้นจะประสบความสำเร็จหรือไม่ก็ตาม

เพื่อนๆ และพี่ๆ ที่คอยให้กำลังใจ รับฟังปัญหาต่างๆ มากมาย และเป็นพจนานุกรมที่แปลความหมายของคำว่าเพื่อนและมิตรภาพได้อย่างชัดเจน

นางสาวจุฑามาศ วงษ์จันทร์

นางสาวปีธมา เดชากรณ์

นางสาววราภรณ์ เช่นขาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ช
สารบัญตาราง	ฉ
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	
1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	
2.1 แผ่นปาร์ติเกิ้ล	4
2.1.1 ชนิดของแผ่นปาร์ติเกิ้ล	4
2.2 หล้าคา	6
2.2.1 ลักษณะของหล้าคา	6
2.2.2 การกระจายพันธุ์	6
2.2.3 การปลูกและขยายพันธุ์	7
2.2.4 ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์	7
2.2.5 แหล่งหล้าคา	7
2.2.6 ฤดูกาลเก็บเกี่ยว	7
2.2.7 ลักษณะของความเสียหาย	7
2.2.8 การใช้ประโยชน์จากหล้าคา	8
2.3 กาว	8
2.3.1 ประเภทของกาวติดไม้	9
2.3.2 สมบัติของกาว	9
2.4 การยึดติด	10
2.4.1 ทฤษฎีและกลไกของการยึดติดกาว	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.2 สมบัติที่ทำให้เกิดการเกาะยึดระหว่างเส้นใยกับกาวได้ดี	14
2.4.3 การเกิดการแข็งตัวของกาว (Setting of adhesives)	15
2.5 กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ (Urea formaldehyde)	16
2.5.1 วัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิต	16
2.5.2 ปฏิกริยาในการสังเคราะห์ยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์	17
2.6 กลีเซอรอล (Glycerol)	18
2.6.1 ประโยชน์	18
2.7 กรดกลูตาลิก (Glutaric acid)	19
2.7.1 ประโยชน์	20
2.8 กรรมวิธีและขั้นตอนในการผลิตแผ่นปาร์ติเกิ้ล	20
2.8.1 การเตรียมชิ้นไม้	21
2.8.2 การอบชิ้นไม้	21
2.8.3 การตัดแยกชิ้นไม้	22
2.8.4 การผสม	23
2.8.5 การเตรียมแผ่นก่อนอัด	24
2.8.6 กรรมวิธีการอัด	25
2.8.7 การตัดริม การปรับความชื้น และการตกแต่งผิว	26
2.11 ปัจจัยที่มีผลต่อความแข็งแรงและความคงขนาดของแผ่นปาร์ติเกิ้ล	27
2.12 มาตรฐานอุตสาหกรรมและการกำหนดคุณภาพ	28
2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	29
<b>บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย</b>	
3.1 สารเคมี	32
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ	33
3.3 วิธีการทดลอง	33
3.3.1 การเตรียมกาว	33
3.3.2 การนำกลีเซอรอลที่เป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้จากกระบวนการผลิต ไบโอดีเซลมาทำให้บริสุทธิ์	34
3.3.3 การเตรียมวัตถุดิบ	34
3.3.4 การผลิตแผ่นปาร์ติเกิ้ล	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5 การผสมและพ่นกาว	37
3.3.6 การเตรียมแผ่นและการอัด	37
3.3.7 การตัดริม	38
3.3.8 การทดสอบ	38
<b>บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล</b>	
4.1 ผลการพิสูจน์เอกลักษณ์ของกาวสังเคราะห์พอลิเอทีเทอร์/พอลิเอสเทอร์	44
4.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของหุ้มกาว	49
4.3 การศึกษาผลการทดสอบการบวมตัวของแผ่นปาร์ติเกิ้ล เมื่อทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง	50
4.4 การศึกษาผลการทดสอบการพองตัวของเนื้อแผ่น (%Thickness swell)	52
4.5 การทดสอบหาความหนาแน่นและความชื้นของแผ่นปาร์ติเกิ้ล	55
4.5.1 การทดสอบหาความหนาแน่นของแผ่นปาร์ติเกิ้ล	53
4.5.2 การทดสอบหาความชื้นของแผ่นปาร์ติเกิ้ล	55
4.6 การศึกษาผลของการทดสอบสมบัติเชิงกล	55
4.6.1 ศึกษาชนิดของกาวที่มีผลต่อค่าความต้านทานแรงดัด (MOR)	55
4.6.2 ศึกษาชนิดของกาวที่มีผลต่อค่ามอดุลัสยืดหยุ่น (MOE)	57
4.6.3 ศึกษาชนิดของกาวที่มีผลต่อค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า (Internal Bond Strength)	57
4.7 ผลการวิเคราะห์การนำกลีเซอรอลที่เป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้จากกระบวนการผลิต ไบโอดีเซลมาทำให้บริสุทธิ์	59
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ</b>	
5.1 สรุปผลการวิจัย	63
5.2 ข้อเสนอแนะ	64
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	65
<b>ภาคผนวก ก</b> มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นขึ้นไม้ชนิดอัดราบ : ความหนาแน่นปานกลาง (มอก. 876-2532)	68
<b>ภาคผนวก ข</b> ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง	77

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ลักษณะของหย้าคา	6
รูปที่ 2.2 (ก) การยึดติดระหว่างพื้นผิวขรุขระของของแข็งสองชนิด สังเกตจุดสัมผัสเพียงเล็กน้อย ทำให้เกิดการยึดเกาะที่ไม่แข็งแรง (ข) มุมสัมผัส (Contact angle, $\theta$ ) และแรงตึงผิว (Surface tension, $\gamma$ ) ของหยดของเหลวบนพื้นผิวของแข็ง สัญลักษณ์ SV, SL และ LV แทนของแข็ง-ก๊าซ, ของแข็ง-ของเหลว และของเหลว-ก๊าซ ตามลำดับ	11
รูปที่ 2.3 กลไกการยึดเกาะชนิดต่างๆ (ก) อินเตอร์ดิฟฟิวชัน (Interdiffusion) (ข) แรงดึงดูดไฟฟ้าสถิตย์ (ค) แรงดึงดูดระหว่างประจุของ โมเลกุลที่มีประจุลบกับพื้นผิวที่มีประจุบวก (ง) พันธะเคมีเกิดระหว่างหมู่ Aบนพื้นผิวหนึ่งกับหมู่ B บนอีกพื้นผิวหนึ่ง และ (จ) การยึดเกาะเชิงกล (Mechanical interlocking)	13
รูปที่ 2.4 ปฏิริยาการเตรียมยูเรียพอร์มาลดีไฮด์ขั้นแรก	17
รูปที่ 2.5 ปฏิริยาการเตรียมยูเรียพอร์มาลดีไฮด์เรซินขั้นที่สอง	18
รูปที่ 3.1 เครื่องร่อนแยกขนาด 4 ระดับ (กรมป่าไม้)	35
รูปที่ 3.2 เครื่องวัดความชื้น SARTORIUS (กรมป่าไม้)	35
รูปที่ 3.3 อุปกรณ์สำหรับการผสมและการพ่นกาว (กรมป่าไม้)	37
รูปที่ 3.4 บล็อกแม่พิมพ์สำหรับโรยแผ่น (กรมป่าไม้)	38
รูปที่ 3.5 เครื่องอัดร่อน (กรมป่าไม้)	38
รูปที่ 3.6 การทดสอบความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า (กรมป่าไม้)	39
รูปที่ 3.7 การทดสอบความต้านทานแรงดัดและมอดูลัสยืดหยุ่น (กรมป่าไม้)	40
รูปที่ 3.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดกับการแอนตัว	41
รูปที่ 3.9 การทดสอบการพองตัวเมื่อแช่น้ำ (กรมป่าไม้)	42
รูปที่ 4.1 แสดงสมการการเกิดปฏิกิริยาของกาวสังเคราะห์พอลิเอทีเทอร์ (กาวE)	45
รูปที่ 4.2 แสดงการเกิดปฏิกิริยาของกาวสังเคราะห์พอลิเอทีเทอร์/พอลิเอสเทอร์ (กาว EES)	46
รูปที่ 4.3 แสดง <sup>1</sup> H-NMR สเปกตรัมของกาวสังเคราะห์พอลิเอทีเทอร์ ใน CD <sub>3</sub> OD	47
รูปที่ 4.4 แสดง <sup>1</sup> H-NMR สเปกตรัมของกาวสังเคราะห์พอลิเอทีเทอร์/พอลิเอสเทอร์ ที่มีปริมาณกลูตาติก 6% โดยน้ำหนักกลีเซอรอลใน CD <sub>3</sub> OD	47
รูปที่ 4.5 แสดง <sup>1</sup> H-NMR สเปกตรัมของกาวสังเคราะห์พอลิเอทีเทอร์/พอลิเอสเทอร์ ที่มีปริมาณกลูตาติก 8% โดยน้ำหนักกลีเซอรอลใน CD <sub>3</sub> OD	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.6 แสดง $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมของกาวสังเคราะห์พอลิเอทีเทอร์/พอลิเอสเทอร์ ที่มีปริมาณกรดกลูตาลิก 10% โดยน้ำหนักกลีเซอรอลใน $\text{CD}_3\text{OD}$	48
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการบวมตัวของแผ่นปาร์ติเกิ้ลที่ใช้กาวต่างชนิดกัน เมื่อทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง	50
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงการพองตัวเมื่อแช่น้ำของกาวสังเคราะห์พอลิเอทีเทอร์/พอลิเอสเทอร์ ที่มีปริมาณกรดกลูตาลิกต่างกัน	52
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงการพองตัวเมื่อแช่น้ำของแผ่นปาร์ติเกิ้ล เมื่อใช้กาวสังเคราะห์ พอลิเอทีเทอร์/พอลิเอสเทอร์ที่มีปริมาณ กรดกลูตาลิก 10% โดยน้ำหนักกลีเซอรอล เป็นตัวประสาน เปรียบเทียบกับ UF และมอก.	53
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความหนาแน่นของแผ่นปาร์ติเกิ้ลที่เตรียมได้	54
รูปที่ 4.11 แสดงช่องว่างภายในแผ่นปาร์ติเกิ้ลเมื่อใช้กาว UF และกาว EES10 เป็นตัวประสาน	54
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงปริมาณความชื้นของแผ่นปาร์ติเกิ้ลที่เตรียมได้	55
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงค่าความต้านทานแรงดึงของแผ่นปาร์ติเกิ้ล เมื่อใช้กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์และกาวสังเคราะห์พอลิเอทีเทอร์/พอลิเอสเทอร์ ที่มีกรดกลูตาลิก 10% โดยน้ำหนักเป็นตัวประสาน	56
รูปที่ 4.14 กราฟแสดงค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของแผ่นปาร์ติเกิ้ล เมื่อใช้กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ และกาวสังเคราะห์พอลิเอทีเทอร์/พอลิเอสเทอร์ที่มีกรดกลูตาลิก 10% โดยน้ำหนักกลีเซอรอล	57
รูปที่ 4.15 กราฟแสดงค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า (MPa) ของแผ่นปาร์ติเกิ้ล เมื่อใช้กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ และกาวสังเคราะห์พอลิเอทีเทอร์/พอลิเอสเทอร์ ที่มีกรดกลูตาลิก 10% เป็นตัวประสาน	58
รูปที่ 4.16 แสดง IR-สเปกตรัมของสาร A	59
รูปที่ 4.17 แสดง $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมของสาร B ใน $\text{CD}_3\text{OD}$	60
รูปที่ 4.18 แสดง $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมของสาร C ใน $\text{CDCl}_3$	61
รูปที่ 4.19 แสดง $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมของเมทิลเอสเทอร์ ใน $\text{CDCl}_3$	61
รูปที่ 4.20 แสดง $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมของสาร D ใน $\text{CD}_3\text{OD}$	62

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ลักษณะความหนาแน่นใช้จำแนกชนิดของแผ่นปาร์ติเกิ้ล	4
ตารางที่ 2.2 สมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของแผ่นปาร์ติเกิ้ลแบบอัดแนวราบ	29
ตารางที่ 3.1 แสดงสมบัติของแผ่นไม้และสภาวะที่กำหนดในการผลิตแผ่นปาร์ติเกิ้ล	36
ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของหญ้าคา	49
ตารางที่ 4.2 แสดงถึงอัตราส่วนโดยน้ำหนักของปริมาณคาร์บอนต่อออกซิเจน ที่ใช้ในการเตรียมกาวต่างชนิดกัน	51



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

ปัจจุบันนี้มีการนำเข้าแผ่นปาร์ติเกิ้ล (Particleboard) ที่ผลิตจากเศษไม้มาใช้งานต่างๆ เช่น ใช้ทำเป็น ไม้ใช้ในการผลิต ไม้อัด การผลิตประตูพื้นเรียบ ใช้ทำไม้พื้นประตู ใช้ทำเฟอร์นิเจอร์ ใช้ทำตู้เครื่องเสียงต่างๆ ที่ใช้ในอาคาร บ้านเรือนหรือสำนักงาน บุฝาทำผนังกันหรือฉากกันห้อง กรรมวิธีแผ่นปาร์ติเกิ้ลได้วิวัฒนาการ ไปไกลมาก มีระบบ ต่างๆ มากมาย แต่ละระบบต่างมีกรรมวิธีที่ใช้ในการผลิตที่แตกต่างออกไป แต่อย่างไรก็ตาม กรรมวิธีต่างๆ นั้น มีขั้นตอนที่สำคัญๆ คล้ายคลึงกัน ไม่ว่าจะเป็นแผ่นปาร์ติเกิ้ลที่ทำจากไม้ หรือกากของผลผลิต ทางการเกษตรต่างๆ [1-2] โดยแผ่นปาร์ติเกิ้ลส่วนใหญ่จะใช้กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ (Urea formaldehyde, UF) เป็นตัวประสาน [3] ในปี 2545 แผ่นปาร์ติเกิ้ลที่ใช้กาว UF เป็นตัวประสานมีกำลังการผลิต 40.5% (498,000 ลูกบาศก์เมตรต่อปี) ของกำลังการผลิตแผ่นปาร์ติเกิ้ลรวมทั้งประเทศ (1,230,000 ลูกบาศก์เมตรต่อปี) และต้นปี 2547 มีกำลังการผลิตแผ่นปาร์ติเกิ้ลที่ใช้กาว UF เป็นตัวประสานเพิ่มขึ้นเป็น 948,000 ลูกบาศก์เมตรต่อปี (56.4% ของกำลังผลิตทั่วประเทศ) ซึ่งทำให้การใช้กาว UF เพิ่มขึ้นด้วย [4] กาว UF มีสมบัติในการยึดติดที่ดี ราคาถูก แต่เมื่อใช้ไปนานๆ จะเกิดการออกซิเดชันและปล่อยสารที่เป็นพิษออกมา ซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพ ได้แก่ เป็นสาร ก่อมะเร็ง ทำลายระบบประสาทส่วนกลางและระบบการหายใจ เป็นสาเหตุของโรคมุมิแพ้ต่างๆ [5] ส่งผลให้มีการพัฒนา กาวขึ้นมาใหม่ เพื่อใช้ทดแทนกาว UF

จากวิกฤติการณ์ด้านราคาน้ำมันปิโตรเลียมที่พุ่งขึ้นอย่างต่อเนื่อง กระทรวงพลังงานได้จัดทำแผนการ พัฒนาและส่งเสริมการผลิตและการใช้ไบโอดีเซล มีการผลักดันให้เปิดสถานีนบริการไบโอดีเซลจำนวน 200 สถานีนภายในปี 2549 และมีนโยบายส่งเสริมให้เกิดไบโอดีเซลชุมชน 70 ชุมชนภายในสิ้นปี 2549 ซึ่งจะมีกำลัง ผลิตรวม 7,000-21,000 ลิตรต่อวัน [6] รวมทั้งการผลิตไบโอดีเซล (ในรูปเมทิลเอสเทอร์) จากน้ำมันปาล์ม ผลิตภัณฑ์พลอยได้ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลคือ กลีเซอรอล ก็จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามกำลังการผลิต ไบโอดีเซลที่เพิ่มขึ้น แต่เนื่องจากกลีเซอรอลที่ได้มีความบริสุทธิ์ค่อนข้าง ต่ำ และการทำให้กลีเซอรอลบริสุทธิ์นั้นต้องผ่านกระบวนการกลั่นที่ค่อนข้างยุ่งยาก จึงทำให้มีต้นทุนสูงใน การกลั่น แต่ถ้าสามารถทำให้กลีเซอรอลบริสุทธิ์ได้ จะสามารถนำกลีเซอรอลไปใช้ประโยชน์ได้หลายทาง เช่น การผลิตยา อาหาร เครื่องดื่ม และใช้เป็นสารในการผลิตยาสีฟัน ครีมหาผิว เป็นต้น

โครงการพิเศษนี้จึงมีความสนใจที่จะศึกษาการนำกลีเซอรอลมาใช้ในการเตรียมกาว โดยแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ กาวสังเคราะห์พอลิเอเทอร์ (กาว E) ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบควบแน่น (Condensation polymerisation) ของกลีเซอรอล โดยมีกรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และกาวสังเคราะห์พอลิเอเทอร์/พอลิเอส-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทอร์ (กาว EES) ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบควบแน่นระหว่างกลีเซอรอลกับกรดกลูตาลิก โดยมีกรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และทำการศึกษาการเตรียมแผ่นปาร์ติเกิ้ลจากหญ้าคา ซึ่งเป็นวัชพืชที่มีอยู่มากหาง่าย เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ประกอบกับโครงสร้างที่เป็นสารประกอบอินทรีย์ เช่น เซลลูโลส ซึ่งมีสภาพการนำความร้อนต่ำ โดยใช้กาวทั้ง 2 ชนิดดังกล่าวเป็นตัวประสาน เปรียบเทียบกับกาว UF ที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน โดยเปรียบเทียบสมบัติต่างๆ ได้แก่ สมบัติความต้านทานแรงดัด มอดูลัสยืดหยุ่น ความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า และการพองตัวเมื่อแช่น้ำของแผ่นปาร์ติเกิ้ลที่ใช้กาวทั้ง 2 ที่เตรียมได้กับกาว UF

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตกาวสำหรับแผ่นปาร์ติเกิ้ลโดยใช้กลีเซอรอลเป็นวัตถุดิบ
2. เพื่อศึกษาสมบัติเชิงกลและสมบัติทางกายภาพของแผ่นปาร์ติเกิ้ลที่ใช้กาวจากกลีเซอรอลเป็นตัวประสาน
3. เปรียบเทียบสมบัติระหว่างแผ่นปาร์ติเกิ้ลที่ใช้กาว UF และกาวจากกลีเซอรอลเป็นตัวประสาน
4. เพื่อศึกษาวิธีอย่างง่ายในการนำกลีเซอรอลซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลมาทำให้บริสุทธิ์

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย และวิธีการดำเนินงาน

### 1.3.1 การผลิตแผ่นปาร์ติเกิ้ล

1. เตรียมกาวสังเคราะห์พอลิเอเทอร์ (กาว E) จากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบควบแน่นของกลีเซอรอล โดยมีกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 98% เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
2. ทดสอบความสามารถในการละลายน้ำของกาว E ที่เตรียมได้
3. เตรียมวัตถุดิบในการทำแผ่นปาร์ติเกิ้ล โดยนำหญ้าคามาคากแดด บดหยาบ และทำการร่อนแยกขนาด โดยเลือกใช้อนุภาคที่ได้ปริมาณมากที่สุด
4. เตรียมแผ่นปาร์ติเกิ้ลจากหญ้าคาด้วยกรรมวิธีการอัดร้อน ใช้กาว UF และกาว E โดยเตรียมกาวทั้ง 2 ชนิด ให้มีความหนืดอยู่ในช่วง 160-170 cP
5. ทดสอบการบวมตัวเมื่อทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องของแผ่นปาร์ติเกิ้ลที่ใช้กาว UF และกาว E แล้วนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกัน
6. เตรียมกาวสังเคราะห์พอลิเอเทอร์/พอลิเอสเทอร์ (กาว EES) จากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบควบแน่นของกลีเซอรอลกับกรดกลูตาลิก (6% 8% และ 10% โดยน้ำหนักกลีเซอรอล) โดยมีกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 98% เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. นำกาว EES ที่สังเคราะห์ได้มาพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์-สเปกโทรสโกปี
8. ทดสอบความสามารถในการละลายน้ำของกาว EES ที่เตรียมได้
9. เตรียมแผ่นปาร์ติเกิ้ลจากหญ้าคาด้วยกรรมวิธีการอัดร้อน โดยใช้กาว EES ที่มีความหนืดอยู่ในช่วง 160-170 cP
10. ทดสอบการบวมตัวเมื่อทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องของแผ่นปาร์ติเกิ้ลที่ใช้กาว EES ที่ใส่กรดกลูตอลิก 6% 8% และ 10% (กาว EES6 EES8 และ EES10 ตามลำดับ) แล้วเปรียบเทียบค่าที่วัดได้
11. ทดสอบความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า ความต้านทานแรงดัด โมดูลัสยืดหยุ่น และการพองตัวเมื่อแช่น้ำของแผ่นปาร์ติเกิ้ลที่ใช้กาวจากกลีเซอรอลแล้วบวมตัวน้อยที่สุด เปรียบเทียบกับแผ่นปาร์ติเกิ้ลที่ใช้กาว UF

### 1.3.2 การนำกลีเซอรอลที่เป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลมาทำให้บริสุทธิ์

1. นำส่วนเหลือทิ้งของกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม ที่ใช้สถานะในการสังเคราะห์ คือ ใช้เมทานอลต่อน้ำมันปาล์มเท่ากับ 6:1 และใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง มาแยกกลีเซอรอล
2. นำกลีเซอรอลที่ได้ไปพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปี

## 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถผลิตกาวที่ใช้อัดแผ่นปาร์ติเกิ้ลจากกลีเซอรอล ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล
2. สามารถนำกลีเซอรอลที่เป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลมาทำให้บริสุทธิ์พอที่จะใช้ในการผลิตกาวได้ด้วยวิธีอย่างง่าย

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 แผ่นปาร์ติเกิ้ล

แผ่นปาร์ติเกิ้ล (Particleboard) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่เป็นแผ่นทำจากชิ้นไม้หรือวัสดุลิกโนเซลลูโลส (Lignocelulosic materials) อื่นๆ อัดในเครื่องอัดร้อนให้ยึดติดกันด้วยกาวให้ทิศทางของแรงอัดตั้งฉากกับระนาบของแผ่น การทำอาจทำเป็นแผ่นๆ หรือทำต่อเนื่อง ชิ้นไม้ส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับขนาดของแผ่น แผ่นไม้อัดอาจทำให้มีลักษณะโครงสร้างเป็นชั้นเดียว สามชั้น หลายชั้น หรือโครงสร้างที่มีชิ้นไม้ขนาดลดหลั่นกันก็ได้ มีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 500 ถึง 800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร [7]

จากการศึกษาพบว่า การทำแผ่นปาร์ติเกิ้ลมีการใช้ไม้หรือเศษวัสดุที่ให้เส้นใย ซึ่งประกอบด้วยไม้ประมาณ 90% กาว และสารกันชื้น แผ่นชิ้นไม้อัดคุณภาพดีนอกจากจะขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ทำเป็นไม้หรือวัสดุเส้นใยที่ทำเป็นไม้แล้ว ยังจะต้องมีการปรับปรุงให้เหมาะสม ในขั้นตอนการผลิตจะต้องใช้กาวและสารเคลือบกันชื้นที่มีคุณภาพดี ซึ่งก็เป็นส่วนสำคัญอย่างยิ่งในการทำแผ่นชิ้นไม้อัด [8]

##### 2.1.1 ชนิดของแผ่นปาร์ติเกิ้ล [9]

การแบ่งแผ่นปาร์ติเกิ้ลแบ่งออกได้หลายชนิด แต่ละชนิดจะถูกเรียกชื่อต่างกันไป สามารถสรุปหลักเกณฑ์ชนิดของแผ่นปาร์ติเกิ้ลได้ดังนี้

##### 2.1.1.1 ลักษณะความหนาแน่น ใช้จำแนกชนิดของแผ่นปาร์ติเกิ้ล โดยดูจากตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ลักษณะความหนาแน่นใช้จำแนกชนิดของแผ่นปาร์ติเกิ้ล [9]

Type of Particleboard	Density (kg/m <sup>3</sup> )		
		FAQ1957	CS 236-66
Low-density ( Insulating type)	250-400	590	-
Medium-density	400-800	590-800	500-800
High-density (Hardboard type)	810-1200	800	-

ที่มา: อุตสาหกรรมการผลิตแผ่นชิ้นไม้อัด หน้า 18 : 2541

2.1.1.2 ลักษณะของชิ้นไม้ที่ผลิต ชิ้นไม้ที่นำมาผลิตแผ่นปาร์ติเกิ้ลมีลักษณะที่แตกต่างกัน และถูกย่อยด้วยเครื่องจักรต่างกัน เช่น ชิปหรือชิ้นไม้สับ (Chips) เกล็ด (Flake) เกล็ดใหญ่ (Wafer) แกลบ (Strand) ชีบก

(Planer shaving) แท่ง (Splinter silver) ฝอยไม้ (Wood wool or excelsior) เป็นต้น แผ่นชั้นไม้จะถูกเรียกชื่อตาม ชั้นไม้นั้นๆ เช่น Chip board, Flake board และ Shaving board เป็นต้น

2.1.1.3 กรรมวิธีการผลิต ต้องนำชั้นไม้ไปผสมตัวประสานและสารเติมแต่งอื่นๆ ก่อน แล้วนำไปทำเป็น แผ่นเตรียมอัด (Form mat) เพื่อทำการอัดร้อน เราจะใช้แรงอัดในการอัดร้อน 2 ทิศทาง ในกรณีใช้แรงอัดทิศทาง ตั้งฉากกับระนาบของแผ่นเรียกแผ่นปาร์ติเกิ้ลนี้ว่า Flat-planet pressed particleboard หากใช้แรงอัดขนานกับ ระนาบความยาวของแผ่นเรียกแผ่นปาร์ติเกิ้ลนี้ว่า Extruded particleboard เช่น แผ่นช่วยให้กาวแข็งตัวเร็ว มีรูป กลมยาวกลางแผ่นชั้นไม้อัด

2.1.1.4 ลักษณะโครงสร้างของแผ่น แบ่งตามการกระจายตัวของขนาดชั้นไม้ทางด้านความหนา มี 3 ชนิด คือ

(1) แผ่นปาร์ติเกิ้ลชั้นเดียว (Single layer or homogenous particleboard) เป็นแผ่นปาร์ติเกิ้ลที่มีขนาด และลักษณะเหมือนกัน มีส่วนผสมอย่างเดียวกัน

(2) แผ่นปาร์ติเกิ้ล 3 ชั้น (Three layer particleboard) เป็นแผ่นชั้นไม้ซึ่งในแต่ละชั้นประกอบด้วยขนาด ของไม้และลักษณะของไม้ ตลอดจนส่วนผสมของกาวเหมือนกัน โดยปกติผิวหน้าและผิวหลังใช้ชั้นไม้ขนาด เล็กและบาง ส่วนชั้นไม้ที่ใช้ไม้ที่หยาบและใหญ่กว่า กาวที่ใช้ผสมในชั้นผิวหน้าและชั้นผิวหลังมักมีมากกว่าใน ชั้นไม้ เพื่อให้เกิดโครงสร้างที่สมดุลกัน

(3) แผ่นปาร์ติเกิ้ลขนาดลดหลั่นกัน (Graduated particleboard) เป็นแผ่นปาร์ติเกิ้ลทำจากชั้นไม้ขนาด แตกต่างกัน โครงสร้างโดยรวมของแผ่นไม้ประกอบด้วยชั้นไม้ที่มีขนาดใหญ่และหยาบ อยู่ตรงแนวกลางแผ่น ตลอดจนความหนาจากแนวกลางแผ่น ชั้นไม้จะมีขนาดลดหลั่นเล็กไปหาผิวทั้งสองด้าน โดยไม่มีการแบ่งชั้น

2.1.1.5 ลักษณะการใช้ประโยชน์ จะถูกเรียกชื่อตามลักษณะการใช้ประโยชน์ ได้แก่

(1) แผ่นปาร์ติเกิ้ลที่ใช้ภายในอาคาร (Interior particleboard) เป็นแผ่นปาร์ติเกิ้ลที่มีการผลิตมาก ใช้กาวยูเรียเมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์เป็นตัวประสานชั้นไม้ ใช้ในงานที่มีความคงทนปานกลาง อาทิ ผนังห้อง ฝ้าเพดาน และชั้นส่วนเฟอร์นิเจอร์

(2) แผ่นปาร์ติเกิ้ลที่ใช้ภายนอกอาคาร (Exterior particleboard) มีความคงทนต่อสภาพแวดล้อมสูง ใช้กาวฟีนอล-ฟอร์มาลดีไฮด์ กาวเมลามีน-ฟอร์มาลดีไฮด์ และกาวไอโซไซยานต เป็นตัวประสานชั้นไม้

(3) แผ่นปาร์ติเกิ้ลสำหรับปูรองพื้น (Particleboard floor underlayment) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตเป็นแผ่น สี่เหลี่ยมจะต้องมีการขัดกระดาษทราย เพื่อให้มีความหนาแน่นสม่ำเสมอ สามารถใช้วัสดุอื่นปูพื้นได้ระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

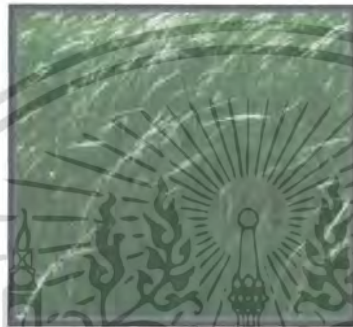
## 2.2 หญ้าคา [10]

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Imperata cylindrica* (L.)P. Beauv.

ชื่ออื่น : *I. arundinacea* Cyr.

ชื่อสามัญ : Lalang, cogon grass

วงศ์ : Poaceae



รูปที่ 2.1 ลักษณะของหญ้าคา [19]

### 2.2.1 ลักษณะของหญ้าคา

**ต้น** เป็นพุ่มไม้ล้มลุกจำพวกเดียวกับหญ้า มีเหง้าอยู่ใต้ดิน ลำต้นอยู่เหนือดิน มีความสูงประมาณ 1-4.5 ฟุต

**ใบ** ลักษณะของใบออกเป็นกระจุกตามบริเวณโคนต้น ใบมีรูปหอกเรียวยาว ริมขอบใบคม มีขนเป็นกระจุก ใบมีขนาดยาว 100-200 เซนติเมตร

**ดอก** ออกเป็นช่อหรือพู่ มีลักษณะคล้ายกับหางกระรอกขึ้นอยู่บริเวณกลางกอ ช่อดอกยาวประมาณ 2-10 นิ้ว มีดอกเรียงสลับกัน

**ผล** มีลักษณะรูปร่างเป็นรูปร่างคล้ายๆ กับเมล็ด

**เมล็ด** มีลักษณะเป็นเมล็ดที่ยาว แหลม แข็ง เป็นสีเทาออกดำๆ

### 2.2.2 การกระจายพันธุ์

พบทั่วไปในประเทศไทย ขึ้นในดินทุกชนิด ทนต่อความร้อน พบทั้งในพีชไร์ พีชสวน และพื้นที่รกร้างว่างเปล่า เจริญเติบโตได้ดีทั้งในที่ดินแห้งและดินชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.3 การปลูกและขยายพันธุ์

ปลูกโดยการใส่เมล็ดหรือไหล ปลูกง่ายมาก ไม่ต้องการบำรุงรักษาแต่อย่างใด ไม่มีการส่งเสริมให้ปลูก ขยายพันธุ์โดยใช้เหง้าใต้ดิน เป็นวัชพืชที่เจริญได้ดีในธรรมชาติ และพบอยู่ทั่วไปจนเป็นปัญหาในการทำลาย

### 2.2.4 ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ [11]

จากการวิเคราะห์พบว่า หญ้าคามิ Arundoin Cylindrin กรดอินทรีย์ น้ำตาล ไม่มีพิษเฉียบพลัน จากวารสารมีรายงานว่า ในประเทศจีนและอินโดนีเซียใช้เป็นยาขับปัสสาวะ

### 2.2.5 แหล่งหญ้าคา [12]

จากการสำรวจและสอบถามผู้มีอาชีพทำหญ้าคาจำหน่าย ทราบว่าพื้นที่แหล่งของหญ้าคาจะมีเป็นหย่อมๆ โดยเฉพาะเป็นพื้นที่ที่ผ่านการเผาไหม้จากไฟป่า ไร่ร้าง และในพื้นที่ของสวนป่า โดยตั้งแต่เขตพื้นที่ศาลเจ้าอำเภอ กาบเชิง ตำบลแมงมุด และกิ่งอำเภอพนมดงรักไปจรดอำเภอบ้านกรวดจังหวัดบุรีรัมย์ ซึ่งมีพื้นที่หลายหมื่นไร่

### 2.2.6 ฤดูกาลเก็บเกี่ยว

ตั้งแต่เดือนตุลาคม (หลังออกพรรษา) ถึงเดือนเมษายน (หลังสงกรานต์) ถือเป็นระยะที่หญ้าคาเจริญ สมบูรณ์ได้ดีที่สุด เหมาะที่จะเก็บเกี่ยวนำมาไฟหญ้า และภายในหนึ่งปีเก็บเกี่ยวได้หนึ่งครั้ง ขบวนการเก็บเกี่ยว หญ้าคามิดังนี้

1. เกี่ยวหญ้า พร้อมคัดขนาดของความยาวหญ้า เพื่อให้ได้ขนาดตามความต้องการของตลาดและสามารถไฟหญ้าได้
2. ตากหญ้า โดยตากไว้ประมาณ 3-5 วัน จะทำให้แห้งและสามารถมัดได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ
3. กู่หญ้า หลังจากผ่านกระบวนการตามข้อ 2 และมีความแห้งพอดีก็จะมีกรรมมัดรวมกองไว้ เมื่อได้ ปริมาณที่มากพอแล้วก็จะมีการขนส่งออกมาจากพื้นที่
4. การไฟหญ้า โดยนำหญ้าตามข้อ 3 มาไฟ โดยมากใช้ดินอ้อยเป็นแกน และเอาหญ้านางเป็นตัวถัก และกระบวนการนี้จะนำมาดำเนินการที่บ้าน ที่อยู่อาศัยเพื่อง่ายในการจัดส่งตลาด และค้าขาย

### 2.2.7 ลักษณะของความเสียหาย [10]

แก่งแย่งธาตุอาหารและน้ำกับพืชปลูก ปลูกปล่อยสารธรรมชาติบางชนิดที่มีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของ พืชอื่น

แหล่งอาศัยของศัตรูพืช

แมลง ตั๊กแตน Polyphagous

โรคพืช โรคสนิมเหล็ก (Puccinia refulgens)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การป้องกันกำจัด

- การตัดปีละ 2-3 ครั้ง ควรตัดก่อนวัชพืชออกดอก
- ใช้วัสดุคลุม เช่น เศษซากวัชพืช
- ปลูกพืชคลุม เช่น ถั่วต่างๆ
- ใช้สารกำจัดวัชพืช สารไกลโฟเสต กลูโฟซิเนต-แอมโมเนียมหรือพาราควอต อัตรา 240 120 และ 160 กรัมของสารออกฤทธิ์ต่อไร่ตามลำดับ เพื่อกำจัดวัชพืชที่เริ่มงอกหรือหลังจากวัชพืชงอกแล้วในระยะกำลังเจริญเติบโต

### 2.2.8 การใช้ประโยชน์จากหญ้าคา

ในประเทศไทยส่วนมากได้มีการใช้ประโยชน์จากหญ้าคาใน 2 ด้าน คือ การนำมาทำที่อยู่อาศัย และนำมาใช้เป็นสมุนไพร ซึ่งได้มีการนำส่วนต่างๆ ของหญ้าคามาใช้ประโยชน์ดังนี้

ใบ ใช้ทำหลังคาบ้าน โดยใช้ใบแห้งมาสานไว้มุงหลังคาบ้านเรือน ใช้เป็นสมุนไพรโดยนำมาต้มแก้ลมพิษ ผื่นคัน

ดอกแก่ รสจืด ขับปัสสาวะ แก้ศิษาน บำรุงไต

ราก รสจืด ขับปัสสาวะ แก้กระเพาะปัสสาวะอักเสบ แก้ร้อนใน กระหายน้ำ

### 2.3 กาว (Adhesive) [13]

สารเคมีอีกประเภทหนึ่งที่อยู่ใกล้ตัวเราและจำเป็นต้องพึ่งพา โดยนำมาใช้ประโยชน์ในการประกอบกิจการงานต่างๆ คือ กาว ซึ่งหมายถึงสารที่ใช้สำหรับยึดเหนี่ยวผิวหน้าของวัสดุสองชิ้นให้สามารถยึดติดกันได้ โดยมีความแข็งแรงของวัสดุที่เชื่อมยึดกันเพียงพอต่อการนำไปใช้ประโยชน์ในงานต่างๆ ตามต้องการ แม้ว่าในบางครั้งเราอาจจะไม่ได้เป็นผู้ที่ต้องใช้กาวในการปฏิบัติงานโดยตรง แต่ก็เป็นผู้ใช้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่เป็นผลผลิตจากความจำเป็นในการใช้กาวเป็นสารเชื่อมยึดประกอบขึ้นมา ได้แก่ เครื่องใช้ในสำนักงาน เครื่องเรือน วัสดุก่อสร้าง เป็นต้น ผลิตภัณฑ์ไม้ต่างๆ เป็นผลิตภัณฑ์อีกชนิดหนึ่งที่ต้องใช้กาวในการยึดติดเป็นส่วนใหญ่ เช่น เครื่องเรือนไม้ ทั้งประเภทเครื่องเรือนจากไม้จริง (Solid wood) และจากไม้ประกอบ (Wood composites) โดยเฉพาะอย่างยิ่งไม้ประกอบ เช่น แผ่นชั้นไม้อัด แผ่นใยไม้อัด แผ่นไม้อัด แผ่นไม้บางประสาน และไม้ประสาน เป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องใช้กาวมากที่สุด

ในอดีตเริ่มใช้กาวที่ทำจากโคลน มูลสัตว์ แล้วพัฒนาเป็นกาวจากเล็บเท้าสัตว์ เขา กระดุกสัตว์ กระดุกปลา กาวพืชพวกแป้ง กาวหนัง กาวเลือด กาวนม และพวกยาง (เรซิน) จากธรรมชาติ เช่น ยางสน (Resin) ยางไม้ (Gum) แคลแล็กซ์ โดยนำมาละลายในแอลกอฮอล์ใช้แทนกาว และทำเป็นแล็กเกอร์ตกแต่งผิว ป้องกันผิว จนมาปัจจุบันมีการใช้น้อยลงจนเกือบไม่มีการใช้กาวธรรมชาติแล้ว เพราะมีการผลิตกาวสังเคราะห์ กาวสังเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรกๆ เกิดจากการพัฒนาพลาสติกโฟล-ฟอร์มัลดีไฮด์ที่เรียกว่า Bakelite กาวสัตว์ต่างๆ มีการใช้จนถึงปี ค.ศ.1930 เมื่อกาว UF เริ่มถูกพัฒนามาทดแทน หลังจากมีการพัฒนาทาร์และเมลามีนขึ้นก็เกิดการพัฒนากาวขึ้นมาอย่างมากสำหรับงานไม้ทุกๆ การใช้งาน

### 2.3.1 ประเภทของกาวติดไม้

กาวสังเคราะห์ที่ใช้ในงานไม้แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ

2.3.1.1 กาวเรซินชนิดแข็งตัวเมื่อร้อน (Thermo-setting resins) เป็นกาวเรซินที่แข็งตัวโดยการทำปฏิกิริยาทางเคมี เกิดเป็น โมเลกุลที่มีโครงสร้างสามมิติ กลายสภาพเป็นของแข็งในเวลาเดียวกันกับเกิดการยึดติดกับไม้ จึงแปรสภาพเป็นแผ่นแข็งที่ไม่สามารถหลอมละลายได้อีก กาวชนิดนี้แบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่ม

- 1) กาวเรซินชนิดที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างฟอร์มัลดีไฮด์กับยูเรีย เมลามีน ฟีนอลหรือสารอื่น
- 2) กาวชนิดที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาแทนนินกับฟีนอลหรือฟอร์มัลดีไฮด์
- 3) กาวเรซินชนิดไอโซไซยานต
- 4) กาวอีพอกซี

2.3.1.2 กาวเรซินชนิดอ่อนตัวเมื่อร้อน (Thermo-plastic resins) หรือร้อนเหลว (Hot-melts) ต้องให้ความร้อนจึงกลายเป็นสารยึดติดเมื่อเย็น

2.3.1.3 กาวอีกประเภทหนึ่ง ที่เรียกว่ากาวติดสัมผัส (Contact adhesives) เป็นกาวที่ประกอบด้วยสารละลายของยางธรรมชาติหรือยางสังเคราะห์ ซึ่งจะแปรสภาพเกิดการยึดติดเมื่อระเหยสารทำละลาย (Solvent) เป็นกาวที่มีการใช้น้อยในงานไม้ แต่ใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับงานตกแต่งหุ้มเบาะเครื่องเรือน

### 2.3.2 สมบัติของกาว

- 1) ค่ามอดูลัสแรงเฉือนสูงกว่า 3450 เมกะปาสคาล
- 2) อุณหภูมิของจุดหลอมหรือจุดอ่อนตัวสูงกว่า 300 องศาเซลเซียส
- 3) ค่าแรงดึงสูงกว่า 690 เมกะปาสคาล
- 4) ค่าของการยึดตัวสูงกว่า 15%
- 5) มีความต้านทานต่อการพองตัวสูง
- 6) สามารถทนต่อความร้อนและสภาวะแวดล้อมได้ที่อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 300 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 การยึดติด (Adhesion) [14]

การยึดติดเป็นสภาวะที่ผิวหน้าของวัตถุ 2 พื้นผิวเชื่อมยึดกันด้วยแรงที่เกิดขึ้นระหว่างผิวหน้า (Interfacial forces) นั้นๆ ซึ่งอาจจะเป็นแรงที่อยู่ระดับพลังงานนอกสุดของโครงสร้างพื้นผิว (Valance forces) หรือการเกาะเกี่ยวเชิงกลระหว่างผิว (Interlocking action) หรือทั้งสองกรณีร่วมกันทั้ง 2 แบบ คือ

1. การยึดติดเชิงกล (Mechanical adhesion) เป็นการยึดติดระหว่างผิวหน้า ที่มีกาวยึดติดส่วนต่างๆ ไว้ โดยการเกาะเกี่ยว (Interlocking action)

2. การยึดติดจำเพาะ (Specific adhesion) เป็นการยึดติดระหว่างผิว ซึ่งยึดกันไว้ด้วยแรงที่อยู่ ณ ระดับพลังงานนอกสุดของโครงสร้างผิว

### 2.4.1 ทฤษฎีและกลไกของการยึดติดกาว [15]

ในวัสดุคอมโพสิต เมทริกซ์สามารถยึดเกาะกับเส้นใยที่อินเตอร์เฟสได้หลายวิธี กลไกการยึดเกาะหลักๆ ที่อินเตอร์เฟสของวัสดุคอมโพสิตมี 5 กลไก ซึ่งอาจเกิดอย่างใดอย่างหนึ่งหรือเกิดร่วมกัน ดังนี้

#### 1. การดูดซับและการเปียก (Adsorption and Wetting)

เมื่อพื้นผิวสองพื้นผิวไม่มีประจุไฟฟ้าอยู่ใกล้กันมากพอ จะเกิด “แรงดึงดูดเชิงกล” (Physical attraction) เช่น การเปียก (Wetting) ของของเหลวบนพื้นผิวของแข็ง ในกรณีของของแข็งสองชนิดอยู่ใกล้ชิดกันมากถึงระดับจุลภาค (ไมครอน) หรือระดับอะตอม ความขรุขระ (Roughness) ของพื้นผิวจะเป็นสิ่งขัดขวางไม่ให้เกิดการยึดเกาะหรือสัมผัส จะมีเพียงบางตำแหน่งเท่านั้นที่สามารถสัมผัสกันได้ดังแสดงในรูป 2.2 (ก) ในกรณีของเหลวบนผิวของแข็งสามารถเกิดการเปียกได้ง่าย การเปียกจะเกิดมากหรือน้อยแสดงได้โดยใช้ “มุมสัมผัส” (Contact angle,  $\theta$ ) แสดงดังรูปที่ 2.2 (ข) ถ้าของเหลวมีความสามารถในการเปียก (Wettability) บนพื้นผิวของแข็งดีของเหลวชอบที่สัมผัสกับพื้นผิวของแข็งเกิดการแผ่กระจายบนผิวของแข็ง ทำให้มีค่ามุมสัมผัส  $\theta$  น้อย ในทางตรงข้ามถ้าวัสดุมีความสามารถในการเปียกต่ำ ของเหลวไม่ชอบสัมผัสกับของแข็งเป็นผลให้มีค่ามุมสัมผัส  $\theta$  มาก สมบัติการเปียกของของเหลวบนพื้นผิวของแข็ง สามารถแสดงในรูปสมการง่ายๆ ของดูปรี (Dupré equation) แสดงงานของการยึดเกาะ (Work of adhesion,  $W_A$ ) ของของเหลวบนของแข็งดังนี้

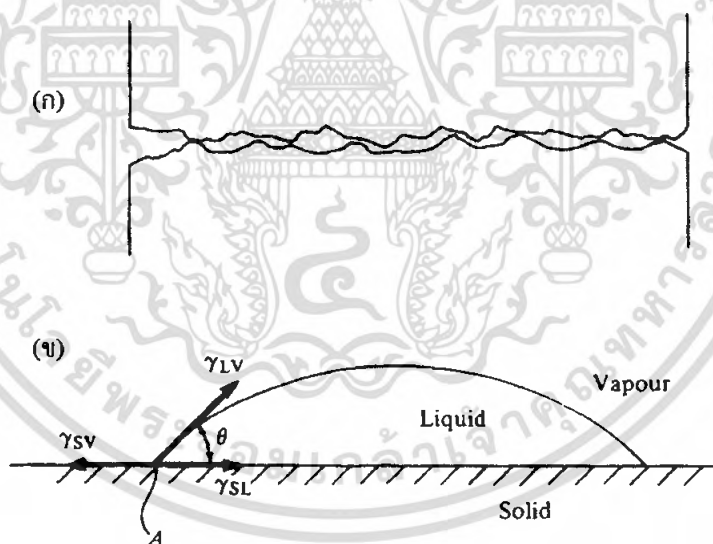
$$W_A = \gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_{12} \quad (2.1)$$

เมื่อ  $\gamma_1$  และ  $\gamma_2$  คือค่าพลังงานพื้นผิวอิสระ (Surface free energy) ของของเหลวและของแข็งตามลำดับ  $\gamma_{12}$  คือค่าพลังงานพื้นผิวอิสระของอินเตอร์เฟสระหว่างของเหลวและของแข็ง สมการนี้สามารถโยงให้สัมพันธ์กับกรณีของหยดของเหลวบนผิวของแข็งดังรูป โดยใช้สมการของยัง (Young equation) ทำสมมูลของแรงกระทำที่จุด “A” ตามแนวระนาบ สามารถเขียนสมการในรูป

$$\gamma_{sv} = \gamma_{sl} + \gamma_{lv} \cos \theta \quad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $\gamma_{SV}$ ,  $\gamma_{SL}$  และ  $\gamma_{LV}$  คือ ค่าพลังงานพื้นผิวอิสระ (Surface free energy) หรือแรงตึงผิว (Surface tension) ของอินเตอร์เฟซระหว่างของแข็ง-ก๊าซ ของแข็ง-ของเหลว และของเหลว-ก๊าซ ตามลำดับ และ  $\theta$  คือค่ามุมสัมผัส (Contact angle) พื้นผิวของแข็งจะทำการวัดค่าแรงตึงผิวได้ยาก ในขณะที่เราสามารถทำการทดลองวัดค่าแรงตึงผิวของเหลวได้ง่าย การหาค่าแรงตึงผิวของของแข็งสามารถทำได้โดยใช้ของเหลวที่ทราบค่าแรงตึงผิวเปียกบนผิวของแข็ง โดยมีการนิยามค่า “แรงตึงผิววิกฤต” (Critical surface tension,  $\gamma_c$ ) กล่าวคือของเหลวที่มีค่าแรงตึงผิวน้อยกว่าแรงตึงผิววิกฤตของของแข็ง ( $\gamma_{LV} < \gamma_c$ ) เท่านั้นที่สามารถเกิดการเปียกทันทีทันใด (Spontaneous wetting) ทำให้ค่ามุมสัมผัส (Contact angle)  $\theta = 0$  องศา ค่าแรงตึงผิววิกฤตนี้จึงเป็นค่าที่สำคัญที่สามารถใช้ในการพิจารณาการเปียกของเรซินบนเส้นใยเสริมแรง ตัวอย่างเช่น ค่าแรงตึงผิววิกฤตของเส้นใยแก้วและเส้นใยคาร์บอนเท่ากับ  $560 \text{ mJ/m}^2$  และ  $70 \text{ mJ/m}^2$  ตามลำดับ สามารถทำการขึ้นรูปเป็นคอมโพสิตได้ง่ายกับเรซินพอลิเอสเตอร์ ชนิดไม่อิ่มตัวและอีพอกซี ซึ่งมีค่าแรงตึงผิวเท่ากับ  $35 \text{ mJ/m}^2$  และ  $43 \text{ mJ/m}^2$  ตามลำดับ เรซินสามารถเปียกบนพื้นผิวเส้นใยอย่างง่ายดาย อย่างไรก็ตามเรซินทั้งสองไม่สามารถเกาะเปียกบนพื้นผิวเส้นใยพอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE) ซึ่งมีค่าแรงตึงผิววิกฤต  $31 \text{ mJ/m}^2$  เป็นสาเหตุให้เราต้องทำการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยพอลิเอทิลีนเพื่อให้สามารถเปียกและยึดติดกับเรซินทั้งสองได้



รูปที่ 2.2 (ก) การยึดติดระหว่างพื้นผิวขรุขระของของแข็งสองชนิด สังเกตจุดสัมผัสเพียงเล็กน้อย ทำให้เกิดการยึดเกาะที่ไม่แข็งแรง (ข) มุมสัมผัส (Contact angle,  $\theta$ ) และแรงตึงผิว (Surface tension,  $\gamma$ ) ของหยดของเหลวบนพื้นผิวของแข็ง สัญลักษณ์ SV, SL และ LV แทนของแข็ง-ก๊าซ, ของแข็ง-ของเหลว และของเหลว-ก๊าซ ตามลำดับ [15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราสามารถรวมสมการ (2.1) และ (2.2) โดยให้  $\gamma_1 = \gamma_{sv}$ ,  $\gamma_2 = \gamma_{lv}$  และ  $\gamma_{12} = \gamma_{sl}$  ทำให้ได้สมการ

$$W_A = \gamma_{sv} + \gamma_{lv} - \gamma_{sl} \quad (2.3)$$

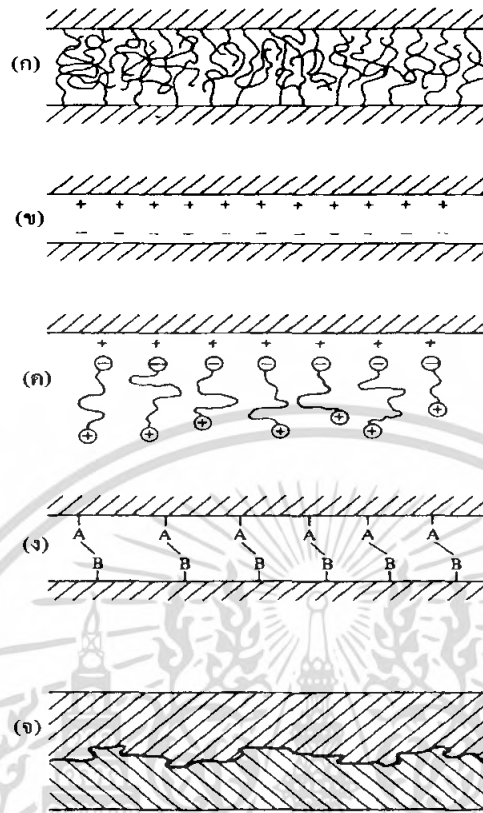
$$W_A = \gamma_{lv} + \gamma_{lv} \cos \theta \quad (2.4)$$

ค่างานของการยึดเกาะ ( $W_A$ ) แสดงถึงแรงหรือพันธะทางกายภาพที่เกิดเนื่องจากแรงกระจายตัวระหว่างโมเลกุล (Intermolecular dispersion forces) ที่สัมผัสกันและเกิดการเปียกหรือการยึดเกาะกัน ตามทฤษฎีแรงยึดเกาะนี้มีความแข็งแรงสูงแต่ในทางปฏิบัติจะมีแรงเชิงกลนี้ต่ำเนื่องจาก

- พื้นผิวเส้นใยมีความสกปรก (Contamination) เกิดเป็นชั้นของสิ่งสกปรกที่มีค่าพลังงานพื้นผิวอิสระหรือแรงดึงผิวดำ
- ในขั้นตอนการขึ้นรูปคอมโพสิตเกิดฟองอากาศของฟองก๊าซถูกขังอยู่บนพื้นผิวเส้นใยทำให้พื้นผิวสัมผัสน้อยลง
- เกิดการหดตัวของเรซินเมตริกซ์หลังการเชื่อมโยง ทำให้เกิดแรงเค้น (Stresses) และเกิดช่องว่างระหว่างเส้นใยกับเมตริกซ์

## 2. การแพร่เข้าหากันหรืออินเทอร์ดิฟฟิวชัน (Interdiffusion)

การยึดเกาะของพื้นผิวพอลิเมอร์สองชนิดสามารถเกิดได้ ถ้าโมเลกุลพอลิเมอร์ที่บริเวณพื้นผิวสัมผัสทั้งสองชนิดมีการแพร่ (Diffusion) เข้าหาซึ่งกันและกันดังรูป 2.3 (ก) ความแข็งแรงของการยึดเกาะชนิดนี้จะขึ้นกับปริมาณการพันกันของสายโซ่โมเลกุล (Molecular entanglement) ว่ามีมากหรือน้อย อีกทั้งขึ้นอยู่กับชนิดและจำนวนสายโซ่โมเลกุลที่เกิดการพันกัน เนื่องจากความสามารถในการแพร่และการพันกันของสายโซ่ขึ้นอยู่กับความสามารถในการเคลื่อนที่ของสายโซ่โมเลกุล (Molecular motion) ดังนั้นการยึดเกาะแบบอินเทอร์ดิฟฟิวชันสามารถเพิ่มได้โดยการใช้ตัวทำละลาย (Solvents) ทาที่พื้นผิว หรือการใช้สารเติมแต่งจำพวกพลาสติกไซเซอร์ (Plasticizers) ทำให้สายโซ่โมเลกุลพอลิเมอร์สามารถเคลื่อนที่ได้ง่าย กลไกการยึดเกาะแบบนี้สามารถเกิดกับเส้นใยที่มีการเคลื่อนที่ของสายโซ่โมเลกุลเพื่อปรับปรุงพื้นผิวก่อนการผสมกับเมตริกซ์ แต่ไม่เกิดในคอมโพสิตที่มีพื้นผิวเส้นใยแข็ง ไม่มีการเคลื่อนที่ของสายโซ่โมเลกุล เช่น เส้นใยคาร์บอน เส้นใยแก้ว ฯลฯ



รูปที่ 2.3 กลไกการยึดเกาะชนิดต่างๆ (ก) อินเทอร์ดิฟฟิวชัน (Interdiffusion) (ข) แรงดึงดูดไฟฟ้าสถิตย์ (ค) แรงดึงดูดระหว่างประจุของโมเลกุลที่มีประจุลบกับพื้นผิวที่มีประจุบวก (ง) พันธะเคมีเกิดระหว่างหมู่ A บนพื้นผิวหนึ่งกับหมู่ B บนอีกพื้นผิวหนึ่ง และ (จ) การยึดเกาะเชิงกล (Mechanical interlocking) [15]

### 3. แรงดึงดูดประจุหรือไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic attraction)

แรงดึงดูดจะเกิดขึ้นเมื่อพื้นผิวสองชนิดที่มีประจุต่างกันมาอยู่ใกล้กัน นั่นคือถ้าพื้นผิวหนึ่งมีประจุรวมกันเป็นบวก (Net positive charge) และอีกพื้นผิวหนึ่งมีประจุรวมเป็นลบ (Net negative charge) ตัวอย่างเช่น อันตรกิริยาระหว่างกรด-เบส (Acid-base interactions) และพันธะไอออนิก (Ionic bonding) แสดงดังรูป 2.3 (ข) และ (ค) ความแข็งแรงของกลไกการยึดเกาะชนิดนี้ขึ้นกับความหนาแน่นประจุ (Charge density) แรงดึงดูดระหว่างประจุหรือไฟฟ้าสถิตย์จะไม่ใช่แรงยึดเกาะหลักระหว่างเส้นใยกับเมตริกซ์ในคอมโพสิต แต่แรงดึงดูดชนิดนี้มีส่วนร่วมร่วมกับกลไกการยึดเกาะชนิดอื่น ช่วยให้เกิดการยึดเกาะในคอมโพสิตได้ดีขึ้น เช่นการยึดเกาะของสารคู่ควบประเภทไซเลน (Silane coupling agent) ที่มีหมู่ฟังก์ชันเป็นประจุบวก (Cationic function groups) มีการยึดติดที่ดีกับเส้นใยแก้วที่มีประจุลบของหมู่ไฮดรอกซี (-OH) บนพื้นผิว เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4. พันธะเคมี (Chemical bonding)

เป็นกลไกการยึดเกาะที่สำคัญที่สุดชนิดหนึ่ง แสดงดังรูป 2.3 (ง) เกิดขึ้นเมื่อเส้นใยมีหมู่ฟังก์ชันเคมี (Functional groups) บนพื้นผิวและเมทริกซ์มีหมู่ฟังก์ชันเคมีที่สามารถเกิดปฏิกิริยาเคมี เกิดเป็นพันธะเคมีได้แก่ การเกิดพันธะโควาเลนต์เชื่อมระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์ ซึ่งเป็นการยึดเกาะที่แข็งแรง ความแข็งแรงของกลไกการยึดเกาะชนิดนี้ขึ้นกับจำนวนและชนิดของพันธะที่เกิดขึ้น การเสถียรภาพของคอมโพสิตที่อินเตอร์เฟซจะเกี่ยวข้องกับการแตกหักของพันธะเคมีนี้ ตัวอย่างการยึดเกาะด้วยพันธะเคมีได้แก่ การเกิดพันธะโควาเลนต์ระหว่างสารคู่ควบ (Coupling agents) กับหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวเส้นใย และเมทริกซ์ เป็นต้น

#### 5. การยึดเกาะเชิงกล (Mechanical adhesion หรือ Mechanical interlocking)

การยึดเกาะเชิงกลเกิดเมื่อในขบวนการขึ้นรูปคอมโพสิต เรซินเมทริกซ์เปียกบนพื้นผิวเส้นใยในขณะที่ของไหลสามารถที่จะแทรกตัวไปตามพื้นผิวที่ขรุขระของเส้นใย รวมทั้งซอกร่องรูและช่องว่างอื่นๆ บนพื้นผิว เมื่อทำการเชื่อมโยงทำให้เกิดการแข็งตัวของเมทริกซ์ เป็นเหตุให้เมทริกซ์ถูกล็อกแข็งติดอยู่กับพื้นผิวของเส้นใย แสดงดังรูปที่ 2.3 (จ) ความแข็งแรงของการยึดเกาะชนิดนี้ขึ้นอยู่กับความขรุขระ (Roughness) ของพื้นผิวเส้นใยที่ทำให้เกิดการแทรกตัวของเรซิน รวมทั้งปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อความสามารถของเรซินในการเปียกและแทรกตัวพื้นผิวเส้นใย เช่นความหนืดของเรซิน พื้นผิวเส้นใยที่เรียบจะเกิดการยึดเกาะเชิงกลน้อยหรือไม่เกิดเลย

#### 2.4.2 สมบัติที่ทำให้เกิดการเกาะยึดระหว่างเส้นใยกับกาวได้ดี [16]

สมบัติที่ทำให้การยึดเกาะระหว่างเส้นใยกับกาวได้ดี ได้แก่ สมบัติด้านประสิทธิภาพในการเกาะยึดเหนี่ยว ความเหนียว การไหลของกาวในระหว่างอัดรีด ความเร็วในการแข็งตัว และความหนืด สมบัติเหล่านี้มีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กันไม่ทางตรงก็ทางอ้อม ประสิทธิภาพในการเกาะยึดที่ดี นอกจากจะต้องขึ้นอยู่กับระดับองค์การเกิดปฏิกิริยาเคมีพอลิเมอร์ไรเซชันที่เหมาะสมของกาวเองแล้ว ยังต้องพิจารณาถึงการเปียกของกาวกับเยื่อที่ดี และการไหลที่เหมาะสมในการอัดรีด เพื่อเปิดเวลาให้กาวกับเส้นใยมีการเคลื่อนปรับตัวได้อย่างสมบูรณ์ ก่อนที่จะเกิดการแข็งตัวของกาว เหตุอีกประการหนึ่งเกี่ยวกับประสิทธิภาพในการใช้กาวนั้น มีปัจจัยที่ต้องพิจารณาควบคู่กันไป คือ

1. การกระจายกาว (Resin distribution)
2. ขนาดละอองกาว (Resin droplet size )
3. ชนิดไม้ (Species)
4. ขนาดและรูปร่างของเส้นใยหรือมัดเส้นใย (Particle size and geometry)

การใช้กาวที่มีประสิทธิภาพจะต้องทำให้กาวเกาะบนผิวเส้นใย แต่ละเส้นใยควรได้รับปริมาณกาวเดียวกัน และให้กาวมีการกระจายตัวไปบนพื้นผิวของเส้นใยหรือมัดเส้นใยอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งความสามารถใน

การที่กาวจะกระจายไปทั่วเส้นใยได้อย่างมีประสิทธิภาพจนเกิดแรงยึดเหนี่ยวอย่างเพียงพอ และมีปริมาณมาก ภายในแผ่นที่ผลิต ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังนี้

1. รูปร่างและลักษณะของเส้นใย
2. สัดส่วนของขนาดเส้นใยที่ใช้ผสมขนาดใหญ่เล็กต่างกัน
3. ปริมาณความชื้นของเส้นใยไม้
4. ความสมบูรณ์ของเส้นใย
5. ความหนาแน่นของเนื้อเส้นใย
6. ประสิทธิภาพของกาว
7. ความหนาแน่นของแผ่นที่ผลิตได้
8. ตัวแปรต่างๆ ในกรรมวิธีการเตรียมแผ่นหรือฟอรั่มแผ่น
9. ตัวแปรต่างๆ ของสภาวะที่ใช้ในกรรมวิธีการอัด

#### 2.4.3 การเกิดการแข็งตัวของกาว (Setting of adhesives)

ขณะที่กาวเปียกบนพื้นผิวบนวัสดุไม้ ขบวนการยึดติดจะสมบูรณ์โดยการเปลี่ยนแปลงสภาพของกาว เหลวเป็นกาวแข็ง การเปลี่ยนสภาพมีทั้งแบบการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ซึ่งสามารถแบ่งออกได้ 3 กลไกต่างๆ ได้แก่

1. การลดปริมาณตัวทำละลาย (Solvent loss) กาวในระบบนี้จะต้องทำให้ตัวทำละลายลดลงหรือหมดไป จนเกิดเป็นแผ่นฟิล์มของกาวล้วนๆ หากเป็นวัสดุที่เป็นรูพรุน เช่น ไม้หรือกระดาษ ตัวทำละลาย เช่น น้ำ ก็จะแพร่กระจายลงสู่เนื้อไม้ แต่หากเป็นวัสดุที่ไม่เป็นรูพรุน เช่น พลาสติก ก็จำเป็นต้องปล่อยให้ตัวทำละลายระเหยไปยังอากาศ หลังจากเคลือบกาวบนผิวและปล่อยให้ถึงสภาวะการแตะติด (Tacky state) กาวที่ใช้กลไกการแข็งตัวลักษณะนี้ ได้แก่ กาวพอลิไวนิลอะซิเตดและกาวซีเมนต์ (Contact cements)

2. การให้ความเย็นแก่กาวร้อน (Cooling of the hot film) กาวประเภทร้อนเหลวหรือฮอตเมลท์ จำเป็นต้องทำให้ร้อนถึงระดับสูงกว่าอุณหภูมิหลอมเหลวของกาว จึงจะใช้ประโยชน์ในการติดไม้ได้ กาวประเภทนี้ไม่มีตัวทำละลาย เป็นเนื้อกาวแท้ 100% มีการหดตัวของแผ่นฟิล์มน้อยกว่ากาวที่ใช้ตัวทำละลาย แต่จะมีช่วงระยะเวลาการปฏิบัติงานที่สั้น หลังจากทำให้กาวเย็นตัวหรือปล่อยให้เย็นตัวเองในสภาวะบรรยากาศห้อง กาวก็จะเกิดการแข็งตัวกลับทันที ได้แก่ กาวร้อนเหลวชนิดต่างๆ

3. การเกิดปฏิกิริยาแข็งตัวทางเคมี (Chemical curing) เป็นกลไกที่เกิดกับกาวที่ใช้รูปแบบของมอนอเมอร์หรือพอลิเมอร์ขนาดเล็ก จากสภาวะการณของการสังเคราะห์กาว (Intermediate-small polymer condition) และเกิดการเชื่อมโยงเป็นโครงสร้างร่างแห ขณะที่เกิดการแข็งตัวกาวอีพอกซีและกาวพอร์มาลดีไฮด์ จะต้องใช้สารทำให้แข็งตัว (Curing agent) และสารเร่งแข็ง (Catalyst) ผสมกาวในขณะใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 กาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ (Urea formaldehyde) [17]

ยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เป็นกาวสำหรับไม้อัด (Plywood) หรือแผ่นกระดานอัด (Particle board และ MDF board) มีลักษณะเป็นของเหลวข้นสีขาวเหมือนน้ำมัน มีกลิ่นก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา และมีค่า pH ระหว่าง 7-9 ขึ้นกับชนิดของยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซิน สามารถล้างทำความสะอาดด้วยน้ำหรือน้ำอุ่น

เนื่องจากยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซินจัดอยู่ในพวกอะมิโนเรซิน (Amino resin) ซึ่งมีประโยชน์ทางการค้ามานานแล้ว เป็นพอลิเมอร์ที่มีราคาถูก มีความเป็นพิษต่ำ ความแข็งแรงสูง เกิดปฏิกิริยาได้อย่างรวดเร็วเมื่อทำการอัดด้วยความร้อน โดยจะมีโครงสร้างร่างแห การนำเอายูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซินไปใช้งานนั้นสามารถทำได้ง่าย แต่เนื่องจากยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซินมีข้อจำกัดคือ ไม่สามารถกันการซึมของน้ำได้ ไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ภายนอกอาคารหรือในที่ที่มีความชื้นสูงเพราะจะทำให้ฟอร์มาลดีไฮด์ระเหยออกมาได้ง่าย เมื่อพิจารณาถึงความคงทนของพันธะเคมีในยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์เรซินที่แข็งตัวพบว่า พันธะคาร์บอน-ออกซิเจนระหว่างเรซินกับเซลลูโลสมีค่าต่ำ และพันธะของคาร์บอน-ไนโตรเจนจะให้ความคงทนสูง

### 2.5.1 วัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิต

1. ยูเรีย (Urea,  $\text{H}_2\text{NCONH}_2$ ) มีลักษณะเป็นของแข็ง เม็ดกลมสีขาว ดูดความชื้นง่าย และอาจจับตัวเป็นก้อนเมื่อละลายน้ำ จะทำให้อุณหภูมิน้ำลดลง และมีค่า pH เป็นด่าง เป็นวัตถุดิบหลักที่จะเกิดปฏิกิริยากับฟอร์มาลดีไฮด์

2. สารละลายฟอร์มาลดีไฮด์หรือฟอร์มาลิน (Formaldehyde solution or formalin) เป็นสารละลายใส มีกลิ่นฉุนเฉพาะตัว ปกติใช้ความเข้มข้น 40% ฟอร์มาลดีไฮด์ผลิตจากกระบวนการออกซิเดชัน เมทานอลดังสมการ



หน้าที่หลักของฟอร์มาลดีไฮด์คือ เป็นวัตถุดิบหลักในการทำปฏิกิริยากับยูเรียหรือสารประกอบที่คล้ายกัน

ตัวเร่งปฏิกิริยา แบ่งออกเป็น 2 ประเภท

1. ตัวเร่งชนิดด่าง (Base catalyst) ใช้สำหรับปรับค่า pH เป็นด่างในขั้นตอนเริ่มปฏิกิริยา และปรับ pH หลังจากสิ้นสุดปฏิกิริยาแล้ว เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ ไตรเอทานอลามีนหรือแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ เป็นต้น

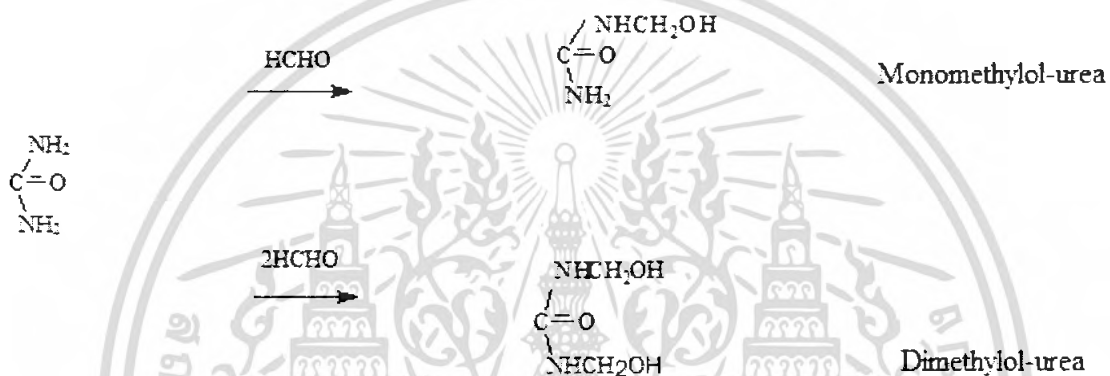
2. ตัวเร่งชนิดกรด (Acid catalyst) ใช้สำหรับปรับค่า pH เป็นกรดในขั้นการเกิดปฏิกิริยาควบแน่น เพื่อให้เกิดสารประกอบพอลิเมอร์ขึ้น เช่น กรดฟอร์มิกหรือกรดอะซิติก เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 ปฏิกริยาในการสังเคราะห์ยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ แบ่งเป็น 2 ปฏิกริยา คือ

2.5.2.1 ปฏิกริยาการเพิ่ม (Addition reaction) หรือเมทิลอลเลชัน (Methylation)

เป็นการเตรียมยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน (UF resin) ซึ่งเป็นปฏิกริยาระหว่างยูเรียกับฟอร์มัลดีไฮด์ ในสถานะที่เป็นกลางหรือเบสอ่อนๆ ผลิตภัณฑ์ที่ได้ส่วนมากจะมีโครงสร้างที่เป็นเส้นตรง ได้แก่ โมโนเมทิล-ออลยูเรีย (Monomethylolurea) และไดเมทิลออลยูเรีย (Dimethylolurea) ซึ่งอัตราส่วนของการเกิดสารทั้งสองตัว นั้นจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของยูเรียต่อฟอร์มัลดีไฮด์ ถ้าเราใช้ฟอร์มัลดีไฮด์มากเกินไปเราจะได้เฉพาะไดเมทิล-ออลยูเรียในปฏิกริยา

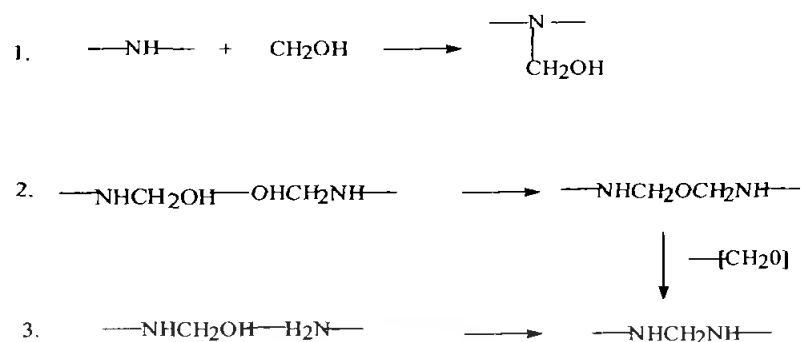


2.5.2.2 ปฏิกริยาพอลิเมอไรเซชันแบบควบแน่น (Condensation polymerization)

ปฏิกริยาพอลิเมอไรเซชันแบบควบแน่น (Condensation polymerization) เป็นพอลิเมอไรเซชันของ ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน (Urea formaldehyde resin) ภายใต้สภาวะที่เป็นกรดและมีการเพิ่มอุณหภูมิ จะทำให้เกิด การเปลี่ยนแปลงเป็นขั้นตอนดังนี้

1. สารละลายจะมีลักษณะเป็นตะกอนขุ่นขาวในช่วงที่อุณหภูมิไม่สูง
2. เมื่ออุณหภูมิเริ่มสูงขึ้นตะกอนที่มีอยู่ในสารละลายนั้นจะเกิดการรวมตัวกัน
3. จากนั้นจะเกิดการควบแน่น ได้เป็นสารละลายใสมีลักษณะเหนียวหนืด แต่ถ้าหากได้รับความร้อน ต่อไป จะทำให้ได้สารละลายที่มีลักษณะเป็นเจล ไม่มีสี และไม่ละลายน้ำ สามารถเขียนเป็นปฏิกริยาได้ ดังรูปที่ 2.5

107867



รูปที่ 2.5 ปฏิกิริยาการเตรียมยูเรียฟอร์มมาลดีไฮด์เรซินขั้นที่สอง

## 2.6 Glycerol [18]

ชื่อทางเคมี: propane-1,2,3-triol

ชื่ออื่น : glycerine

1,2,3-Propanetriol

1,2,3-trihydroxypropane

glyceritol

glycyl alcohol

สูตรโมเลกุล :  $\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3$

น้ำหนักโมเลกุล : 92.09382 g/mol

ความหนาแน่น : 1.261 g/cm<sup>3</sup>

ความหนืด : 1.5 Pa.s

จุดหลอมเหลว : 18°C (64.4°F)

จุดเดือด : 290°C (554°F)

จุดวาบไฟ : 160°C (closed cup)

### 2.6.1 ประโยชน์

ผลิตภัณฑ์พลอยได้ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลคือ กลีเซอรอล แต่เนื่องจากกลีเซอรอลที่ได้มีความบริสุทธิ์ค่อนข้างต่ำ และการทำให้กลีเซอรอลบริสุทธิ์นั้นต้องผ่านกระบวนการกลั่นที่ค่อนข้างยุ่งยาก จึงทำให้มีต้นทุนสูงในการกลั่น แต่ถ้าสามารถทำให้กลีเซอรอลบริสุทธิ์ได้ จะสามารถนำกลีเซอรอลไปใช้ประโยชน์ได้หลายทาง เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.6.1.1 ทางด้านการแพทย์

นำมาใช้ทางการแพทย์ เช่น การสังเคราะห์ยา ใช้เป็นสารหล่อลื่น ทำให้ทานยาได้ง่ายขึ้น ใช้เป็นส่วนผสมในยาแก้ไอ ยาขับเสมหะ และยาอายุวัฒนะ

### 2.6.1.2 Personal care

ใช้เป็นสารในการผลิตยาสีฟัน ครีมทาผิว ครีมโกนหนวด เพื่อรักษาความชุ่มชื้นให้แก่ผิว

### 2.6.1.3 อาหารและเครื่องดื่ม

ใช้เป็นสารเพิ่มความหวานให้กับอาหาร และเพิ่มสีให้กับอาหารเหมือนกับวานิลลา ใช้แทนไขมันที่ใช้ทำขนมอบ ใช้แทนมาการีน ใช้ทำให้เหล้าหวาน (Liquor) มีลักษณะที่ขุ่น

### 2.6.1.4 อาหารสัตว์

นิยมผสมกลีเซอรอลในอาหารสัตว์

## 2.7 Glutaric acid [19]

ชื่อทางเคมี : Pentanedioic Acid

ชื่ออื่น : 1,5-Pentanedioic acid; 1,3-Propanedicarboxylic acid; Pentanedioic acid; n-Pyrotartaric acid; Pentandioic acid;

สูตรโมเลกุล :  $C_5H_8O_4$

น้ำหนักโมเลกุล : 132.12 g/mol

ความหนาแน่นของไอ : 4.5 g/cm<sup>3</sup>

ความสามารถในการละลายน้ำ : 430 g/l ที่อุณหภูมิ 20 °C

จุดหลอมเหลว : 95-98 °C (203-208.4 °F)

จุดเดือด : 200 °C (392 °F)

ความถ่วงจำเพาะ : 1.429 g/cm<sup>3</sup>

ลักษณะทางกายภาพ : ผงของแข็งสีขาว

ความเสถียร : เสถียรภายใต้สภาวะปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.7.1 ประโยชน์

กรดกลูตาติก [กรดเพนเทนไดโอยิก (Pentanedioic acid)] คือสารอินทรีย์ที่มีกรดไคคาร์บอกซิลิก (Dicarboxylic acid) กับ 5 อะตอมของคาร์บอนซึ่งมีอยู่ในพืชและเนื้อเยื่อสัตว์ กรดกลูตาติกถูกค้นพบในเลือดและปัสสาวะ กรดอัลฟาไคโตกลูตาติก ( $\alpha$ -ketoglutaric acid) เป็นอนุพันธ์ของกรดกลูตาติก ซึ่งมีหมู่คาร์บอนิลที่ติดกับอะตอมของคาร์บอนที่อยู่ถัดจากหมู่กรดกลูตาติก ผลิตได้จากกลูตามาต (Glutamate) ในหมู่อะมิโน และพบอยู่ในรูปของผลผลิตระหว่างกระบวนการในวงจรของการย่อยของเซลล์สิ่งมีชีวิต (Krebs cycle) กรดไคโตกลูตาติกจะมีลักษณะทางเคมีที่แตกต่างกันตามชนิดของคาร์บอนิล ซึ่งมีการนำมาใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม กรดกลูตาติกมีลักษณะเป็นของแข็งสีขาว มีจุดหลอมเหลวต่ำ ในหมู่กรดไคคาร์บอกซิลิก ( $98^{\circ}\text{C}$ ) ละลายน้ำได้ดี และมีความเป็นกรดปานกลาง โครงสร้างโมเลกุลของคาร์บอนที่เป็นเลขคู่ถูกใช้ให้เป็นประโยชน์ในการลดความยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ ยังมีการใช้ประโยชน์ในการผลิตพอลิเอสเทอร์ พอลิโออล (Polyester polyol) พอลิเอไมด์ (Polyamide) เอสเทอร์พลาสติกไซเซอร์ (Ester plasticizer) และตัวต้านทานการกัดกร่อน (Corrosion inhibitor) และยังมีการใช้กรดกลูตาติกในการสังเคราะห์ยา (Pharmaceutical) สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) และเป็นตัวผสมตัวสุดท้ายของโลหะ (Metal finishing compound) ในการสังเคราะห์โปรตีน กรดอัลฟาไคโตกลูตาติกถูกใช้ในการช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ

## 2.8 กรรมวิธีและขั้นตอนในการผลิตแผ่นปาร์ติเกิ้ล [9]

การผลิตแผ่นปาร์ติเกิ้ลมีการผลิตอยู่ 2 ระบบคือ การอัดแบนราบ (Flat-planet) และระบบการอัดแบบกระหุ้ม (Extrusion) ซึ่งในการอัดแบบกระหุ้มมีข้อจำกัดมากมาย เช่น ต้องเลือกวัสดุไม้ที่มีสมบัติง่ายต่อการลื่นไหลของแผ่นงาน ในขณะที่อัดทะลักออกมาจากตาย (Die) นอกจากนี้ยังไม่สามารถผลิตแผ่นในลักษณะ 3 ชั้นที่มีผิวหน้าละเอียดเหมือนแผ่นปาร์ติเกิ้ลแบบอัดราบได้ ดังนั้นในปัจจุบันจึงได้หันมาพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ๆ ทางด้านการอัดแนวราบ

ขั้นตอนหลักๆ ในการผลิตแผ่นปาร์ติเกิ้ลประกอบด้วย

- 1) การเตรียมชิ้นไม้ (Particle preparation)
- 2) การอบชิ้นไม้ (Particle drying)
- 3) การคัดแยกชิ้นไม้ (Particle classification)
- 4) การผสม (Blending)
- 5) การเตรียมแผ่นก่อนอัด (Mat formation)
- 6) กรรมวิธีการอัด (Pressing operation)
- 7) การตัดริม การปรับความชื้น และการตกแต่งผิว (Trimming Conditioning and Finishing)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.8.1 การเตรียมชิ้นไม้

ขั้นตอนแรกของกระบวนการผลิตแผ่นปาร์ติเกิ้ลคือ การตัดขนาดของไม้วัตถุดิบให้มีขนาดที่เหมาะสม ซึ่งจำเป็นจะต้องดูแลและศึกษาว่า เราต้องการแผ่นปาร์ติเกิ้ลที่มีสมบัติอย่างไร ประเภทใด ซึ่งวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตนั้น มีมาจากแหล่งต่างๆ กัน เช่น เศษไม้จากการไสกบชิป ไม้ท่อนกลม ไม้อัดที่เหลือจากการตัดริม เศษเปลือกไม้ และขี้เลื่อย เป็นต้น ซึ่งแต่ละโรงงานก็จะเลือกใช้ไม้เหล่านี้ไม่เกิน 2-3 แหล่งเพื่อทำการผลิตแผ่นปาร์ติเกิ้ล ซึ่งจากการที่วัตถุดิบต่างๆ มีขนาดแตกต่างกัน จึงจำเป็นที่จะต้องมีการผลิตชิ้นไม้ที่มีคุณภาพแตกต่างกันออกไปด้วย

วิธีหรือกระบวนการเตรียมชิ้นไม้มีด้วยกันหลายวิธี ซึ่งแบ่งออกตามลักษณะเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ การตัดทอน เช่น แบบตัดเฉือนด้วยใบมีด (Knife) แบบคอกทุบ (Hammer) แบบขัดสี (Attrition units) การจะเลือกใช้การเตรียมชิ้นไม้แบบใดขึ้นกับวัตถุดิบที่ใช้ และชนิดของแผ่นปาร์ติเกิ้ล คุณภาพของชิ้นไม้ที่ได้จากแต่ละวิธี ประกอบด้วยความชื้นของวัตถุดิบ รูปร่างของวัตถุดิบ และคุณภาพของเครื่องมือที่ใช้

หากต้องการให้ได้แผ่นปาร์ติเกิ้ลที่มีความแข็งแรงสูง ผิวหน้าเรียบ และมีการพองตัวที่สม่ำเสมอ การผลิตชิ้นไม้ต้องได้ชิ้นไม้ที่เหมือนกัน (Homogeneous material) มีสัดส่วนของความเหนียวสูง (ชิ้นไม้ที่ยาว บาง) ไม่มีชิ้นที่เกินขนาด ไม่มีฝุ่น หากพิจารณาในแง่ของกระบวนการผลิต ข้อกำหนดของชิ้นไม้ในอุดมคติก็จะแตกต่างกัน ในส่วนของแผ่นปาร์ติเกิ้ลแบบ 3 ชั้น ชิ้นไม้ชั้นไส้ควรจะยาวกว่าชิ้นไม้ที่ผิวที่สั้นกว่า บางกว่า และเล็กกว่า สำหรับแผ่นปาร์ติเกิ้ลแบบ 5 ชั้นหรือหลายชั้น ชิ้นไม้ที่อยู่ระหว่างชั้นผิวและไส้ควรเป็นชิ้นไม้ที่ยาวและบาง เพื่อการโรยผิวหน้าด้วยชิ้นไม้ที่ละเอียดสามารถทำได้โดยง่าย ทำให้แผ่นปาร์ติเกิ้ลมีความต้านทานแรงดัด และมีความเหนียวสูง สิ่งนี้มีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับชิ้นไม้ที่โรยหน้าละเอียดไว้ทางด้านบน เพราะสามารถหล่นลงสู่แกนกลางก่อนจะทำการอัดได้ จะทำให้ได้แผ่นผิวที่หยาบแทนที่จะได้ผิวที่ราบเรียบ

### 2.8.2 การอบชิ้นไม้

ชิ้นไม้ที่ใช้ในการผลิตแผ่นปาร์ติเกิ้ล จะถูกอบแห้งให้ได้ความชื้นต่ำๆ อย่างสม่ำเสมอก่อนจะผสมกับกาว เครื่องอบที่ใช้ในอุตสาหกรรมนี้มีหลายประเภท ปัจจุบันนิยมใช้เครื่องอบที่สามารถผ่านชิ้นไม้เข้าไปอย่างรวดเร็วในกระแสอากาศร้อนมากๆ และมีการหมุนเวียนอากาศอย่างรวดเร็ว เพื่อลดระยะเวลาในการอบให้สั้นที่สุด การที่ความชื้นออกจากชิ้นไม้อย่างรวดเร็วยังสามารถป้องกันการลุดคิดไฟของชิ้นไม้ที่อบนานๆ ชิ้นไม้จะแห้งเร็วจนมีความชื้น 3-5% (เทียบกับน้ำหนักอบแห้งของไม้) ตามต้องการด้วยเครื่องอบเชิงพาณิชย์ ซึ่งมีอยู่ 2 ประเภทใหญ่ คือ

1. แบบห้องอบหมุนได้ตามแนวราบ (Horizontal rotating type)
2. แบบห้องอบอยู่กับที่ตามแนวราบ (Horizontal fixed type)

ในการเปลี่ยนแปลงความชื้นของไม้ที่จะได้ออกมา สามารถทำได้โดยการกำหนดระยะเวลาของชื้นไม้ที่อยู่ในเครื่องอบและการปรับปริมาณเชื้อเพลิง ควรหลีกเลี่ยงการใช้ชื้นไม้เปียกก่อนอบ ที่มีความชื้นไม้สม่ำเสมอหรือชื้นลงอย่างรวดเร็ว

ส่วนการเลือกหาขนาดเครื่องอบใหญ่หรือเล็กเพียงใดขึ้นอยู่กับ

- ปริมาณของน้ำในชื้นไม้ที่ต้องการระเหยออกไป
- ปริมาณของชื้นไม้ที่ต้องการอบให้เพียงพอต่อการผลิต
- ลักษณะของขนาดและรูปร่างของชื้นไม้ที่มีผลต่อความยาวของเครื่องอบในระหว่างอบ

### 2.8.3 การคัดแยกชื้นไม้

ชื้นไม้ที่ได้จากการตัดทอนแปรรูปลดขนาดในตอนแรกจะมีทั้งขนาดเล็กและใหญ่ปนกันอยู่หลายขนาด จึงจำเป็นต้องทำการคัดแยกชื้นไม้ออกให้มีความสม่ำเสมอ เพื่อให้แผ่นที่ได้มีโครงสร้างทางวิศวกรรม (Engineering structure) ที่ดี โดยทั่วไปการคัดเลือกชื้นไม้ นิยมทำหลังการอบ เนื่องจากการอบและการเก็บในถัง มักจะมีชื้นไม้แตกหักเสมอ แต่หากมีเครื่องอบ 2 เครื่องอบ สามารถแยกสายการผลิตชื้นไม้หยาบและละเอียดได้ สามารถใช้ในการลดขนาดชื้นไม้ก่อนการอบได้ และเป็นผลดีต่อการอบที่สามารถใช้พลังงานความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ และยังทำให้ชื้นไม้ที่อบได้มีความชื้นสม่ำเสมอ ซึ่งจะช่วยให้ขั้นตอนการผสมกาวและการอัดมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

การคัดแยกชื้นไม้มีด้วยกัน 3 วิธี คือ

- การร่อน (Screening) เป็นการคัดแยกตามขนาดของชื้นไม้ (Size)
- การคัดแยกโดยอากาศ (Air classification) เป็นการคัดแยกตามน้ำหนักพื้นผิว (Surface-to-weight) ของชื้นไม้
- การร่อนผสมด้วยการคัดแยกด้วยอากาศ

การร่อน หมายถึง การนำเอาชื้นไม้ไปผ่านบนตะแกรงที่มีขนาดช่องตะแกรงตามกำหนด โดยชื้นไม้ที่มีขนาดไม้ได้ตามความต้องการจะหลุดตะแกรงไป การร่อนมีลักษณะของการร่อนอยู่ 2 ลักษณะ คือ แบบสั่น (Vibration) และแบบเขย่า (Shaking) หลักการในการพิจารณาในการเลือกใช้งานแต่ละแบบ ต้องพิจารณาจากความต้องการในการคัดแยกชื้นไม้ 2 กรณี คือ ประสิทธิภาพ (Efficiency) และกำลังความสามารถในการร่อน (Capacity) ว่าต้องการร่อน ชื้นไม้ที่ป้อนเข้าไปในเครื่องเป็นปริมาณมากๆ หรือต้องการได้ปริมาณของชื้นไม้ที่มีขนาดต้องการในสายการผลิตมากที่สุดเมื่อเทียบกับจำนวนชื้นไม้ที่ป้อนเข้าไปในเครื่องร่อน โดยมีปัจจัยหลายๆ ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการร่อน ได้แก่ ความหนาของชื้นไม้ทั้งกอง (Bulk density) รูปร่างชื้นไม้ (Particle shape) ความชื้นของชื้นไม้ (Moisture content) อัตราการป้อนชื้นไม้เข้าเครื่องร่อน (Feed rate) ระยะเวลาในการร่อน

(Retention time) ลักษณะพื้นผิวของตะแกรงร่อน (Screening surface) และความถี่รวมทั้งช่องว่างของการร่อน (Frequency and amplitude of screening)

#### 2.8.4 การผสม

เป็นการรวมกาว ชีส์ และสารผสมชนิดอื่นๆ กับซินไม้แห้ง เรียกว่า การผสมคลุกเคล้า (Blending) โดยการสเปรย์กาว น้ำ และชีส์อิมัลชันลงไปในซินไม้ ขณะที่เคลื่อนผ่านอยู่ในเครื่องคลุกเคล้า ซึ่งจะพบว่าซินไม้ที่มีขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวมากกว่าซินไม้ที่มีขนาดใหญ่เมื่อเทียบเป็นสัดส่วนน้ำหนักกับซินไม้ที่ใหญ่กว่า ทำให้ซินไม้ที่เล็กกว่ามีปริมาณกาวที่มากกว่า จึงจำเป็นต้องได้รับกาวในระดับปริมาณที่มากกว่าเมื่อใช้กาวที่คำนวณเป็นน้ำหนักต่อซินไม้ และในการ โรยแผ่นเตรียมอัด (Mat forming) จะใช้ซินไม้ที่มีขนาดเล็กเป็นผิวหน้าของแผ่นซินไม้อัด เพื่อเป็นการปรับปรุงคุณภาพของผิวหน้าและความเรียบของแผ่น ดังนั้นซินไม้ซึ่งมีขนาดเล็กจึงต้องใช้ปริมาณกาวมากกว่าซินไม้ที่มีขนาดใหญ่กว่า และมีพื้นที่ผิวมากกว่า

การพ่นกาวหรือการผสมกาวคลุกกับซินไม้เป็นขั้นตอนที่สำคัญ และเป็นขั้นตอนที่สามารถจะกำหนดได้ว่าแผ่นปรกติเกิดที่ได้จะมีคุณภาพเป็นอย่างไร เช่น การกระจายกาวที่ไม่สม่ำเสมออาจส่งผลให้บางจุดมีการยึดติดที่ต่ำ ได้ไม้ที่มีคุณภาพไม่แข็งแรง เป็นต้น ดังนั้นหากเป็นไปได้จึงควรมีการกระจายกาวที่เป็นระบบที่ดี หรือมีการใช้เครื่องวัดที่ดีสำหรับหาปริมาณของกาวและการไหลของซินไม้ที่จะส่งผ่านไปยังเครื่องคลุกเคล้าต่อไปนั้น ได้การผสมที่มีความเหมาะสมที่สุด

ปัจจัยต่างๆ ที่ควรพิจารณาในระหว่างการใช้กาวทั้งก่อนผสมและหลังผสมกับซินไม้ ได้แก่

##### 2.8.4.1 ปัจจัยที่ควรพิจารณาก่อนการผสมกาวกับซินไม้

- 1) ความหนาของซินไม้ที่สม่ำเสมอ จำเป็นต่อการหาปริมาณกาวในแผ่นซินไม้อัด
- 2) ลดความแปรผันของขนาดรูปร่างซินไม้ให้เป็นรูปแบบเดียว
- 3) พื้นผิวของซินไม้ ควรมีคุณภาพดี เพื่อให้กาวเกาะติดอยู่บนผิว และแพร่กระจายได้ดี
- 4) ควบคุมปริมาณความชื้นให้แปรผันให้น้อยที่สุด ลดการไหลของกาว และหลีกเลี่ยงการระเบิดหรือการโป่งพองในแผ่นที่อัดแล้ว
- 5) เลือกกาวเรซินให้เหมาะสมและปรับปรุงให้ตรงกับความต้องการ
- 6) การเคลือบผิวด้วยชีส์ (Wax sizing) ควรมุ่งไปที่หน้าที่หลักของการเคลือบหรือฉาบ เพื่อช่วยให้กาวกระจายทั่วซินไม้ (Resin distribution) และแพร่ไปบนพื้นผิวได้ดี (Resin dispersion) โดยเฉพาะการผสมกาวโดยใช้กาวในรูปผง
- 7) ป้องกันกาวเรซินให้อยู่ในสภาพที่ดี หลีกเลี่ยงสภาวะต่างๆ ที่มีผลเสียต่อกาวในระหว่างการเก็บและการเคลื่อนย้าย
- 8) คอยระมัดระวังการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของกาวและชีส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.8.4.2 ปัจจัยที่ควรพิจารณาระหว่างการผสมกาวกับซินไม้

- 1) ศึกษาการแพร่กระจายกาวให้ทั่วซินไม้ทั้งกอง โดยพิจารณาจากชนิดของเครื่อง (Type of blender) อัตราเร็วในการหมุน (Rotation speed) ระยะเวลาที่เหมาะสมในการคลุกเคล้า (Optimum dwell time) และอัตราการป้อนซินไม้ลง ไปผสม (Feed rate of fumish)
- 2) ระบบการชั่งตวงวัด (Metering system) สำหรับไม้ กาว และสารเติมแต่งควรมีความเที่ยงตรงและไวใจได้ เพื่อจะได้ป้อนหรือไหลเข้าสู่ขบวนการผลิตได้อย่างพร้อมเพรียง
- 3) ระหว่างการผสมในขบวนการผลิต กำจัดการเกิดช่องว่าง และความไม่แน่นอน (มากบ้างน้อยบ้าง) ในระหว่างการไหลหรือการป้อนไม้ กาว และฉีผึ้ง

#### 2.8.4.3 ปัจจัยที่ควรพิจารณาหลังการผสมกาว

- 1) หลีกเลี่ยงปัจจัยต่างๆ ที่อาจเป็นสาเหตุทำให้กาวบนซินไม้ที่ผสมแล้ว ได้รับการสั่นสะเทือนหลุดออก น้อยลงไป หรือเกิดการเกาะรวมกันเป็นก้อนระหว่างการส่งสายพานหรือการโรยแผ่น
  - 2) ปกป้องกาวจากการเกิดการแข็งตัวก่อน (Pre-cure) ระหว่างการป้อนเข้าอัดหรือในระหว่างการอัด
- ในหลักการของการพัฒนาคุณภาพของแผ่นปาร์ติเกิ้ล การแยกสารเติมแต่งอื่น เช่น สารกันน้ำ และสารป้องกันและรักษาเนื้อ ไม้กับซินไม้ โดยตรงไม่รวมกับกาวเป็นสิ่งที่ดี เนื่องจากทำให้สารเติมแต่งและกาวแสดงสมบัติทางเคมีของแต่ละชนิดได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด แต่ในทางปฏิบัติผู้ประกอบการอุตสาหกรรมกลับพบว่า การรวมกาวกับสารเติมแต่ง แล้วกวนให้เข้ากันดีก่อนแล้วจึงผสมกับซินไม้ มีข้อดีหลายประการ ได้แก่ การลงทุนทางเครื่องมือที่ต่ำกว่า ความผิดพลาดจากการปฏิบัติงานของบุคคลมีน้อยลง และการบำรุงรักษามีค่าน้อยกว่า แต่อย่างไรก็ตาม การตรวจวัดปริมาณของส่วนผสมของสารเติมแต่งแต่ละชนิดเข้าด้วยกัน ต้องระมัดระวังให้เกิดความถูกต้องเช่นเดียวกับการตรวจวัดที่หัวพ่น หากเทียบถึงการคล่องตัว (Flexibility) ในการปรับหรือลดปริมาณสารเคมีที่จะใช้ในการปรับเปลี่ยนสมบัติของแผ่นปาร์ติเกิ้ลในแต่ละครั้งของการผลิตนั้น การแยกผสมมีความคล่องตัวมากกว่าการรวมผสม ดังนั้นผู้ควบคุมการผสมกาวกับสารเติมแต่งจึงต้องมีการปฏิบัติงานอย่างถูกต้องด้วยความรอบคอบ

#### 2.8.5 การเตรียมแผ่นก่อนอัด

เป็นขั้นตอนการ โรยซินไม้ที่ผ่านการผสมกาว และสารผสมอื่นๆ ลงบนแม่พิมพ์ก่อนนำไปอัดต้องให้มีความสม่ำเสมอ (Uniformity) ตลอดทั่วทั้งแผ่น เป็นสิ่งที่สำคัญที่สุดสำหรับกระบวนการผลิต หากแผ่นที่มีการโรยซินไม้มีการกระจายที่ไม่สม่ำเสมอของซินไม้ จะมีผลต่อสมบัติให้เกิดความผันผวนขึ้นได้ ความหนาแน่นภายในแผ่นก็จะไม่เท่ากัน ผันผวนเป็นวงกว้าง และจะเกิดการคืนตัวทางความหนา (Thickness spring back)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่มากขึ้นไปในบริเวณที่มีความหนาแน่นสูงกว่า นอกจากนี้การ โรยแผ่นที่ไม่สม่ำเสมอ ก็ยังก่อให้เกิดการโค้งงอหรือบิดตัวของแผ่นได้ และอาจทำให้เกิดความเสียหายในขณะที่ทำการอัดร้อนด้วย

### 2.8.6 กรรมวิธีการอัด

วิธีให้ความร้อนแก่แผ่นวัสดุที่นิยมกันมากที่สุดคือ กดให้แผ่นความร้อนไปสัมผัสกับผิวหน้าของแผ่น ความร้อนจะไหลจากแผ่นไปยังผิวของแผ่นวัสดุ และไหลเข้าไปภายใน โดยทั่วไปอัตราการกดของแผ่น ความร้อน จะขึ้นอยู่กับความดันตอนแรก ถ้าความดันตอนแรกสูงจะต้องให้แท่นกดไปยัง stop หรือความหนาที่ ต้องการเร็วกว่าแผ่นที่มีความดันตอนแรกต่ำกว่า ความเร็วในการกดนิยมบอกเป็นเวลาที่ลดลงจนถึง stop ซึ่งเป็น เวลาที่ใช้สั้นที่สุดก่อนที่จะเกิดการอัดอย่างสมบูรณ์ เวลาที่ใช้สั้นจะไม่ใช้เวลาที่ใช้กด เป็นขั้นตอนที่พิจารณาถึง ระยะเวลาในการอัด สภาพะในการอัดที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ และใช้ระยะเวลาในการอัดให้สั้นที่สุด เร็วที่สุด

กาวแต่ละชนิดจะมีการแข็งตัวแตกต่างกัน เช่น กาวยูเรีย ใช้อุณหภูมิในการอัด 143 องศาเซลเซียส เป็นต้น ชนิดของไม้ก็เป็นปัจจัยที่สำคัญปัจจัยหนึ่งที่ทำให้แผ่นเกิดความแข็งตัว ชนิดไม้ที่ง่ายต่อการอัดจะใช้ แรงอัดในการทำให้แข็งตัวต่ำกว่าชนิดยากต่อการอัด

ปริมาณความชื้นของแผ่นก่อนเตรียมการอัดก็เป็นสิ่งสำคัญต่อการอัดเป็นอย่างมาก ความชื้นที่มาก เกินไปจะไปขัดขวางการยึดติดของไม้ 2 ชั้น อัตราส่วนในใหญ่จะเชื่อมโยงคิดที่ความชื้นประมาณ 2-18% ที่ความชื้น สูงๆ ก็ต้องใช้เวลาในการอัดนาน และที่ปริมาณความชื้นต่ำๆ ก็มีปัญหาที่ยากต่อการอัดให้ได้ความหนาแน่น ตามที่ต้องการ หากเป็นแผ่นชิ้นขนาดใหญ่ปริมาณความชื้นของแผ่นเตรียมอัดควรอยู่ระหว่าง 7-10% และ โดยทั่วไปปริมาณความชื้นจะอยู่ที่ 7-10% ลักษณะการกระจายความหนาแน่นลดหลั่นทางด้านหน้าตัด (Density profile) เป็นปัจจัยที่สำคัญอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลกระทบต่อสมบัติของแผ่นชิ้นไม้อัด และลักษณะการกระจายความ หนาแน่นทางด้านหน้าตัด แผ่นชิ้นไม้อัดที่ผลิตส่วนใหญ่มีลักษณะของความหนาแน่นที่ผิวสูงกว่าความหนาแน่น ในชั้นไส้ ดังนั้นสมบัติของแผ่นในลักษณะนี้จะให้สมบัติทางด้านความต้านทานแรงค้ำและความแข็งแรงดึงที่ สูงขึ้น แต่แรงยึดเหนี่ยวภายใน (Internal bond) จะลดลง แผ่นชิ้นไม้อัดที่มีสมบัติข้างต้นนี้ เกิดจากการใช้ ระยะเวลาในการปิดแท่นอัด (Press closing time) ที่เร็วเกินไปเป็นสาเหตุ การอัดที่สูงขึ้นก็จะช่วยเพิ่มความ หนาแน่นของชั้นไส้ให้สูงขึ้นได้ แต่ก็ทำให้ความหนาแน่นชั้นผิวลดลงได้ เนื่องจากคลื่นความร้อนจะเคลื่อนที่ เข้าสู่ชั้นไส้ได้เร็วขึ้น

ผิวหน้าของแผ่นเตรียมอัดจะได้รับความร้อนอย่างรวดเร็วให้มีอุณหภูมิเท่ากับแท่นอัดขณะร้อน น้ำที่อยู่ใน ชั้น ไม้ที่ผิวหน้าของแผ่นจะกลายเป็นไอ และเคลื่อนย้ายไปยังบริเวณที่เย็นกว่าของแผ่น ซึ่งก็คือชั้นไม้บริเวณ ชั้นไส้ของแผ่น ทำให้อุณหภูมิของแผ่นเพิ่มขึ้นเร็วกว่าการรับความร้อนจากแท่นอัดผ่านมายังไม้ธรรมดา อย่างไรก็ตามการอัดก็มักจะอัดแผ่นจนได้รับความหนาที่กำหนด ก่อนที่แผ่นจะ ได้รับความร้อนสมบูรณ์ อีกทั้ง

ความแข็งแรงในการต้านแรงอัดของไม้ที่ได้จากการผลิต (Compressive strength) ก็จะต่ำลงอย่างมากเมื่ออุณหภูมิของไม้สูงขึ้น ดังนั้นแผ่นไม้ถูกกดอัดเสียรูปได้ ในลักษณะเช่นนี้แผ่นจะถูกกดอัดจนได้ความหนาตามที่ต้องการ ก่อนที่ความร้อนจะถึงชั้นไส้ของแผ่น จึงทำให้เกิดความลดหลั่นของความหนาแน่นทางด้านแนวตั้งของแผ่นชั้นไม้อัด (Vertical density gradient or density profile) ในทิศทางด้านความหนาของแผ่นชั้นไม้อัดที่เกิดในแนวราบ ความหนาแน่นของแผ่นชั้นไม้อัดที่ผลิตได้ จึงเป็นค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นที่สูงในบริเวณชั้นผิวและความหนาแน่นที่ต่ำในบริเวณของชั้นไส้ของแผ่น จากความแตกต่างของความหนาแน่นนี้เป็นผลให้ความต้านทานแรงเฉือน และความแข็งแรงทางด้านแรงดึงในบริเวณชั้นไส้ลดต่ำลง ความลดหลั่นของความหนาแน่นทางด้านแนวตั้งของแผ่นจะแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับการปรับอัตราเร็วในการเคลื่อนปิดแทนอัด แต่อย่างไรก็ตามการใช้ระยะเวลาในการปิดแทนอัดที่นานเกินไป อาจทำให้เกิดผลเสียทำให้กาวบนชั้นไม้บริเวณชั้นผิวหน้าของแผ่นแข็งตัวก่อนจะเกิดการติดกันระหว่างชั้นไม้ (Interparticle contact) อย่างพอเพียง ลักษณะเช่นนี้มักจะเรียกว่าชั้นผิวหน้าเกิดการแข็งตัวก่อน (Procure)

อย่างไรก็ตามในท้ายสุดอุณหภูมิของชั้นไส้ก็จะเพิ่มขึ้นกว่า 100 องศาเซลเซียส ซึ่งก็จะเปลี่ยนให้น้ำกลายเป็นไอ และไอน้ำจะพยายามระเหยออกจากแผ่นไม้ระหว่างการอัด หากระยะเวลาในการอัดไม่เพียงพอให้น้ำระเหยออกไป แผ่นก็จะเกิดการแยกชั้น (Delamination) เนื่องจากเมื่อเครื่องเคลื่อนปิดแทนอัด ไอน้ำเหล่านี้ก็จะพุ่งออกมาอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ไอน้ำยังขัดขวางการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบควบแน่น (Condensation polymerization) ของกาว จำกัดอัตราความเร็วในการแข็งตัว และทำให้ระยะเวลาในการอัดยาวนานขึ้น เพราะฉะนั้นควรปรับให้ความชื้นของชั้นผิวหน้าของแผ่นสูงๆ เพื่อช่วยพาความร้อนไปยังชั้นไม้ แต่ก็ต้องลดความชื้นของชั้นไส้ของแผ่นก่อนอัดให้ต่ำๆ ไว้ เพื่อลดระยะเวลาในการอัดลง

### 2.8.7 การตัดริม การปรับความชื้น และการตกแต่งผิว

เมื่อแผ่นปาร์ติเกิ้ลค่อยๆ เย็นตัวลงหลังจากการอัดร้อนจนเท่ากับอุณหภูมิห้องแล้ว ให้นำมาทำการตัดขอบด้วยเครื่องตัดริม ขัดผิว (Sanding) แล้วกองเรียงแผ่นปาร์ติเกิ้ลไว้ในที่มีอากาศถ่ายเทสะดวก ป้องกันมิให้เกิดการบิดงอ และไม่ควรเก็บไว้ในที่มีอากาศร้อนเกินไปเป็นระยะเวลานานๆ เพราะจะทำให้สมบัติของแผ่นปาร์ติเกิ้ลเสื่อมคุณภาพได้

การตกแต่งผิวแผ่นปาร์ติเกิ้ล (Board finishing) เราสามารถกระทำได้ 3 วิธี คือ

- การปฏิบัติทางกล (Mechanical operations of treatments) การตกแต่งวิธีนี้ได้แก่ การตัดขนาดต่างๆ การเจาะรู การเจาะร่อง เป็นต้น
- การทาสีและการใช้กระดาษอบน้ำยาเคมีปะหน้า (Application of finishing or overlays) เช่น การลงพื้น ทาสี ชักเงา ใช้กระดาษพลาสติกปะหน้า ไม้บางปะหน้า หรือใช้แผ่นโลหะปะหน้า เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ใช้อบสารเคมีและอบความร้อน (Chemical and heat treatment) เช่น ใช้อบน้ำมัน (Oil treatment) ใช้อบอุณหภูมิ นาน 2-3 ชั่วโมง เป็นต้น

## 2.9 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความแข็งแรงและความคงขนาดของแผ่นปาร์ติเกิ้ล [9]

ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการเปลี่ยนแปลงสมบัติของแผ่นปาร์ติเกิ้ลได้แก่

1. ชนิดของไม้ (Species of wood) ว่าเป็นชนิดใด เช่น ไม้ใบแคบ ไม้ใบกว้างหรือไม้ที่นิยมกันในเชิงพาณิชย์ ไม้เนื้ออ่อนหรือไม้เนื้อแข็ง ไม้พื้นเมืองหรือไม้นำเข้า การผสมกันระหว่างไม้ 2 หรือมากกว่า 2 ชนิด ไม้โครงสร้างไฟเบอร์ (Fiber structure) ความหนาของไม้ (Density of woods) ความแข็ง (Hardness) ความสามารถในการบีบอัด (Compressibility)
2. รูปร่างและขนาดของไม้วัตถุดิบ (Form and size of raw wood) ว่าเป็นลักษณะไหน เช่น ไม้ท่อน (Logs) ปีกไม้ (Slabs) เศษไม้ ไม้ขอบ ไม้ตัดริม ชักป (Planer shaving) เศษเหลือไม้บาง (Veneer wastes or Scraps) และไส้ไม้ที่เหลือจากการลอกไม้บาง (Peeler cores) สำหรับผลกระทบของขนาดของชิ้นไม้และรูปร่างต่อการพองตัวตามความหนาของแผ่นปาร์ติเกิ้ล พบว่าเสถียรภาพความหนาดีขึ้นเมื่อใช้ชิ้นไม้ที่บาง และผลของรูปร่างต่อการพองตัวตามความหนาของแผ่นปาร์ติเกิ้ล พบว่าเสถียรภาพความหนาดีขึ้นเมื่อใช้ชิ้นไม้ที่บาง ปลอดภัยช่องว่างภายใน ผลคือการพองตัวตามความหนาจะน้อยลง
3. ไม้ติดเปลือก หรือลอกเปลือกออก (Wood with bark of debarked wood)
4. วัสดุที่ไม่ใช่ไม้ แต่เป็นวัสดุที่ให้เส้นใยลิกโนเซลลูโลส เช่น ปอ (Flax shives) ซานอ้อย (Baggasse) และพืชผลทางการเกษตรอื่นๆ
5. ชนิดและขนาดของชิ้นไม้ (Type and size of particle) เช่น ชิ้นไม้ที่ได้จากการตัดชิ้นไม้ ที่ได้จากการทำแตกเป็นส่วนๆ (Disintegrated) ชิ้นไม้ที่ได้จากการบดหรือฝน (Ground particle) และผง (Dust) ของชิ้นไม้ และพื้นที่ผิวของเฟลค
6. วิธีการอบชิ้นไม้ (Method of particles drying) เช่น ความชื้นต่ำสุดที่เหลืออยู่ในชิ้นไม้ อุณหภูมิระยะเวลาในการอบ ซึ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญในการควบคุมปฏิกิริยาของกาว เนื่องจากความร้อนจะถ่ายเทจากด้านนอกของแผ่นไปยังแกนกลางของแผ่น ยิ่งเวลาอบมากขึ้นอุณหภูมิที่แกนกลางก็มากขึ้นด้วย และยังทำให้การบ่มตัวมากขึ้น
7. การร่อนและการแยกไม้ (Particles screening and separating)
8. ชนิดและปริมาณของตัวประสาน (Type and amount of binding agent) เช่น กาว UF หรือกาวฟีนอล-ฟอร์มาลดีไฮด์ ปริมาณมักแสดงเป็นสัดส่วนน้ำหนักเนื้อกาวต่อน้ำหนักชิ้นไม้อบแห้ง นอกจากตัวประสาน ยังต้องคำนึงถึงการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) สารผสมสี (Extenders) สารตัวเติม (Filler) และสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เติมแต่งอื่นๆ เช่น สารกันน้ำ (Water repellent) สารกันเชื้อราแมลง (Fungicides, Insecticides) สารหน่วงไฟ (Fire retardants)

9. วิธีการฟอร์มแผ่นหรือการกระจายชิ้นไม้ (Particles spreading) และโครงสร้างของแผ่นชิ้นไม้อัด (Structure of particleboard) เช่น ชั้นเดียว (Uni-layer) หลายชั้น (Multilayer) แผ่นชั้นลดหลั่น (Graded board) การเรียงตัวของชิ้นไม้ (Particle orientation)

10. การเพิ่มความชื้นของชิ้นไม้ก่อนการอัดเพื่อให้เกิด Steam shock (Moisture of particle prior to pressing) ความชื้นของแผ่นชั้นสุดท้ายหลังการอัด (Final moisture content of board) ซึ่งได้แก่ ความชื้นเฉลี่ยและการลดหลั่นความชื้นภายในแผ่น (Average and moisture gradient) และการปรับสภาพของแผ่น (Conditioning)

11. สภาพการแข็งตัวของกาวและชั้นตอนการอัด ได้แก่ อุณหภูมิ แรงอัด ระยะเวลาใช้การอัดร้อน หน้าที่ของแผ่นกคความร้อนในการผลิตแผ่นปาร์ติเกิ้ลคือ การอัดให้เป็นแผ่นตามความหนาที่ต้องการ และทำให้กาวเกิดการยึดตัว (Polymerization) ระหว่างเนื้อวัสดุเป็น Cross-linked solid polymer ซึ่งจะยึดให้แผ่นคงรูปนี้ได้หลังจากเอาแรงกดออก เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาย่างขึ้น และใช้เวลาที่เหมาะสมในการผลิต

12. ความหนาแน่นของแผ่น ผลกระทบของความหนาแน่นของแผ่นต่อการพองความหนาของแผ่นชิ้นไม้อัด มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมของการคืนตัว ความหนาแน่นของแผ่นวัสดุที่สูงจะมีแรงอัดตัวมากกว่าแผ่นวัสดุที่มีความหนาแน่นต่ำกว่าเมื่อทำจากไม้ชนิดเดียวกัน ดังนั้นการพองความหนาจะเพิ่มขึ้น แต่ก็มีนักวิจัยบางท่านพบว่าไม่มีการเพิ่มหรือเปลี่ยนแปลงในการพองความหนา เมื่อความหนาแน่นของแผ่นชิ้นไม้อัดเพิ่มขึ้น

13. ปริมาณทรายในแผ่นปาร์ติเกิ้ล (Sand content of particleboard) ซึ่งเป็นผลเสียในการลดประสิทธิภาพการแปรรูปด้วยเครื่องจักรต่างๆ

14. คุณภาพของผิวหน้า (Surface quality) เช่น ความละเอียด ความหยาบ การเป็นคลื่น และสมบัติในการขัดกระดาษทราย

15. การรองพื้น (Priming) การเคลือบวานิชหรือแลคเกอร์

16. การทำประสาน (Lamination) การปะหน้าด้วยไม้บาง (Veneering) การปะหรือตกแต่งผิวหน้า (Overlaying)

## 2.10 มาตรฐานอุตสาหกรรมและการกำหนดคุณภาพ [7]

มาตรฐานอุตสาหกรรมและการกำหนดคุณภาพ (Standard requirements) และมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (Industrial standard) สำหรับในแต่ละประเทศนั้นมีการกำหนดที่คล้ายกัน จะต่างกันที่เพียงค่าสูงสุดต่ำสุดของแต่ละประเทศได้กำหนดไว้ โดยอาจดูจากสมบัติของไม้และแผ่นปาร์ติเกิ้ลของแต่ละประเทศ สมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของแผ่นปาร์ติเกิ้ลแนวราบที่ได้ตรวจสอบเป็นมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 876-2532 สามารถแสดงได้ดังตารางต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 สมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของแผ่นปาร์ติเกิ้ลแบบอัดแนวราบ

ลำดับที่	สมบัติ	เกณฑ์ที่กำหนด		
		ความหนาแน่นลิตรเมตร		
		3-6	เกิน 6 ถึง 19	เกิน 19 ถึง 50
1	การดูดซึมน้ำ ร้อยละไม่เกิน			
	- 2 ชั่วโมง	40	40	40
	- 24 ชั่วโมง	80	80	80
2	การพองตัวเมื่อแช่น้ำ ร้อยละ ไม่เกิน	8.0	12.0	12.0
3	ความต้านทานแรงดัด (เมกะพาสกาล) ไม่น้อยกว่า	18.0	13.8	12.5
4	มอดุลัสยืดหยุ่น (เมกะพาสกาล) ไม่น้อยกว่า	2,000	2,000	1,850
5	ความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า (เมกะพาสกาล) ไม่น้อยกว่า	0.80	0.34	0.20

ที่มา:มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นขึ้นไม้อัด มอก.876-2532

## 2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เกียรติการณ์ กุลนิตรธรรม และวสุวัตต์ เสียงหอม [20] ทำการวิจัยเรื่องการใช้กลีเซอรอลในกระบวนการแยกคืนเมทานอลจากเฟสไบโอดีเซล มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกลีเซอรอลมาใช้ในกระบวนการจัด เมทานอลจากเฟสไบโอดีเซล การผลิตไบโอดีเซลจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของน้ำมันพืชกับเมทานอลจะได้เมทิลเอสเตอ์ (ไบโอดีเซล) เป็นผลิตภัณฑ์หลักและกลีเซอรอลเป็นผลพลอยได้ เมื่อกลีเซอรอลดิบถูกแยกสารอินทรีย์ออกและปรับสภาพให้เป็นกลางแล้ว ผลการวิเคราะห์ปริมาณกลีเซอรอลโดยวิธีไทเทรเมตริกได้สารละลายกลีเซอรอลที่ความเข้มข้นประมาณ 60% และสามารถระเหยน้ำออกจนได้กลีเซอรอลที่มีความเข้มข้นประมาณ 80% ความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้กลีเซอรอลภายในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลเพื่อแยกคืน หรือขจัดแอลกอฮอล์จากเฟสไบโอดีเซลได้ถูกศึกษา ในการวิจัยนี้ไบโอดีเซลที่ได้ผ่านการแยกเฟสกลีเซอรอลออกแล้ว ได้มาจากโรงงานสาธิตการผลิตไบโอดีเซลของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ การศึกษาใช้กลีเซอรอลเกรดการค้า 99.5% และกลีเซอรอล 80% ทำการสกัดด้วยการกวนผสมและปล่อยให้แยกชั้น ศึกษาผลของการใช้สัดส่วนกลีเซอรอลต่อไบโอดีเซล 1:1-1:5 ที่อุณหภูมิห้อง ไบโอดีเซลเริ่มต้นมีเมทานอลประมาณ 4 – 5 % โดยน้ำหนัก ผลการใช้กลีเซอรอล 99.5% ในสัดส่วนกลีเซอรอลต่อไบโอดีเซลต่อ 1:3 พบว่าสามารถลดปริมาณเมทานอลที่เหลือประมาณ 1.7%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติเดช แก้วฉา ซัยคาน ก้องสุวรรณศิริ ภูวนาท ด้วงเสน วิชาญ ช่วยพันธ์ และวชรธรรม อุ๋นจิตติชัย [21] การวิจัยจากการนำไบยางพาราที่เหลือทิ้งจากการเกษตรมาใช้เป็นวัสดุทดลองในการผลิตแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ด โดยใช้ชนิดและปริมาณกาวที่แตกต่างกัน เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดจากไบยางพารา โดยการอัดในแนวราบด้วยเครื่องอัดร้อน แรงดันในการอัด 150 กก/ ซม<sup>2</sup>. อุณหภูมิในการอัด 150°C ใช้เวลาในการอัด 5 นาที ซีนไบยางพารามีความชื้นที่ 4.8 % โดยใช้กาว pMDI ที่ระดับปริมาณกาว 4% 7% และ 10% กาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ (UF) 13% และกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ (UF) 13% ผสมกับกาว pMDI 1% และ 2% ของปริมาณเนื้อกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ (UF) ทั้งหมด ผลจากการทดสอบค่าตามมาตรฐาน JIS A 5908 - 1994 พบว่าแผ่นขึ้นทดสอบที่ใช้กาว pMDI ที่ระดับปริมาณกาว 4% 7% และ 10% จะมีคุณสมบัติสูงกว่าแผ่นขึ้นทดสอบที่ใช้กาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ 13% และกาวผสมของทั้งสองสัดส่วน แผ่นขึ้นไบยางพาราอัดที่ใช้กาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ 13% ผสมกาว pMDI 1% และ 2% ของปริมาณเนื้อกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ทั้งหมด จะมีคุณสมบัติสูงกว่าแผ่นขึ้นทดสอบที่ใช้กาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ 13% อย่างเดียว นอกจากนี้จากการทดสอบ พบว่าแผ่นขึ้นทดสอบที่มีความหนาแน่นสูงจะมีค่าการพองตัว การดูดซึมน้ำ และความชื้นต่ำ แต่มีคุณสมบัติทางเชิงกลสูง โดยกาว pMDI ที่ระดับปริมาณกาว 10% มีความหนาแน่นสูงสุด สรุปได้ว่าคุณสมบัติของแผ่นขึ้นอัดจากไบยางพาราขึ้นอยู่กับชนิด และระดับปริมาณกาวที่ใช้ ซึ่งระดับปริมาณกาวที่สูงขึ้นจะมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติต่างๆ ของแผ่นขึ้นไบยางพาราอัด

นายกิตติศักดิ์ บัวศรี [22] การวิจัยการผลิตแผ่นฉนวนความร้อนจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการผลิต และสมบัติของแผ่นฉนวนความร้อนที่ใช้ฟางข้าวเป็นวัตถุดิบ และใช้กาวสังเคราะห์ยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เรซินเกรด EU-617 ทำหน้าที่เป็นสารยึดติด การผลิตแผ่นฉนวนความร้อนกระทำโดยวิธีการอัดร้อน โดยแผ่นที่ผลิตได้มีลักษณะเป็นแผ่นเรียบแบบชั้นเดียว มีขนาดกว้าง 350 มิลลิเมตร ยาว 350 มิลลิเมตร และหนา 9 มิลลิเมตร จากการศึกษากระบวนการผลิต พบว่าใช้อุณหภูมิในการอัดร้อนที่ 150-160 องศาเซลเซียส ความดันในการอัด 105 Kg/cm<sup>2</sup> เป็นเวลา 4 นาที ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตแผ่นฉนวนความร้อนที่มีความหนาแน่นระหว่าง 400-800 Kg/m<sup>3</sup> ที่ปริมาณกาวสังเคราะห์ 4% 8% 12% 16% และ 20% โดยน้ำหนักของซินปาร์ติเกิลแห้ง เมื่อศึกษาสมบัติเชิงความร้อน (ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 177) สมบัติเชิงกายภาพและเชิงกล (ตามมาตรฐาน มอก.876-2532 และ ASTM D 256 ตามลำดับ) ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าแผ่นฉนวนความร้อนจากฟางข้าวจัดเป็นฉนวนความร้อนที่ดีประเภทหนึ่ง ซึ่งพิจารณาจากค่าการนำความร้อนที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0.0564 - 0.0957 W/m.K ซึ่งขึ้นอยู่กับความหนาแน่น และปริมาณกาวสังเคราะห์ ค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนมีแนวโน้มลดลงเมื่อความหนาแน่น และปริมาณกาวสังเคราะห์ลดลง นอกจากนี้ผลการทดสอบปริมาณความชื้น การดูดซึมน้ำ การพองตัวเมื่อแช่น้ำ ค่าความต้านทานแรงกระแทก ค่ามอดูลัสแตกร้าว ค่ามอดูลัสยืดหยุ่น และค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า ซึ่งให้เห็นว่าแผ่นฉนวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความร้อนที่ผลิตโดยใช้ปริมาณกาวยสังเคราะห์ 12% และ 16% ที่ความหนาแน่นระหว่าง 600–700 Kg/m<sup>3</sup> นอกจากสามารถใช้เป็นฉนวนความร้อนที่ดีแล้ว ยังสามารถใช้เป็นแผ่นฉนวนกันไฟที่อัดความหนาแน่นปานกลาง ที่มีสมบัติตามมาตรฐาน มอก. 876-2532

วริญญา โลมรัตน์ ภัทราภรณ์ นภัชยเทพ และวรรณ อุ่นจิตติชัย [24] การวิจัยการผลิตแผ่นฉนวนกันไฟจากซีลีออลและเศษไม้สัก ได้ทำการศึกษาขนาดของซีลีออล และขนาดของเศษไม้สัก ควบคู่กับการศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิต ได้แก่ ปัจจัยการใช้ชนิดของกาวยที่แตกต่างกัน 3 ชนิดคือ กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ กาวยีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์ และกาวยไอโซไซยานเนต ชนิด polymeric diphenylmethane diisocyanate (pMDI) ผลการศึกษาพบว่าจากการทดสอบสมบัติด้านความแข็งแรงทั้ง 3 สมบัติ ได้แก่ ความต้านทานแรงดัด มอดูลัสยืดหยุ่น และความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นฉนวนกันไฟอัด พบว่าแผ่นฉนวนกันไฟอัดจากซีลีออลจะมีค่าที่สูงกว่าแผ่นฉนวนกันไฟอัดจากเศษไม้สักเกือบทุกชนิดของกาวย ยกเว้นกาวยีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์ 7% จะให้ค่าความต้านทานแรงดัด มอดูลัสยืดหยุ่น และความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าต่ำกว่า ส่วนสมบัติด้านความคงขนาดเมื่อแช่น้ำปรากฏว่าแผ่นฉนวนกันไฟอัดจากซีลีออลจะให้ค่าที่ต่ำกว่าแผ่นฉนวนกันไฟอัดจากเศษไม้สักทุกชนิดกาวยที่ใช้ กล่าวคือแผ่นฉนวนกันไฟอัดจากซีลีออลจะคงความคงขนาดเมื่อแช่น้ำได้ดีกว่าแผ่นฉนวนกันไฟอัดจากเศษไม้สักไม่ว่าจะผลิตด้วยกาวยชนิดใดก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกับคุณสมบัติแผ่นปาร์ติเกิลกับเกณฑ์กำหนดมาตรฐาน JIS A 5908(1994) พบว่าแผ่นฉนวนกันไฟอัดจากซีลีออลจะมีคุณสมบัติดีกว่าแผ่นฉนวนกันไฟอัดจากเศษไม้สัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### การดำเนินการวิจัย

#### 3.1 สารเคมี

1. หญ้าคา
2. ผงกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ (Urea formaldehyde) 50% โดยน้ำหนัก บริษัท Casco Adhesive (Asia) Pte Ltd, No.14 Sungel kadut way
3. กลีเซอรอล (Glycerol) เกรด Analytical จากบริษัท Carlo Erba
4. กลีเซอรอล (Glycerol) ที่เป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้จากกระบวนการไบโอดีเซล
5. กรดซัลฟิวริก ( $H_2SO_4$ ) 98%
6. กรดกลูตาลิก (Glutaric acid) 99% เกรด Analytical จากบริษัท ACROS
7. เฮกเซน (Hexane) เกรดการค้า

#### 3.2 อุปกรณ์

1. บีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. แท่งแก้วคนสาร
3. เทอร์โมมิเตอร์
4. แท่นปั่นกวนให้ความร้อน รุ่น Fabar-Nr 15582 และ magnetic bar
5. เครื่องชั่งสาร รุ่น TS4000D บริษัท OHAUS
6. เครื่องวัดความชื้น SARTORIUS บริษัท Scienpific Paomot Co.Ltd (กรมป่าไม้)
7. เครื่องบดข่อย (กรมป่าไม้)
8. เครื่องร่อนแยกขนาด (sieve analysis) 4 ระดับ (กรมป่าไม้)
9. เครื่องผสมกาวและหัวฉีดสำหรับพ่นกาว (กรมป่าไม้)
10. บล็อกแม่พิมพ์สำหรับโรยแผ่น ขนาด 25x25 ตารางเซนติเมตร
11. แผ่นโลหะและแผ่นเทฟลอนสำหรับการอัดร้อน (กรมป่าไม้)
12. แท่งเหล็กกำหนดความหนาชิ้นงานความสูง 1 เซนติเมตร (กรมป่าไม้)
13. เครื่องอัดความร้อน (Hot pressing machine) (กรมป่าไม้)
14. เครื่องเลื่อยวงเดือน (กรมป่าไม้)
15. เวอร์เนียร์ และไมโครมิเตอร์
16. เครื่องทดสอบแรงเชิงกล (Type; BBMTGL-500 kg, The Testometric Co.,Ltd) (กรมป่าไม้)
17. เครื่องกรองแบบลดความดัน
18. กระดาษกรองเบอร์ 5A บริษัท ADVANTEC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

19. เครื่อง Rotary Vacuum Evaporator รุ่น N-N SERIES บริษัท EYELA
20. เครื่องวัดความหนืด Cannon Rotary Viscometer รุ่น LV2000
21. เครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรมิเตอร์ [Nuclear Magnetic Resonance Spectrometer (NMR)] บริษัท BRUKER รุ่น AVANCE DPX 300
22. เครื่องควบคุมอุณหภูมิ (Thermostat)
23. แท่นให้ความร้อน (Hot plate)

### 3.3 วิธีการทดลอง

#### 3.3.1 การเตรียมกาว

##### 3.3.1.1 กาวสังเคราะห์พอลิเอทีเทอร์ (กาว E)

1. ปิเปตกลีเซอรอล 20 มล. และกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 98% ปริมาณ 0.4 มล. ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 100 มล. ใช้แท่งแม่เหล็กปั่นกวน ที่ความเร็วรอบ 300 รอบ/นาที
2. ให้ความร้อนโดยแท่นให้ความร้อน และใช้เทอร์โมมิเตอร์ 200 °C ควบคุมอุณหภูมิสารภายในบีกเกอร์ ควบคุมอุณหภูมิให้ไม่เกิน 150 °C โดยใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
3. ทดสอบความสามารถในการละลายน้ำของกาว E ที่เตรียมได้
4. พิสูจน์เอกลักษณ์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ด้วยเทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโคปี
5. เตรียมกาว E ในน้ำกลั่นให้มีความหนืดอยู่ในช่วง 160-170 cP ซึ่งเป็นความหนืดของกาว UF เข้มข้นร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก โดยใช้เครื่องวัดความหนืด Cannon Rotary Viscometer

##### 3.3.1.2 กาวสังเคราะห์พอลิเอทีเทอร์/พอลิเอสเทอร์ที่มีปริมาณกรดกลูตาลิก 10% โดยน้ำหนัก กลีเซอรอล (กาว EES10)

1. ชั่งกรดกลูตาลิก 9.0164 กรัม และปิเปตกลีเซอรอล 45 มล. ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 100 มล.
2. ใช้แท่งแม่เหล็กปั่นกวน ที่ความเร็วรอบ 300 รอบ/นาที เป็นเวลา 25 นาที จากนั้นเติมกรดซัลฟิวริก เข้มข้น 98% ปริมาณ 0.9 มล.
3. ให้ความร้อนโดยแท่นให้ความร้อน และใช้เทอร์โมมิเตอร์ 200 °C ควบคุมอุณหภูมิสารภายใน บีกเกอร์ ควบคุมอุณหภูมิให้ไม่เกิน 150 °C โดยใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ เป็นเวลา 90 นาที
4. ทดสอบความสามารถในการละลายน้ำของกาวพอลิเอสเทอร์ที่เตรียมได้
5. พิสูจน์เอกลักษณ์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ด้วยเทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโคปี
6. เตรียมกาว EES10 ในน้ำกลั่นให้มีความหนืดอยู่ในช่วง 160-170 cP ซึ่งเป็นความหนืดของ กาว UF เข้มข้นร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก โดยใช้เครื่องวัดความหนืด Cannon Rotary Viscometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**3.3.1.3 กาวสังเคราะห์พอลิเอเทอร์/พอลิเอสเทอร์ที่มีปริมาณกรดกลูตาลิก 8% โดยน้ำหนัก  
กลีเซอรอล (กาว EES8)**

เตรียมเหมือนข้อ 3.3.1.2 แต่ใช้น้ำหนักกรดกลูตาลิก 7.8404 กรัม

**3.3.1.4 กาวสังเคราะห์พอลิเอเทอร์/พอลิเอสเทอร์ที่มีปริมาณกรดกลูตาลิก 6% โดยน้ำหนัก  
กลีเซอรอล (กาว EES6)**

เตรียมเหมือนข้อ 3.3.1.2 แต่ใช้น้ำหนักกรดกลูตาลิก 7.64 กรัม

**3.3.1.5 กาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ (กาว UF)**

เตรียมกาว UF เข้มข้นร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก นำผงกาว UF มาละลายน้ำ โดยใช้ปริมาณผงกาว UF ต่อ น้ำเป็นสัดส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก เช่น ใช้ผงกาว 20 กรัม จะต้องใช้น้ำ 20 กรัมเช่นกัน นำไปวัดความหนืด จะได้ความหนืดอยู่ในช่วง 160-170 cP ด้วยเครื่องวัดความหนืด Cannon Rotary Viscometer

**3.3.2 การนำกลีเซอรอลที่เป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลมาทำให้บริสุทธิ์**

1. นำกลีเซอรอลจากกระบวนการผลิต ไบโอดีเซลมาเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 98% เพื่อให้เป็นกลาง แล้วนำไปเข้าเครื่องระเหยสารแบบหมุนเหวี่ยง ที่ความดัน 230 เมกะปาสกาล อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที
2. นำสารที่ได้จากการควบแน่น (สาร A) มาพิสูจน์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี [Infrared Spectroscopy (IR)]
3. ใช้เฮกเซน (hexane) สกัดสารที่เหลือจากการระเหยแล้วนำไปกรอง
4. นำของเหลวที่ได้จากการกรองไปเข้าเครื่องระเหยสารแบบหมุนเหวี่ยง เพื่อระเหยเฮกเซนออก ที่ความดัน 200 เมกะปาสกาล อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที
5. หลังจากนั้นเมื่อทิ้งสารไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง สารจะแยกออกเป็นสองชั้น [ชั้นบนเป็นของเหลว (สาร C) และชั้นล่างเป็นของแข็ง (สาร D)]
6. นำสารทั้งสองชั้นและตะกอน (สาร B) ที่ได้จากการกรองไปพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโคปี

**3.3.3 การเตรียมวัตถุดิบ**

1. นำหญ้าคาแห้งมาทำการบดย่อยด้วยเครื่องบดย่อย
2. นำหญ้าคาที่ได้มาอบให้มีความชื้นไม่เกิน 10% (เทียบกับน้ำหนักอบแห้งของหญ้าคา)
3. ทำการร่อนแยกขนาดอย่างหยาบผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ 4 ชั้น โดยชั้นที่ 1 อนุภาคจะมีขนาดใหญ่ที่สุด ชั้นที่ 2 และ 3 มีขนาดรองลงมา และชั้นที่ 4 อนุภาคขนาดเล็กที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 เครื่องร่อนแยกขนาด 4 ระดับ (กรมป่าไม้)

4. นำอนุภาคหุ้าคาในชั้นที่ 2 และ 3 ซึ่งมีขนาดอยู่ในช่วง 5-60 มม. มาใช้ในการผลิตแผ่นปาร์ติเกิ้ล

5. นำหุ้าคาที่ผ่านการร่อนแยกขนาดแล้วไปวัดค่าความชื้น (Moisture content, MC) ที่มีอยู่ในหุ้าคา

โดยใช้เครื่องวัดความชื้น SARTORIUS



รูปที่ 3.2 เครื่องวัดความชื้น SARTORIUS (กรมป่าไม้)

### 3.3.4 การผลิตแผ่นปาร์ติเกิ้ล

1. ปริมาณสารที่ใช้ในการผลิตแผ่นหุ้าคาอัด

ปริมาณสารทั้งหมดที่ใช้คือ ใช้กาวยูเรียฟอรัมาลดีไฮด์ปริมาณ 15% โดยน้ำหนักแห้งของหุ้าคา ซึ่งจากงานวิจัยของขวัญชนก เจริญสุขและคณะ [25] ใช้กาวกลีเซอรอลปริมาณน้ำหนักกาวแห้ง 15% โดยน้ำหนักแห้งของหุ้าคา โดยทำการเตรียมแผ่นหุ้าคาอัด 3 ชั้นต่อชนิดกาวที่ใช้ สำหรับการทดสอบสมบัติเชิงกลในขั้นตอนต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. สภาวะในการผลิตแผ่นปาร์ติเกิ้ล

ตารางที่ 3.1 แสดงสมบัติของแผ่นไม้และสภาวะที่กำหนดในการผลิตแผ่นปาร์ติเกิ้ล

สมบัติ/สภาวะ	ค่าที่กำหนด
1. ความหนาแน่นของแผ่น	750 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
2. ขนาดของแผ่น	25x25 ตารางเซนติเมตร
3. ความหนาของแผ่น	1 เซนติเมตร
4. ความชื้นของชิ้นไม้ก่อนผสมกาว	น้อยกว่า 15%

ที่มา: มาตรฐานอุตสาหกรรมแผ่นชิ้นไม้อัด มอก. 876-2532

## ตัวอย่างการคำนวณ

หากต้องการแผ่นปาร์ติเกิ้ลขนาด 25x25 ตารางเซนติเมตร ความสูง 1 เซนติเมตร ความหนาแน่น 0.75 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

ถ้าใช้กาว UF 15% โดยน้ำหนัก และหน้ำาคาที่มีการบดขยี้ก่อนทำการผสมกาวมีความชื้นเท่ากับ 10%

จาก

$$\text{ความหนาแน่น} = \frac{\text{น้ำหนัก}}{\text{ปริมาตร (ลูกบาศก์เซนติเมตร)}}$$

$$D = \frac{m}{v} \quad (\text{kg/m}^3)$$

$$m = Dv$$

จะได้ น้ำหนักหน้ำาคา + น้ำหนักกาว =  $0.75 \times 25 \times 25 \times 1 = 468.75$  กรัม

ในการคำนวณให้ น้ำหนักหน้ำาคาเป็นตัวแปร X และ น้ำหนักกาวแห้งเป็นตัวแปร Y

(ปริมาณกาวแห้ง 15% = 0.15X)

จากสมการ  $X + Y = 468.75$  กรัม

$$X + 0.15X = 468.75 \quad \text{กรัม}$$

$$X = 407.61 \quad \text{กรัม}$$

จะได้  $Y = 468.75 - 407.61$  กรัม

$$Y = 61.14 \quad \text{กรัม}$$

น้ำหนักกาว 50% ที่ต้องใช้ =  $\frac{61.14 \times 100}{50} = 122.28$  กรัม

วัดความชื้นในหน้ำาคามีปริมาณความชื้นเท่ากับ 10%

แสดงว่า  $\text{หน้ำาคา} = 100$  กรัม

เป็นหน้ำาคาที่มีความชื้น = 110 กรัม

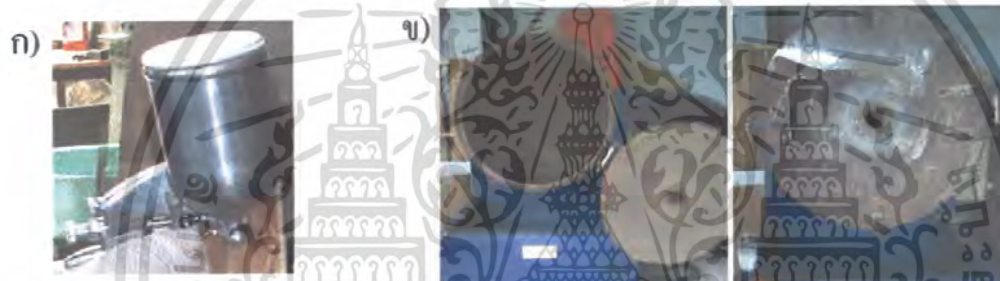
ปริมาณหน้ำาคาที่ใช้ที่ความชื้น 10% =  $407.61 \times 1.10 = 448.371$  กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณหัวคา+ปริมาณกาวที่ใช้โรยแผ่น	=	448.371 + 122.28	~ 570.65	กรัม
ปริมาณเนื้อไม้ 15% เพื่อป้องกันการบิดของหัวคาที่เครื่องมือผสมกาว				
ปริมาณหัวคาที่ใช้ที่ความชื้น 10%	=	448.371 x 1.15	= 515.63	กรัม
ปริมาณกาวที่ใช้	=	122.28 x 1.15	= 140.622	กรัม

### 3.3.5 การผสมและพ่นกาว

นำหัวคาเข้าเครื่องผสมกาวและปิดฝาให้สนิท เมื่อเปิดมอเตอร์เครื่องจะหมุน จากนั้นนำกาวใส่ในช่องใส่กาวแล้วพ่นกาวออกมาทางหัวฉีด เพื่อให้กาวได้เคลือบเคล้ากับหัวคากระจายไปทั่วๆ เมื่อกาวหมดให้หยุดมอเตอร์ เปิดฝา แล้วนำหัวคาที่ผสมกาวแล้วออกมา นำไปซึ่งให้ได้น้ำหนักในการผลิตเพื่อนำไปอัดแผ่นในขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 3.3 อุปกรณ์สำหรับการผสมและพ่นกาว ก) หัวฉีดสำหรับพ่นกาว ข) ถังผสมกาว (กรมป่าไม้)

### 3.3.6 การเตรียมแผ่นและการอัด

นำหัวคาที่ผสมกาวแล้วมาโรยลงในบล็อกแม่พิมพ์สำหรับโรยแผ่นที่ปูด้วยเทฟลอน จากนั้นเกลี่ยให้ผิวสม่ำเสมอ ปูเทฟลอนทับและแผ่น โลหะมาประกบ แล้วเข้าเครื่องอัดร้อนนำแท่งแม่เหล็กกำหนดความหนาмаกัันระหว่างแผ่นโลหะ เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีความหนา 1 เซนติเมตร

สภาวะของเครื่องอัดร้อน [24]

- อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส
- ความดัน 170 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
- เวลา 20 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 บล็อกแม่พิมพ์สำหรับโรยแผ่น (กรมป่าไม้)



รูปที่ 3.5 เครื่องอัดรีด (กรมป่าไม้)

### 3.3.7 การตัดริม

แผ่นปาร์ติเกิ้ลที่ออกจากเครื่องอัดรีดควรนำพักทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องอย่างน้อย 1 วันก่อน จึงค่อยนำขึ้นงานไปทำการตัดและทดสอบ และแผ่นปาร์ติเกิ้ลที่ได้อาจมีขอบไม่เรียบ จึงทำการตัดริมทิ้งประมาณ 1 เซนติเมตรและตกแต่งเพื่อให้สวยงาม

### 3.3.8 การทดสอบ [7]

ทดสอบสมบัติต่างๆ ของแผ่นปาร์ติเกิ้ลตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นปาร์ติเกิ้ล (มอก. 876-2532) งานวิจัยนี้ทำการทดสอบความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า ความต้านทานแรงดัด มอดูลัสยืดหยุ่น การพองตัวเมื่อแช่น้ำ ความหนาแน่นและปริมาณความชื้นของแผ่นปาร์ติเกิ้ล

#### 3.3.8.1 ความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า (Internal Bond:IB)

##### เครื่องมือ

- 1) เครื่องดึงซึ่งสามารถให้แรงดึงเพื่อแยกชิ้นทดสอบออกให้ได้เวลาไม่น้อยกว่า 30 วินาที และไม่เกิน 120 วินาที
- 2) แผ่นดึงซึ่งทำด้วยไม้หรือโลหะที่เหมาะสม ขนาดไม่น้อยกว่า 50x50 ตารางมิลลิเมตร ความหนาตามความเหมาะสม

##### วิธีทดสอบ

- 1) ตัดผิวหน้าทั้งสองของชิ้นทดสอบขนาด 50x50 ตารางมิลลิเมตร กับแผ่นดึงโดยใช้กาวร้อนซึ่งเป็นกาวสังเคราะห์ที่มีแรงยึดมากกว่าแรงยึดในตัวชิ้นทดสอบ
- 2) นำชิ้นทดสอบที่เตรียมได้นำไปเข้าเครื่องดึง ดึงให้ชิ้นทดสอบแยกออกจากกัน ใช้อัตราเร็วเท่ากับ 10 มิลลิเมตรต่อนาที โดยอัตราการเพิ่มแรงดึงต้องเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ เวลาที่ใช้ตั้งแต่เริ่มดึงจนกระทั่งชิ้นทดสอบแยกออกจากกันต้องไม่น้อยกว่า 30 วินาที และไม่เกิน 120 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 การทดสอบความต้านทานแรงดึงดึงจากกับผิวหน้า (กรมป่าไม้)

วิธีการคำนวณ

หาค่าความต้านทานแรงดึงดึงจากกับผิวหน้าจากสูตร

$$\text{ความต้านทานแรงดึงดึงจากกับผิวหน้า (เมกะปาสคัล)} = \frac{\text{แรงดึงสูงสุด (นิวตัน)}}{\text{ความกว้าง (มม.)} \times \text{ความยาว (มม.)}}$$

การรายงานผล รายงานค่าเฉลี่ยของความต้านทานแรงดึงดึงจากกับผิวหน้า

3.3.8.2 ความต้านทานแรงค้ำ (Modulus of rupture: MOR) และมอดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity: MOE)

เครื่องมือ

1) เครื่องกด ซึ่งวัดแรงกดได้ละเอียดถึง 5 นิวตัน หรือร้อยละ 5 ของแรงกดสูงสุดที่ขึ้นทดสอบรับได้ หัวกดต้องมีปลายส่วนที่ใช้กดเป็นรูปครึ่งวงกลม มีรัศมี 10 ถึง 13 มิลลิเมตร และมีความยาวไม่น้อยกว่าความกว้างของขึ้นทดสอบ

2) แท่นรองรับต้องมีลักษณะหน้าตัดเป็นรูปครึ่งวงกลมหรือรูปวงกลม มีรัศมี 10 ถึง 13 มิลลิเมตร ความยาวไม่น้อยกว่าความกว้างของขึ้นทดสอบ

3) มาตรการแอนตัว ซึ่งอ่านค่าได้ละเอียดถึง 0.01 มิลลิเมตร

วิธีการทดสอบ

1) วางขึ้นทดสอบขนาด 200 x 50 ตารางมิลลิเมตรลงบนแท่นรองรับซึ่งมีระยะห่าง 16 เท่าของความหนาของขึ้นทดสอบ (ให้ปิดตัวเลขที่ได้เป็นเลขจำนวนเต็มของ 10 มิลลิเมตรที่ใกล้เคียง) ให้ปลายขึ้นทดสอบยื่นออกไปจากจุดที่รองรับประมาณข้างละ 25 มิลลิเมตรเท่าๆ กัน

เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ให้แรงกดลงบนจุดกึ่งกลางของชิ้นทดสอบ โดยมีอัตราการเพิ่มแรงกดอย่างสม่ำเสมอเท่ากับ 10 มิลลิเมตรต่อนาที เวลาที่ใช้ตั้งแต่เริ่มกดจนกระทั่งชิ้นทดสอบหักต้องไม่น้อยกว่า 30 วินาที และไม่เกิน 120 วินาที

3) คำนวณและรายงานค่าเฉลี่ยของความต้านทานแรงคดและมอดูลัสยืดหยุ่น



รูปที่ 3.7 การทดสอบความต้านทานแรงคดและมอดูลัสยืดหยุ่น (กรมป่าไม้)

วิธีการคำนวณ

1) ความต้านแรงคด หาค่าความต้านแรงคดจากสูตร

$$F = \frac{3Wl}{2bd^2}$$

- เมื่อ F คือ ความต้านทานแรงคด (MPa)  
 W คือ แรงกดสูงสุดที่ชิ้นทดสอบรับได้ (นิวตัน)  
 l คือ ระยะห่างของแท่นรองรับ (มิลลิเมตร)  
 b คือ ความกว้างของชิ้นทดสอบ (มิลลิเมตร)  
 d คือ ความหนาเฉลี่ยของชิ้นทดสอบ (มิลลิเมตร)

2) มอดูลัสยืดหยุ่น หาค่ามอดูลัสยืดหยุ่นจากสูตร

$$E = \frac{\Delta w l^2}{4bd^2 \Delta s}$$

- เมื่อ E คือ มอดูลัสยืดหยุ่น (MPa)  
 l คือ ระยะห่างของแท่นรองรับ (มิลลิเมตร)

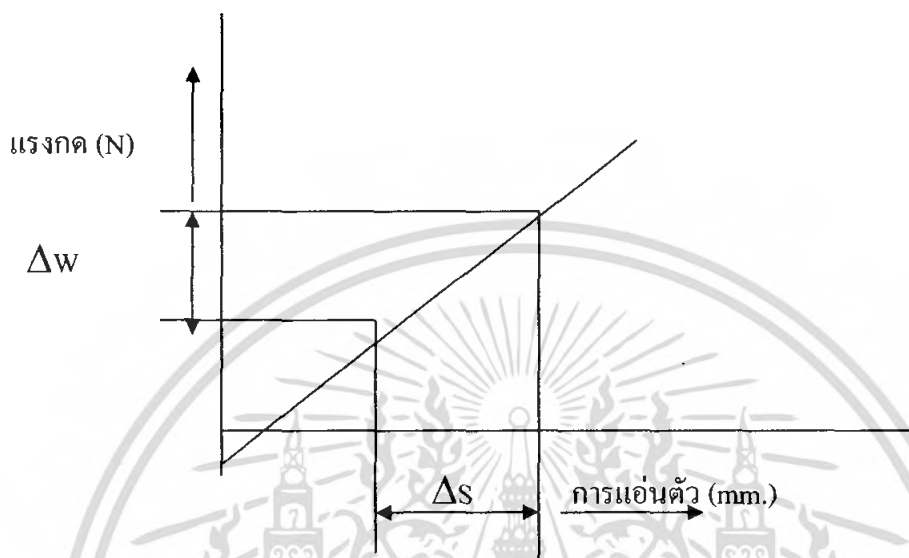
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับสื่อการเรียนการสอนที่เผยแพร่โดยไม่คิดค่าลิขสิทธิ์ในชื่อโครงการความร่วมมือทางวิชาการ  
 $\Delta W$  คือ แรงกดที่เพิ่มขึ้นในช่วงที่เส้นกราฟเป็นเส้นตรง (นิวตัน) ดังรูป 3.8  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

b คือ ความกว้างของชั้นทดสอบ (มิลลิเมตร)

d คือ ความหนาเฉลี่ยของชั้นทดสอบ (มิลลิเมตร)

$\Delta S$  คือ ระยะแอนตัวที่เพิ่มขึ้นในช่วงที่เส้นกราฟเป็นเส้นตรง (มิลลิเมตร) ดังรูป 3.8

การรายงานผล รายงานค่าเฉลี่ยของความต้านแรงตัดและมอดูลัสยืดหยุ่น



รูปที่ 3.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดกับการแอนตัว [7]

### 3.3.8.3 การพองตัวเมื่อแช่น้ำ (Thickness swelling)

#### เครื่องมือ

- ไมโครมิเตอร์ที่วัดละเอียดถึง 0.05 มิลลิเมตร

#### วิธีทดสอบ

1) นำชั้นทดสอบขนาด 50x50 ตารางมิลลิเมตร ทำเครื่องหมายตำแหน่งที่วัดความหนาของชั้นทดสอบ 4 ตำแหน่ง แล้วหาค่าเฉลี่ยเป็นความหนาก่อนแช่น้ำ

2) แช่ชั้นทดสอบในน้ำสะอาดที่อุณหภูมิห้อง โดยตั้งชั้นทดสอบให้ได้ตั้งฉากกับระดับผิวน้ำ ให้ขอบบนอยู่ได้ระดับผิวน้ำประมาณ 25 มิลลิเมตร แต่ละชั้นต้องห่างจากกัน และต้องห่างผนังและก้นภาชนะที่ใส่น้ำไม่น้อยกว่า 10 มิลลิเมตร

3) เมื่อแช่ชั้นทดสอบครบ 1 ชั่วโมงแล้ว รีบนำชั้นทดสอบขึ้นมาซับน้ำที่ผิวออกให้หมดด้วยผ้าหมาด แล้วปล่อยให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง โดยวางให้ขอบด้านใดด้านหนึ่งอยู่บนแผ่นวัสดุที่ไม่ดูดซับน้ำ เช่น พลาสติก กระดาษ

4) เมื่อปล่อยให้ชั้นทดสอบไว้ครบ 2 ชั่วโมงแล้ว นำชั้นทดสอบขึ้นมาวัดความหนาตามตำแหน่งเดิม แล้วหาค่าเฉลี่ยเป็นความหนาหลังแช่น้ำ



รูปที่ 3.9 การทดสอบการพองตัวของไม้ (กรมป่าไม้)

#### วิธีการคำนวณ

หาค่าการพองตัวของไม้จากสูตร

$$\text{การพองตัว (\%)} = \frac{\text{ความหนาหลังแช่น้ำ (มม.)} - \text{ความหนาหน้าแช่น้ำ (มม.)}}{\text{ความหนาหน้าแช่น้ำ (มม.)}} \times 100$$

การรายงานผล รายงานค่าเฉลี่ยการพองตัวของไม้เป็นร้อยละ

#### 3.3.8.4 ทดสอบหาความหนาแน่นของแผ่นฉนวน

##### เครื่องมือ

1. เครื่องชั่ง ที่ละเอียดถึง 0.01 กรัม
2. ไมโครมิเตอร์หรือเครื่องมือวัดความหนาที่เทียบเท่า ที่วัดได้ละเอียดถึง 0.05 มม.
3. แคลิเปอร์แบบเลื่อน (Sliding caliper) หรือเครื่องมือวัดอื่นที่เทียบเท่า อ่านได้ละเอียดถึง 0.1 มม.

##### วิธีทดสอบ

- 1) ชั่งชิ้นทดสอบให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน
- 2) วัดความหนาตรงจุดกึ่งกลางของชิ้นทดสอบ
- 3) วัดความกว้างและความยาวของชิ้นทดสอบ โดยวางเครื่องมือให้ทำมุมกับแนวระนาบของ

ชิ้นทดสอบประมาณ 45°

##### วิธีการคำนวณ

หาความหนาแน่นจากสูตร

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $m$  คือน้ำหนักของชิ้นทดสอบ (กรัม)

$V$  คือ ปริมาตรของชิ้นทดสอบ (ลูกบาศก์มิลลิเมตร)

การรายงานผล รายงานค่าความหนาแน่นและความหนาแน่นเฉลี่ย

### 3.3.8.5 ทดสอบความชื้นของแผ่นปาร์ติเกิ้ล

#### เครื่องมือ

1. เครื่องชั่งที่ชั่งละเอียดถึง 0.01 กรัม
2. ตู้อบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ ที่  $103 \pm 2$  องศาเซลเซียส
3. เตาชั่งเตเตอร์

#### วิธีทดสอบ

- 1) นำชิ้นทดสอบที่ผ่านการทดสอบตามข้อ 3.3.8.4 เป็นน้ำหนักของชิ้นทดสอบก่อนอบ
- 2) อบชิ้นทดสอบในตู้อบที่อุณหภูมิ  $103 \pm 2$  องศาเซลเซียส จนได้น้ำหนักคงที่ คือมวลของชิ้นทดสอบเมื่อชั่ง 2 ครั้ง ที่เวลาห่างกัน 6 ชั่วโมงต้องไม่แตกต่างกันเกิน 0.1% ของน้ำหนักชิ้นทดสอบ
- 3) นำมาใส่ในเตาชั่งเตเตอร์ปล่อยให้เย็น
- 4) ชั่งชิ้นทดสอบ เป็นน้ำหนักของชิ้นทดสอบหลังอบแห้ง

#### วิธีการคำนวณ

หาค่าปริมาณความชื้นจากสูตร

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักของชิ้นทดสอบก่อนอบ} - \text{น้ำหนักของชิ้นไม้ทดสอบหลังอบแห้ง}}{\text{น้ำหนักของชิ้นไม้ทดสอบหลังอบแห้ง}} \times 100$$

การรายงานผล รายงานค่าเฉลี่ยของปริมาณความชื้น

## บทที่ 4

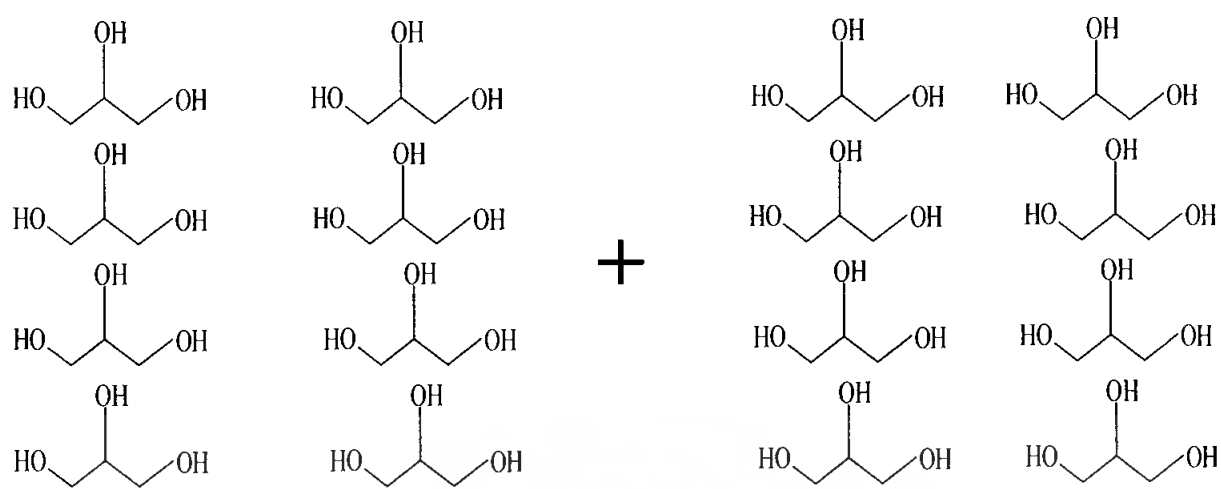
### ผลการทดลองและอภิปราย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการทดลองผลิตกาวสำหรับอัดแผ่นปาร์ติเกิ้ลจากหญ้าคาชนิดความหนาแน่นปานกลาง โดยศึกษาการสังเคราะห์กาวจากกลีเซอรอล ได้แก่ กาวสังเคราะห์พอลิเอเทอร์ (กาวE) และกาวสังเคราะห์พอลิอีเทอร์/พอลิเอสเทอร์ที่มีปริมาณกรดกลูตาลิก 6% 8% และ 10% โดยน้ำหนักกลีเซอรอล (กาว EES6 กาว EES8 และกาว EES10) เพื่อนำไปใช้เป็นสารยึดในการผลิตแผ่นปาร์ติเกิ้ลความหนาแน่นเท่ากับ 750 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ขนาด 25×25×1 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยใช้ขนาดอนุภาคหญ้าคาที่ได้จากการร่อนแยกขนาดอย่างหยาบในชั้นที่ 2 และชั้นที่ 3 ซึ่งมีขนาดอยู่ในช่วง 5-60 เมช ในการผลิตแผ่นปาร์ติเกิ้ล และทำการทดสอบแผ่นปาร์ติเกิ้ลที่ได้ เปรียบเทียบค่าที่ได้กับแผ่นปาร์ติเกิ้ลที่ใช้กาว UF เป็นสารยึด โดยศึกษาผลของชนิดของกาวที่เหมาะสมในการผลิตแผ่นปาร์ติเกิ้ล และปริมาณกรดกลูตาลิกที่ใช้เติมในการสังเคราะห์กาว EES ที่มีผลต่อสมบัติความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า (Internal Bond:IB) ความต้านทานแรงค้ำ (Modulus of Rupture:MOR) โมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity:MOE) การพองตัวเมื่อแช่น้ำ (Thickness swelling) และการบวมตัวที่อุณหภูมิห้อง

นอกจากนี้ยังศึกษาวิธีอย่างง่ายในการนำกลีเซอรอลที่เป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ที่ได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลมาทำให้บริสุทธิ์ ซึ่งสามารถยืนยันผลการทดลองที่ได้โดยใช้เทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี เพื่อพิสูจน์หมู่ฟังก์ชัน และใช้เทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโคปี เพื่อพิสูจน์เอกลักษณ์

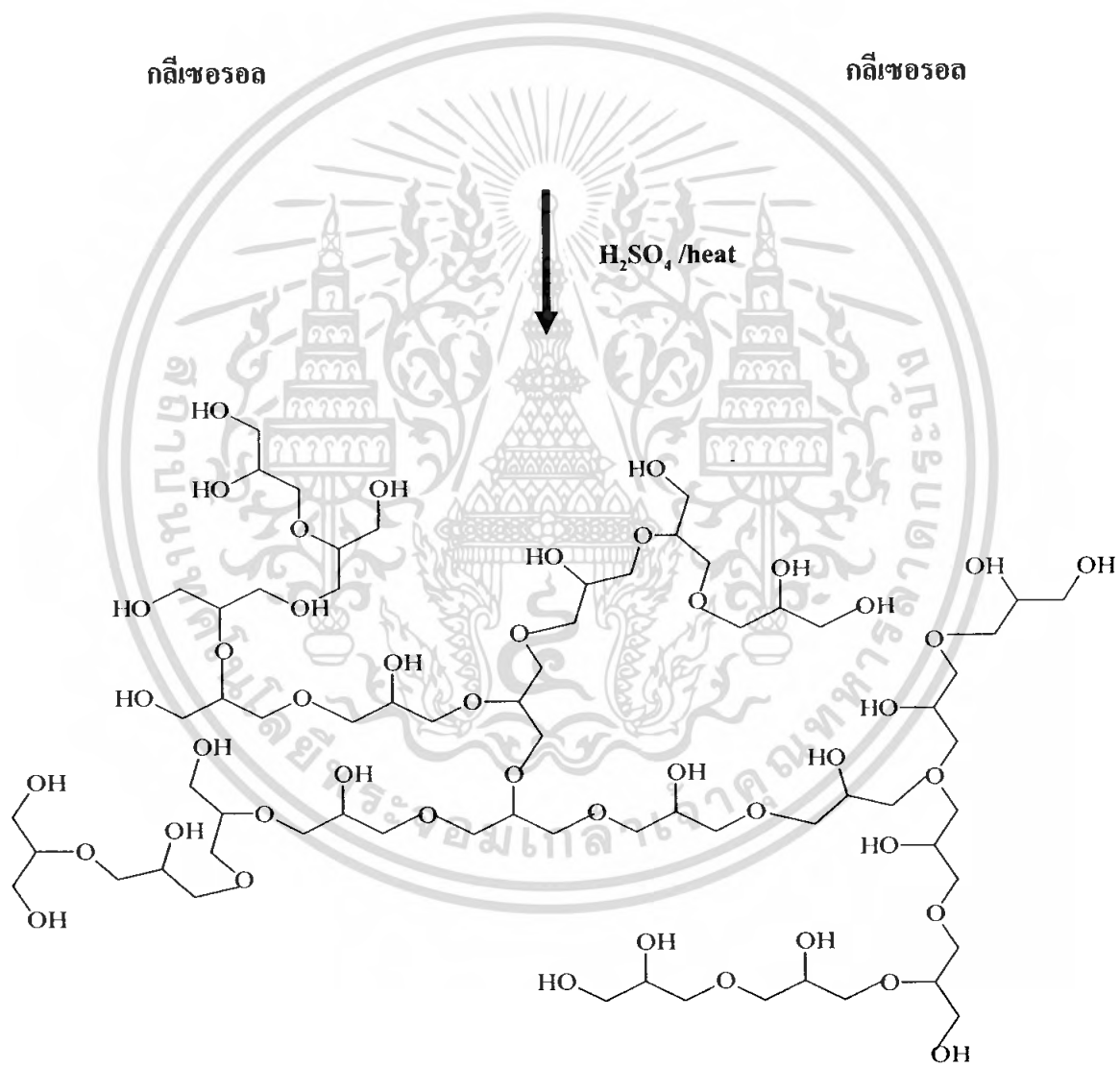
#### 4.1 ผลการพิสูจน์เอกลักษณ์ของกาวสังเคราะห์พอลิอีเทอร์/พอลิเอสเทอร์

จากการสังเคราะห์กาว E และกาว EES ที่สังเคราะห์ได้ด้วยวิธีการในบทที่ 3 (หัวข้อ 3.3.1.1 3.3.1.2 3.3.1.3 และ 3.3.1.4) จะแสดงสมการการเกิดปฏิกิริยาเคมีได้ดังรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 และจากการพิสูจน์เอกลักษณ์ของกาว E กาว EES6 กาว EES8 และกาว EES10 ด้วยเทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโคปี แสดงผลดังรูปที่ 4.3 ถึงรูปที่ 4.6 ตามลำดับ



กลีเซอรอล

กลีเซอรอล

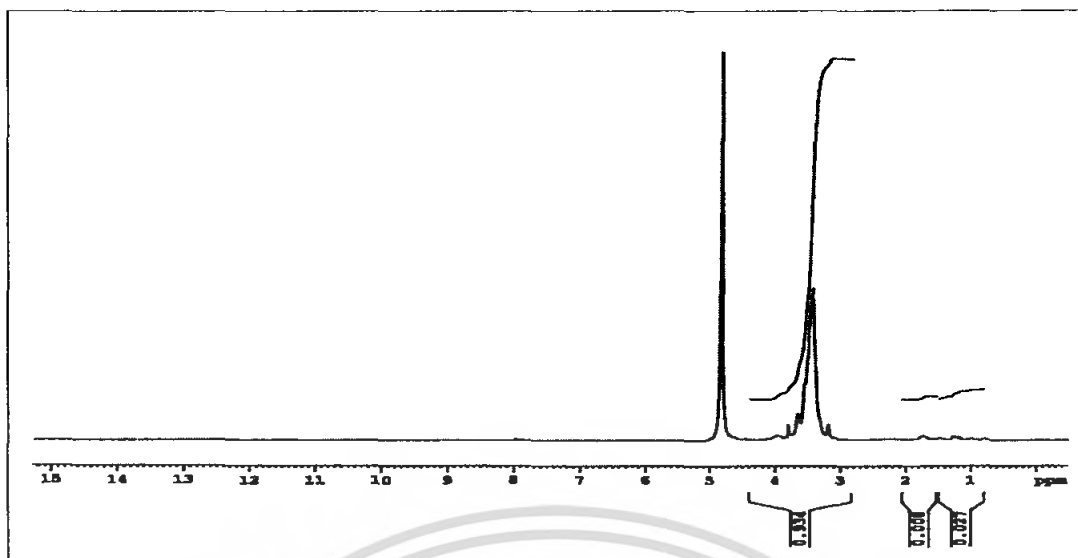


กวาว E

รูปที่ 4.1 แสดงสมการการเกิดปฏิกิริยาของกวาวสังเคราะห์พอลิเอเทอร์ (กวาวE)

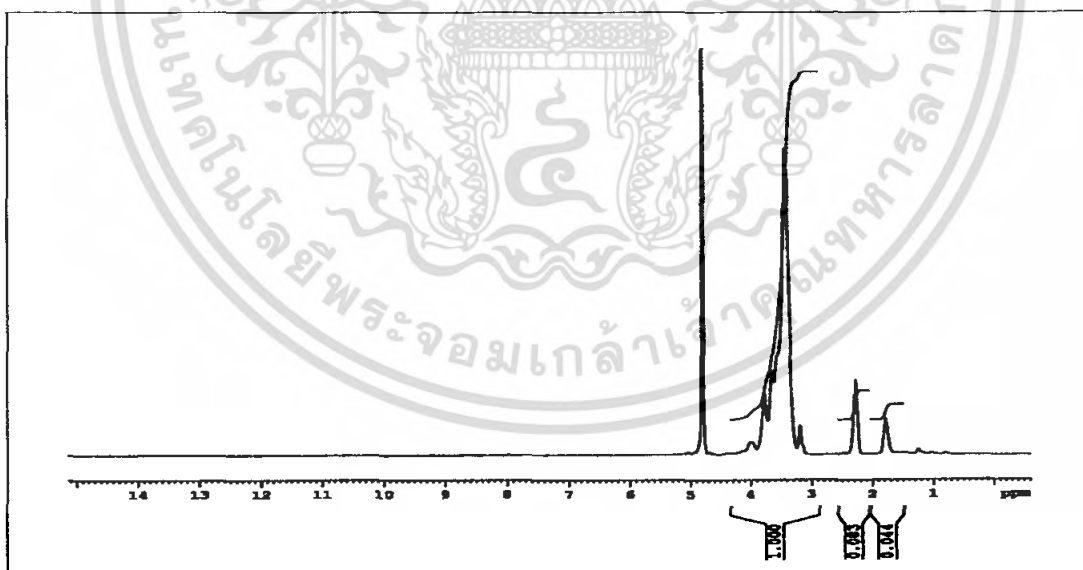
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





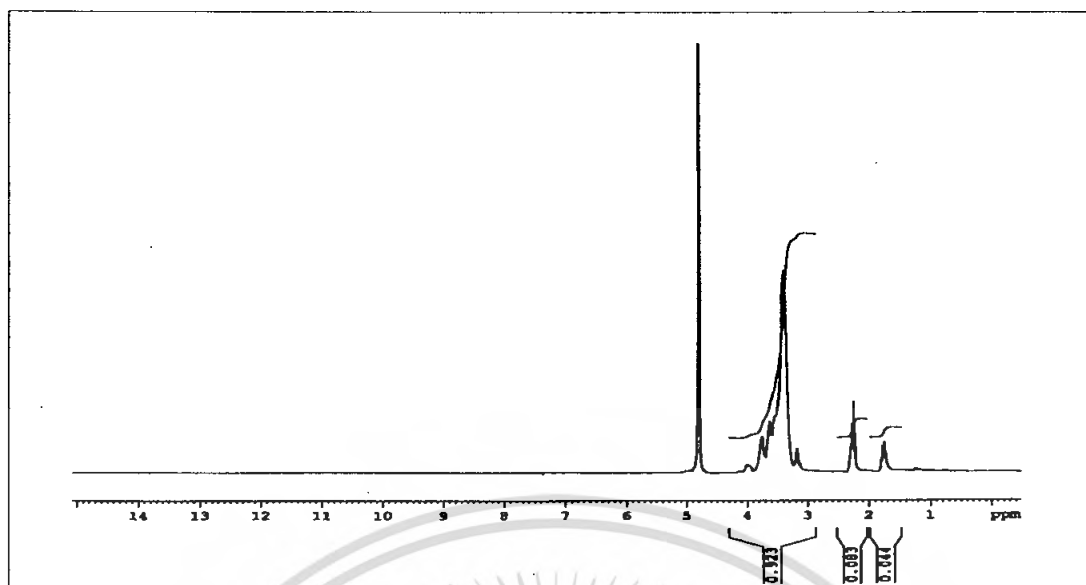
รูปที่ 4.3 แสดง  $^1\text{H-NMR}$  สเปกตรัมของกาวสังเคราะห์พอลิเอทีเทอร์ ใน  $\text{CD}_3\text{OD}$

จาก  $^1\text{H-NMR}$  สเปกตรัมของกาว E (รูปที่ 4.3) แสดงตำแหน่งโปรตอนของหมู่  $(-\text{CH}_2-\text{O}-)$  และ  $(-\text{CH}-\text{O}-)$  ของกลีเซอรอลที่  $\delta$  3.4-3.6 ppm ตำแหน่งโปรตอนของหมู่  $(-\text{CH}_2-\text{O}-\text{CH}_2-)$  ที่  $\delta$  3.8 ppm ตำแหน่งโปรตอนของหมู่  $(-\text{OH})$  ที่  $\delta$  4.0 ppm ซึ่งจากสเปกตรัมดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า มีการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบควบแน่นขึ้นเพียงเล็กน้อย

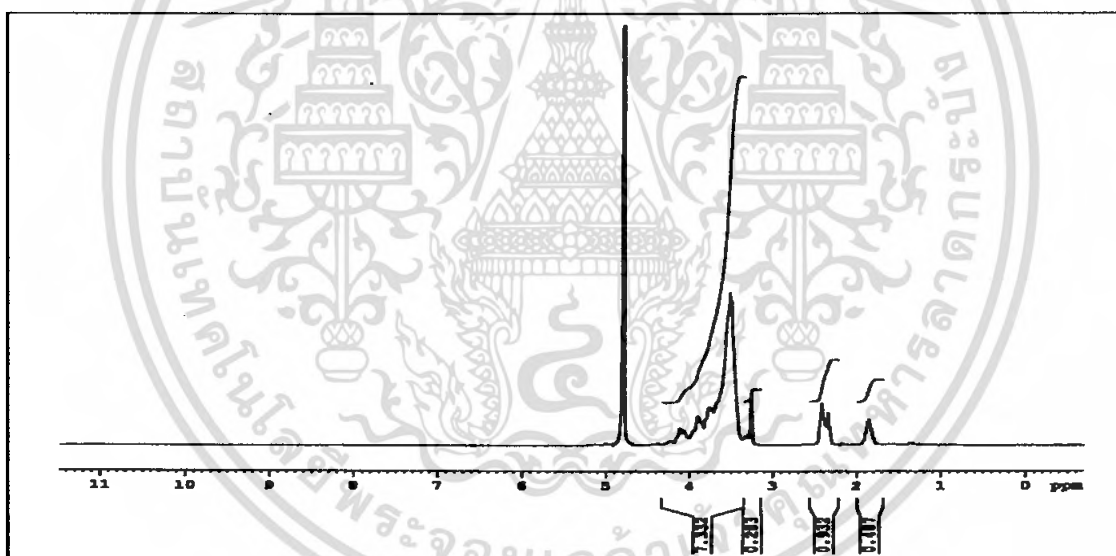


รูปที่ 4.4 แสดง  $^1\text{H-NMR}$  สเปกตรัมของกาวสังเคราะห์พอลิเอทีเทอร์/พอลิเอสเทอร์ที่มีปริมาณกลูตาลิก 6% โดยน้ำหนักกลีเซอรอล ใน  $\text{CD}_3\text{OD}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แสดง  $^1\text{H-NMR}$  สเปกตรัมของกาวสังเคราะห์พอลิเอทีเทอร์/พอลิเอสเทอร์ที่มีปริมาณกลูตาลิก 8% โดยน้ำหนักกลีเซอรอล ใน  $\text{CD}_3\text{OD}$



รูปที่ 4.6 แสดง  $^1\text{H-NMR}$  สเปกตรัมของกาวสังเคราะห์พอลิเอทีเทอร์/พอลิเอสเทอร์ที่มีปริมาณกลูตาลิก 10% โดยน้ำหนักกลีเซอรอล ใน  $\text{CD}_3\text{OD}$

จาก  $^1\text{H-NMR}$  สเปกตรัมของกาว EES6 กาว EES8 และกาว EES10 (รูปที่ 4.4 ถึงรูปที่ 4.6) แสดงตำแหน่งโปรตอนของหมู่ ( $-\text{CH}_2-$ ) ของกรดกลูตาลิก ที่  $\delta$  1.5-2.5 ppm ตำแหน่งโปรตอนของหมู่ ( $-\text{CH}_2\text{-O-}$ ) และ ( $-\text{CH-O-}$ ) ของกลีเซอรอล ที่  $\delta$  3.4-3.6 ppm ตำแหน่งโปรตอนของหมู่ ( $-\text{CH}_2\text{OCOR-}$ ) ของกาว EES ที่  $\delta$  3.8-3.9 ppm ที่ตำแหน่งโปรตอนของหมู่ ( $-\text{OH}$ ) ที่  $\delta$  4.0-4.1 ppm ซึ่งสเปกตรัมแสดงตำแหน่งโปรตอนที่  $\delta$  3-4.1 ppm มีลักษณะลาดเอียงไปทางซ้ายเพิ่มขึ้น อาจแสดงถึงการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบเอกสาร์นี้เป็นเอกสาร์ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควมแน่น ทำให้ตำแหน่งโปรตอนของหมู่ (-CH<sub>2</sub>-O-) และ (-CH-O-) เลื่อนตำแหน่งไปที่  $\delta$  3.6 ppm และอัตราส่วนอินทิเกรชันรวมของโปรตอนของหมู่ (-CH<sub>2</sub>-) ของกรดกลูตาลิกต่ออินทิเกรชันของหมู่ (-CH<sub>2</sub>-O-) และ (-CH-O-) ของกลีเซอรอล เพิ่มขึ้นจาก 0.127 เป็น 0.138 และ 0.186 เมื่อใช้กรดกลูตาลิก 6% 8% และ 10% โดยน้ำหนักกลีเซอรอลตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า กรดกลูตาลิกสามารถเข้าไปในโครงสร้างของกาวได้มากขึ้น

## 4.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของหญ้าคา

การทดสอบหาองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยหญ้าคาทำโดยนำหญ้าคาเบอร์ 4 จากตะแกรงเครื่องร่อนอย่างหยาบประมาณ 1 กิโลกรัม ส่งทำการทดสอบ ณ สถาบันคั้นคว่ำและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของหญ้าคาแสดงไว้ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของหญ้าคา

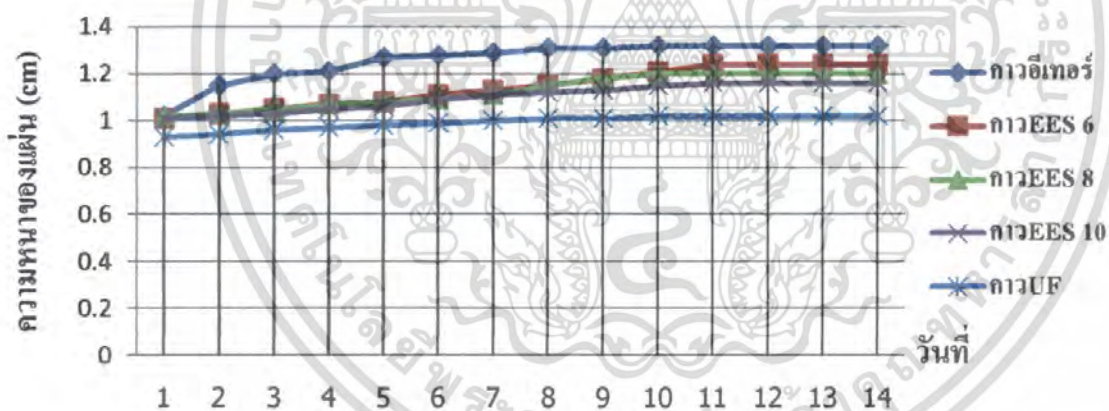
องค์ประกอบทางเคมี	ผลการวิเคราะห์ (% โดยน้ำหนักอบแห้ง)	มาตรฐาน
1. การละลายในแอลกอฮอล์-เบนซีน (Alcohol-Benzene Solubility)	2.79	TAPPI-T204-cm-97
2. การละลายในแอลกอฮอล์ (Alcohol Solubility)	0.31	TAPPI-T264-cm-97
3. การละลายในน้ำร้อน (Hot Water Solubility)	7.01	TAPPI-T207-om-93
4. การละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 1 (1% NaOH Solubility)	32.53	TAPPI-T212-om-98
5. ปริมาณเถ้า (Ash)	4.81	TAPPI-T211-om-93
6. ปริมาณโฮโลเซลลูโลส (Holo cellulose)	81.25	Acid chlorite Method of Browing
7. ปริมาณลิกนิน (Lignin)	20.04	TAPPI-T222-om-98
8. ปริมาณแอลฟาเซลลูโลส ( $\alpha$ -cellulose)	61.40	TAPPI-T203-om-93
9. ปริมาณเพนโทแซน (Pentosan)	27.36	TAPPI-T223-cm-84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้แก้ไขหรือใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 4.1 พบว่าเส้นใยหญ้าคามีปริมาณไฮโดรเซลลูโลสเท่ากับ 81.25% และมีลิกนินเท่ากับ 20.04% โดยไฮโดรเซลลูโลสจะประกอบด้วย แอลฟาเซลลูโลส 61.40% และ แพนโตเซน 27.36% ในส่วนของการละลายในแอลกอฮอล์-เบนซีน และแอลกอฮอล์ ทำการทดสอบด้วย เครื่อง Extraction System (รุ่น B-811 บริษัท BUCHI) แอลกอฮอล์ที่ใช้คือ เอทานอลบริสุทธิ์ โดยสารที่ละลายออกมากับแอลกอฮอล์-เบนซีน ได้แก่ ไขมัน ขี้ผึ้ง และสารที่ละลายออกมากับแอลกอฮอล์และน้ำร้อน ได้แก่ แทนนิน กัม แป้ง น้ำตาล และสารมีสี ส่วนสารที่ออกมากับโซเดียมไฮดรอกไซด์ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต ที่มีมวลโมเลกุลต่ำ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารประเภทเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลสที่ถูกทำลายโดยการไฮโดรไลซ์ ซึ่งการละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จะเป็นค่าสำหรับวัดปริมาณการหุของไม้ อันเนื่องมาจากการทำลายของธรรมชาติ และสุดท้ายปริมาณขี้เถ้าส่วนใหญ่จะประกอบไปด้วยสารอนินทรีย์จากเชื้อ เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม เป็นต้น

#### 4.3 การศึกษาผลการทดสอบการบวมตัวของแผ่นปาร์ติเกิล เมื่อทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง

ในการศึกษาการทดสอบการบวมตัวของแผ่นปาร์ติเกิลที่ใช้กาว UF กาว E กาว EES6 กาว EES8 และกาว EES10 โดยการตัดชิ้นงานตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องและทำการวัดความหนา ได้ผลดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการบวมตัวของแผ่นปาร์ติเกิลที่ใช้กาวต่างชนิดกันเมื่อทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงถึงอัตราส่วนโดยน้ำหนักของปริมาณคาร์บอนต่อออกซิเจนที่ใช้ในการเตรียมกาวต่างชนิดกัน

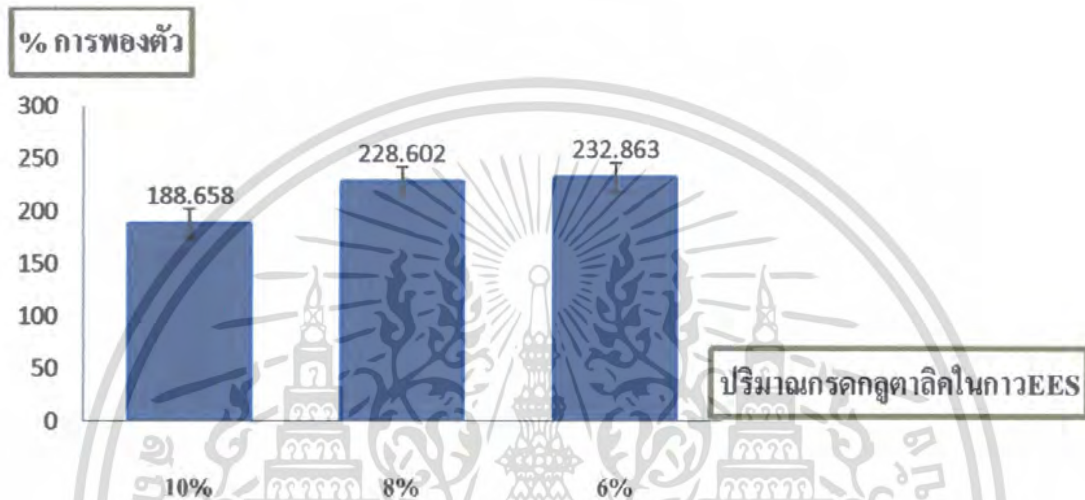
ชนิดกาว	น้ำหนักสารตั้งต้น ที่ใช้เตรียมกาว (% โดยน้ำหนัก)	ปริมาณ กลีเซอรอล (% โดยน้ำหนัก)	ปริมาณ กรดกลูตาลิก (% โดยน้ำหนัก)	ปริมาณ ออกซิเจน ทั้งหมด	ปริมาณ คาร์บอน ทั้งหมด	อัตราส่วน โดยน้ำหนัก ของ O/C
E	100	100.00	-	52.12	39.09	1.33
EES6	100	89.12	10.88	51.72	39.78	1.30
EES8	100	88.91	11.09	51.71	39.79	1.30
EES10	100	86.25	13.75	51.61	39.96	1.29

จากผลการทดลองดังรูปที่ 4.7 พบว่าแผ่นปาร์ติเกิ้ลเมื่อตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจะมีความหนาเพิ่มขึ้น โดยแผ่นปาร์ติเกิ้ลที่ใช้กาว E เป็นตัวประสานจะมีการบวมตัวมากที่สุด ส่วนแผ่นปาร์ติเกิ้ลที่ใช้กาว EES ที่มีการเติมกรดกลูตาลิก 6% 8% และ 10% โดยน้ำหนักกลีเซอรอลเป็นตัวประสาน มีการบวมตัวลดลงตามลำดับ และแผ่นปาร์ติเกิ้ลที่ใช้กาว UF เป็นตัวประสานจะมีการบวมตัวน้อยที่สุด โดยสามารถอธิบายได้ว่า การบวมตัวเป็นผลเนื่องมาจากแผ่นปาร์ติเกิ้ลที่ใช้กาว UF เป็นตัวประสานสามารถเกิดพันธะเชื่อมโยงได้ขณะทำการอัดแผ่น ซึ่งเป็นพันธะที่แข็งแรง เมื่อปล่อยแรงอัดแผ่นปาร์ติเกิ้ลที่ใช้กาว UF เป็นตัวประสาน จึงไม่เกิดการคืนตัวมากเท่ากับแผ่นปาร์ติเกิ้ลที่ใช้กาว E และกาว EES (EES6 EES8 และ EES10) เป็นตัวประสาน มีการยึดติดแบบ Mechanical Interlocking ซึ่งกาวจะแทรกเข้าไปอยู่ในช่องว่างระหว่างหน้าตา เมื่อกาวแห้งกาวก็จะแข็งติดบริเวณนี้ ทำให้มีการคืนตัวได้ง่าย แผ่นปาร์ติเกิ้ลที่ได้จึงมีการบวมตัวมากเมื่อตั้งทิ้งไว้ ส่วนแผ่นปาร์ติเกิ้ลที่ใช้กาว EES (EES6 EES8 และ EES10) เป็นตัวประสานจะเห็นได้ว่ากาว EES10 มีการบวมตัวน้อยที่สุด เนื่องจากมีการเกิดปฏิกิริยาแบบควบแน่นระหว่างกรดกลูตาลิกกับกลีเซอรอลมากขึ้น ซึ่งยืนยันได้จาก  $^1\text{H-NMR}$  สเปกตรัมที่  $\delta$  3.8-3.9 ppm ส่งผลให้กาวมีองค์การเชื่อมโยงน้อยลง สายโซ่โมเลกุลของกาวมีลักษณะเป็นเชิงเส้นมากขึ้น ทำให้กาว EES สามารถแทรกซึมเข้าไปในช่องว่างระหว่างหน้าตาได้มากขึ้น ส่งผลให้กลไกการยึดติดแบบ Mechanical Interlocking มีความแข็งแรงมากขึ้น และมีช่องว่างภายในโครงสร้างน้อยลง ทำให้มีการคืนตัวได้น้อย นอกจากนี้ยังมีปัจจัยของอัตราส่วน โดยน้ำหนักของออกซิเจนต่อคาร์บอนในโครงสร้างของกาวที่อาจส่งผลให้แผ่น ปาร์ติเกิ้ลมีการบวมตัว แต่เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลเพียงเล็กน้อย โดยอัตราส่วน โดยน้ำหนักของออกซิเจนต่อคาร์บอนในกาว EES น้อยกว่ากาว E ดังที่แสดงอยู่ในตารางที่ 4.2 จึงมีปริมาณออกซิเจนใน โครงสร้างของกาวน้อยกว่า ความชื้นในอากาศได้น้อยกว่า ทำให้แผ่นปาร์ติเกิ้ลมีการบวมตัวน้อย และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกาว EES6 กาว EES8 กาว EES10 พบว่ากาว EES10 มีอัตราส่วน โดยน้ำหนักของออกซิเจนต่อคาร์บอนในกาวน้อยที่สุด จึงทำให้ความชื้นสามารถแทรกเข้าไปเจอกับหมู่ไฮดรอกซิลของเส้นใยหน้าตาได้น้อยลง แผ่นปาร์ติเกิ้ลจึงมีการบวมตัวน้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 การศึกษาผลการทดสอบการพองตัวของเมมเบรน (% Thickness swell)

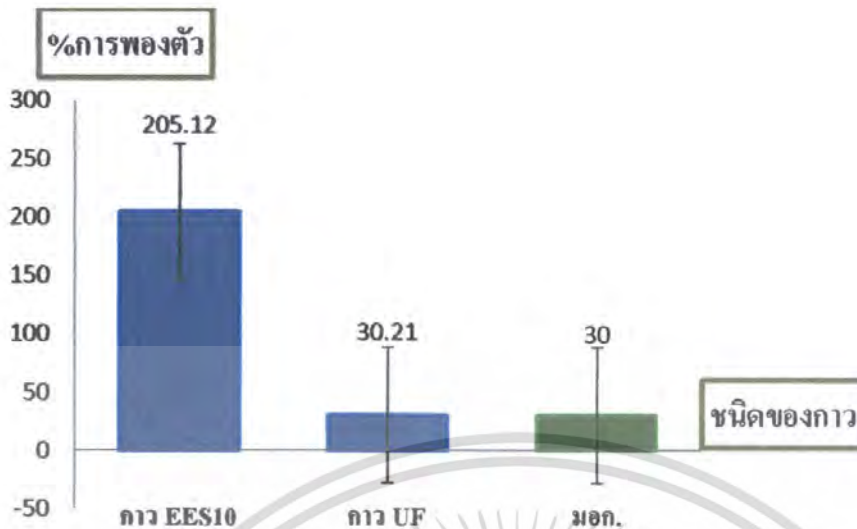
การทดสอบหาค่าการพองตัวของเมมเบรนของแผ่นปาร์ติเกิลที่ใช้กาว EES10 กาว EES8 และ กาว EES6 เป็นตัวประสาน และแผ่นปาร์ติเกิลที่ใช้กาว UF เป็นตัวประสาน ทำได้โดยตัดชิ้นตัวอย่างทดสอบขนาด 5x5 ตารางเซนติเมตร จากนั้นนำไปแช่น้ำเป็นเวลา 2 ชั่วโมง วัดความหนาของชิ้นทดสอบก่อนแช่น้ำและหลังแช่น้ำ มาคำนวณหาค่าการพองตัวของเมมเบรนตามข้อ 3.3.9.3 ได้ผลดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงการพองตัวของเมมเบรนของกาวสังเคราะห์พอลิเอทีเทอร์/พอลิเอซิสเทอร์ ที่มีปริมาณครดกูดาคิดต่างกัน

จากการทดลอง พบว่าการทดสอบหาค่าการพองตัวของเมมเบรนของแผ่นปาร์ติเกิลที่ใช้กาว EES6 กาว EES8 และกาว EES10 เป็นตัวประสานจะมีค่าการพองเมมเบรนน้อยลงตามลำดับ เมื่อมีปริมาณครดกูดาคิดมากขึ้น ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลเดียวกันกับการบวมตัวของแผ่นปาร์ติเกิลที่อุณหภูมิห้อง คือ เมื่อเติมครดกูดาคิดในปริมาณที่มากขึ้นจะมีการเกิดปฏิกิริยาแบบควบแน่นระหว่างครดกูดาคิดกับกลีเซอรอลมากขึ้น มีองค์การเชื่อมโยงน้อยลง สายโซ่โมเลกุลของกาวมีลักษณะเป็นเชิงเส้นมากขึ้น ทำให้กาว EES สามารถแทรกซึมเข้าไปในช่องว่างระหว่างหูก้าคาได้มาก และมีช่องว่างภายในโครงสร้างน้อยลง ทำให้มีการคั่นตัวได้น้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงการพองตัวเมื่อแช่น้ำของแผ่นปาร์ติเกิล เมื่อใช้กาวสังเคราะห์พอลิเอเทอร์/พอลิเอสเทอร์ ที่มีปริมาณกรดกลูตาอิก 10% โดยน้ำหนักกลีเซอรอลเป็นตัวประสาน เปรียบเทียบกับ UF และมอก.

จากผลการทดลองดังรูปที่ 4.9 เมื่อนำแผ่นปาร์ติเกิลที่ใช้กาว EES10 เป็นตัวประสาน ซึ่งมีค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำน้อยที่สุดในจำนวนกาวที่สังเคราะห์ขึ้น มาเทียบกับแผ่นปาร์ติเกิลที่ใช้กาว UF เป็นตัวประสาน พบว่าค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำมีค่ามากกว่า ทั้งนี้สามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลเดียวกันกับการบวมตัวของแผ่นปาร์ติเกิลที่อุณหภูมิห้องเนื่องจากแผ่นปาร์ติเกิลที่ใช้กาว EES จะมีการยึดติดแบบ Interlock ซึ่งไม่แข็งแรงนักเกิดการคืนตัวได้ง่าย จึงทำให้มีช่องว่างภายในแผ่นมากกว่า และเนื่องจากการยึดติดแบบ Interlock เหมาะกับพื้นผิวที่ค่อนข้างขรุขระ แต่หน้าผิวกลับมีลักษณะพื้นผิวที่ค่อนข้างเรียบ จึงทำให้มีการยึดติดไม่ดี น้ำจึงสามารถแทรกเข้าไปภายในช่องว่าง ไปเจอกับหมู่ไฮดรอกซิลของเส้นใยได้ง่าย ทำให้มีการพองตัวมาก

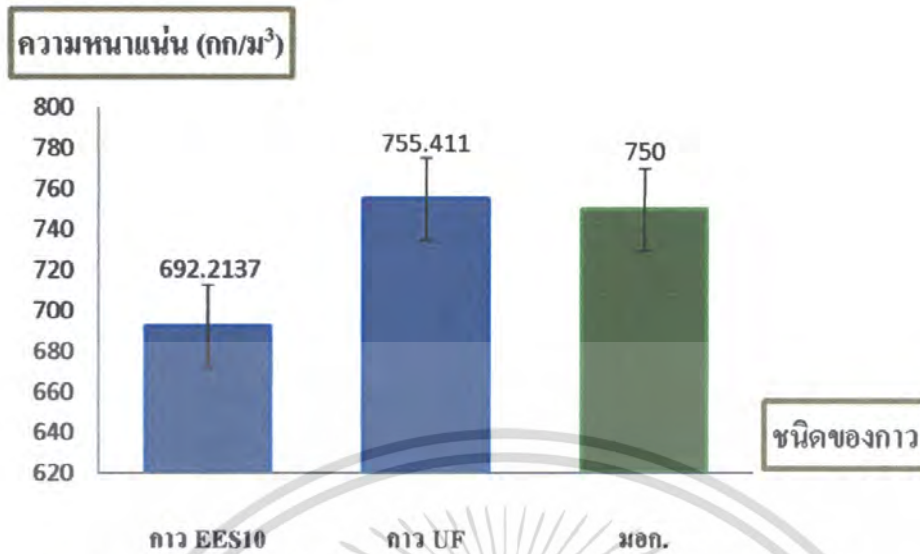
เนื่องจากแผ่นปาร์ติเกิลที่ใช้กาว EES เป็นตัวประสาน มีการบวมตัวเมื่อทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องน้อยกว่าแผ่นปาร์ติเกิลที่ใช้กาว E เป็นตัวประสาน และแผ่นปาร์ติเกิลที่ใช้กาว EES10 มีการพองตัวเมื่อแช่น้ำน้อยกว่ากาว EES8 และกาว EES6 จึงทำการเปรียบเทียบสมบัติต่างๆ เช่น ความชื้น ความหนาแน่น ความต้านทานแรงดึง มอดูลัสยืดหยุ่น และความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าระหว่างกาว UF กับกาว EES10

#### 4.5 การทดสอบหาความหนาแน่นและความชื้นของแผ่นปาร์ติเกิล

##### 4.5.1 การทดสอบหาความหนาแน่นของแผ่นปาร์ติเกิล

การทดสอบหาความหนาแน่นของแผ่นปาร์ติเกิลที่เตรียมได้จากการใช้กาว EES10 และกาว UF เป็นตัวประสาน ทำได้โดยตัดชิ้นตัวอย่างทดสอบขนาด 5x5 ตารางเซนติเมตร ชั่งน้ำหนัก และคำนวณหาความหนาแน่น ได้ผลดังรูปที่ 4.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความหนาแน่นของแผ่นปาร์ติเกิ้ลที่เตรียมได้



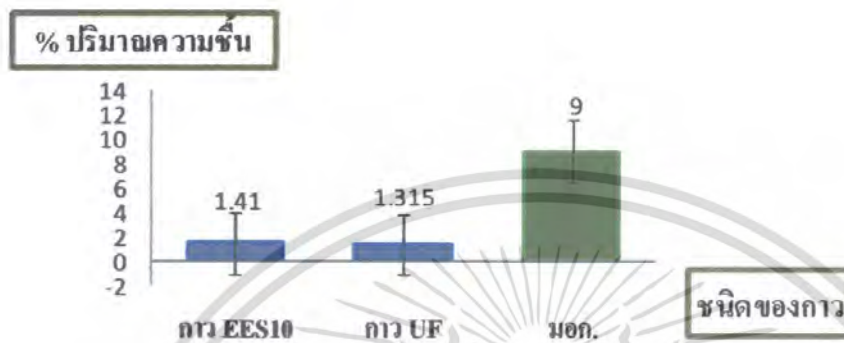
รูปที่ 4.11 แสดงช่องว่างภายในแผ่นปาร์ติเกิ้ลเมื่อใช้กาว UF และกาว EES10 เป็นตัวประสาน

จากผลการทดลองดังรูปที่ 4.10 และรูปที่ 4.11 พบว่าความหนาแน่นของแผ่นปาร์ติเกิ้ลที่ใช้กาว UF เป็นตัวประสานมีค่าใกล้เคียงกับความหนาแน่นที่ต้องการคือ 750 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนความหนาแน่นของแผ่นปาร์ติเกิ้ลที่ใช้กาว EES10 เป็นตัวประสานมีค่าน้อยกว่าความหนาแน่นที่ต้องการ โดยสามารถอธิบายได้ว่าเป็นผลเนื่องมาจากแผ่นปาร์ติเกิ้ลที่ใช้กาว UF เป็นตัวประสานสามารถเกิดพันธะเชื่อมโยงได้ ทำให้แผ่นมีการยึดติดกันได้ดี มีการคั่นตัวยาก มีช่องว่างระหว่างชิ้นไม้้น้อย จึงส่งผลให้แผ่นปาร์ติเกิ้ลที่ใช้กาว UF เป็นตัวประสานเตรียมได้ความหนาแน่นใกล้เคียงกับความหนาแน่นที่ต้องการ ส่วนแผ่นปาร์ติเกิ้ลที่ใช้กาว EES เป็นตัวประสาน ยึดติดกันแบบ Interlock ทำให้แผ่นมีการยึดติดกันไม่ดี ไม่แข็งแรง มีช่องว่างมาก ดังนั้นเมื่อทำการอัดแผ่นทิ้งไว้ แผ่นปาร์ติเกิ้ลจะเกิดการคั่นตัว จึงส่งผลให้แผ่นปาร์ติเกิ้ลที่ใช้กาว EES เป็นตัวประสานมีความหนาแน่นน้อยกว่าที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5.2 การทดสอบหาความชื้นของแผ่นปาร์ติเกิ้ล

การทดสอบหาความชื้น ทำได้โดยนำตัวอย่างทดสอบที่ใช้ทดสอบหาความหนาแน่นมาอบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส นำน้ำหนักก่อนอบและหลังอบมาคำนวณหาความชื้นดังสมการในหัวข้อ 3.3.9.5 ได้ผลดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงปริมาณความชื้นของแผ่นปาร์ติเกิ้ลที่เตรียมได้

จากการทดลองพบว่า แผ่นปาร์ติเกิ้ลที่ผลิตได้มีปริมาณความชื้น เนื่องจากเส้นใยเซลลูโลสสามารถดูดน้ำได้ และชนิดกาวที่ใช้คือ กาว UF และ กาว EES10 สามารถดูดน้ำได้เช่นกัน จากผลการทดลองดังรูปที่ 4.12 พบว่า แผ่นปาร์ติเกิ้ลที่ใช้กาว UF เป็นตัวประสานมีปริมาณความชื้นน้อยกว่าแผ่นปาร์ติเกิ้ลที่ใช้กาว EES10 เป็นตัวประสาน ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากแผ่นปาร์ติเกิ้ลที่ใช้กาว UF เป็นตัวประสานมีการยึดติดกันด้วยพันธะเชื่อมโยง จึงทำให้ดูดความชื้นได้น้อยลง ส่วนแผ่นปาร์ติเกิ้ลที่ใช้กาว EES10 เป็นตัวประสานจะยึดติดกันแบบ Interlock มีการคืนตัว มีปริมาตรช่องว่างมาก มีความหนาแน่นน้อย ทำให้ความชื้นภายในอากาศแทรกเข้าไปเจอกับหมู่ไฮดรอกซิลของเส้นใยได้ง่าย จึงทำให้ดูดความชื้นได้มาก

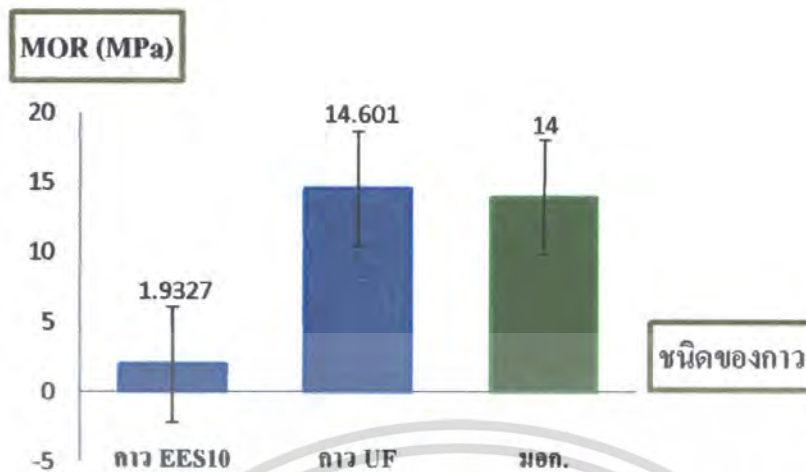
#### 4.6 การศึกษาผลของการทดสอบสมบัติเชิงกล

การทดสอบสมบัติเชิงกล โดยทำการทดสอบ ความต้านทานแรงดัด โมดูลัสยืดหยุ่น และความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า ซึ่งได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

##### 4.6.1 ศึกษาชนิดของกาวที่มีผลต่อค่าความต้านทานแรงดัด (MOR)

การทดสอบหาค่าความต้านทานแรงดัดของแผ่นปาร์ติเกิ้ลที่ใช้กาว UF และกาว EES10 เป็นตัวประสาน ที่ความหนาแน่น 750 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ทำได้โดยตัดชิ้นทดสอบขนาด 5×20 ตารางเซนติเมตร จากนั้นนำไปทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงเชิงกล (Testometric) ได้ผลดังรูปที่ 4.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงค่าความต้านทานแรงดัดของแผ่นปาร์ติเกิ้ล เมื่อใช้กาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์และกาวสังเคราะห์พอลิเอเทอร์/พอลิเอสเทอร์ที่มีกรดกลูตาอิก 10% โดยน้ำหนัก เป็นตัวประสาน

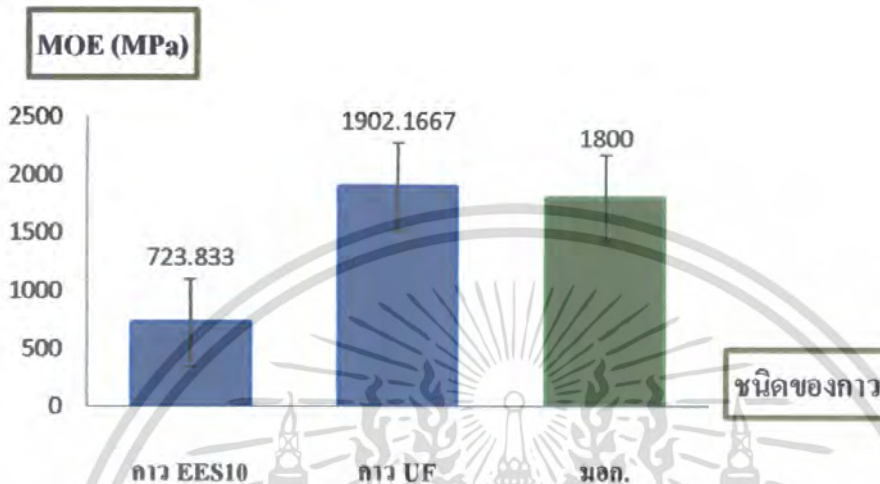
จากผลการทดลองดังรูปที่ 4.13 เมื่อพิจารณาถึงผลของความหนาแน่นของแผ่นปาร์ติเกิ้ลที่มีผลต่อค่าความต้านทานแรงดัดพบว่า แผ่นปาร์ติเกิ้ลที่ใช้กาว UF เป็นตัวประสานซึ่งมีความหนาแน่นมากกว่าแผ่นปาร์ติเกิ้ลที่ใช้กาว EES10 เป็นตัวประสาน จะมีค่าความต้านทานแรงดัดมากกว่า โดยสามารถอธิบายได้ว่าแผ่นปาร์ติเกิ้ลที่มีความหนาแน่นมากจะมีช่องว่างภายในแผ่นปาร์ติเกิ้ลน้อย ทำให้เกิดการส่งผ่านของแรงกระทำได้ดีขึ้น จึงสามารถต้านทานแรงดัดได้มากขึ้น สอดคล้องกับผลงานวิจัยของ พิทยา ศรีพันธุ์ [26] วรรณธรรม อุ๋นจิตติชัย [27] และจงจิตต์ หิรัญสาทและคณะ [28] ซึ่งพบว่าเมื่อความหนาแน่นของแผ่นปาร์ติเกิ้ลมีค่ามากขึ้น ค่าความต้านทานแรงดัดจะมีค่ามากขึ้นเช่นกัน

นอกจากนี้ยังเกิดจากการที่แผ่นปาร์ติเกิ้ลที่ใช้กาว UF เป็นตัวประสาน มีการยึดติดกันด้วยพันธะเชื่อมโยง จึงทำให้มีความแข็งแรงมากกว่าแผ่นปาร์ติเกิ้ลที่ใช้กาว EES10 เป็นตัวประสาน ซึ่งยึดติดกันแบบ Interlock จึงทำให้มีค่าความต้านทานแรงดัดมากกว่า เนื่องจากการยึดติดแบบ Interlock มีการคืนตัวง่าย ทำให้มีช่องว่างหรือจุดบกพร่องภายในชิ้นงานมาก จึงไม่แข็งแรงเท่ากับการยึดติดแบบเกิดพันธะเชื่อมโยง นอกจากนี้ยังมีปัจจัยเกี่ยวกับอุณหภูมิ ความดัน ปริมาณกาว และเวลาที่ใช้ในการอัดแผ่นที่อาจจะส่งผลต่อความแข็งแรง ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่า การที่กาว EES10 ไม่ค่อยแข็งแรงอาจจะเป็นเพราะกาวที่ใช้คนละชนิดกัน อุณหภูมิ ความดัน ปริมาณกาว และเวลาที่ใช้ในการอัดแผ่น อาจจะเหมาะกับกาว UF แต่ยังไม่เหมาะสมกับกาว EES10 ซึ่งถ้าต้องการปรับปรุงความแข็งแรงอาจทำได้โดย การเพิ่มอุณหภูมิหรือความดันมากกว่าเดิม หรือถ้าต้องการให้เกิดการยึดเกาะมากขึ้นอาจจะเพิ่มปริมาณกาวมากขึ้น หรืออาจจะเปลี่ยนสภาวะที่ใช้ทำให้กาวมีการคืนตัวลดลง แต่ความแข็งแรงก็ยังคงน้อยกว่าพันธะเชื่อมโยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.6.2 ศึกษาชนิดของกาวที่มีผลต่อค่ามอดูลัสยืดหยุ่น (MOE)

การทดสอบหาค่ามอดูลัสยืดหยุ่น ทำได้โดยใช้ชิ้นทดสอบเดียวกับที่ใช้ทดสอบหาค่าความต้านทานแรงคัด ด้วยเครื่องทดสอบแรงเชิงกล (Testometric) ได้ผลดังรูปที่ 4.14



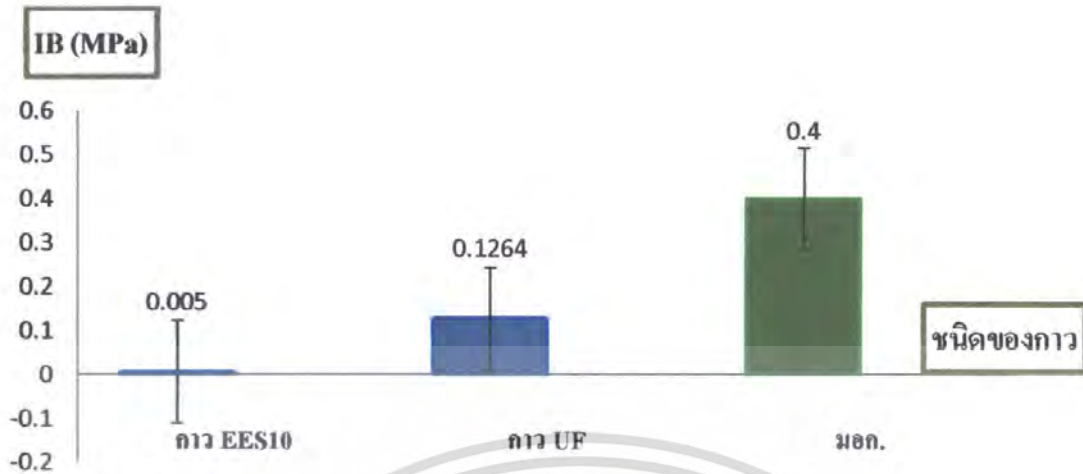
รูปที่ 4.14 กราฟแสดงค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของแผ่นปาร์ติเกิ้ล เมื่อใช้กาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์และกาวสังเคราะห์พอลิเอเทอร์/พอลิเอสเทอร์ที่มีกรดกลูตาอิก 10% โดยน้ำหนักลิเซอรอลเป็นตัวประสาน

จากผลการทดลองดังรูปที่ 4.14 เมื่อพิจารณาถึงผลของความหนาแน่นของแผ่นปาร์ติเกิ้ลที่มีผลต่อค่ามอดูลัสยืดหยุ่น พบว่าแผ่นปาร์ติเกิ้ลที่มีความหนาแน่นมาก จะส่งผลให้ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นมีแนวโน้มมากขึ้น โดยสามารถอธิบายได้เช่นเดียวกับผลของความหนาแน่นที่มีผลต่อความต้านทานแรงคัด ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยของพิทยา ศรีพันธุ์ [26] วรธรรม อุ่นจิตติชัย [27] และจงจิตต์ ธีรบุญลาภและคณะ [28] ซึ่งพบว่าเมื่อความหนาแน่นของแผ่นปาร์ติเกิ้ลมีค่ามากขึ้น ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นมีค่ามากขึ้นเช่นกัน เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแผ่นปาร์ติเกิ้ลที่ใช้กาว UF กับแผ่นปาร์ติเกิ้ลที่ใช้กาว EES10 เป็นตัวประสาน พบว่าค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของแผ่นปาร์ติเกิ้ลที่ใช้กาว UF มีค่ามากกว่าแผ่นปาร์ติเกิ้ลที่ใช้กาว EES10 เนื่องจากกาว UF มีการยึดติดของกาวกับชิ้นไม้แบบพันระเชื่อมโยง จึงมีความแข็งแรงมากกว่ากลไกการยึดติดของกาว EES10 ซึ่งเป็นกลไกการยึดติดแบบ Interlock ไม่เกิดการเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่โมเลกุล ซึ่งในการทำปฏิกิริยาพอลิเมโรเซชันแบบควบแน่นระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลในเนื้อกาว หรือกับหมู่ไฮดรอกซิลของหัวลาทำทำได้ยาก ต้องใช้อุณหภูมิสูง ใช้เวลานาน และต้องมีตัวเร่งปฏิกิริยา

#### 4.6.3 ศึกษาชนิดของกาวที่มีผลต่อค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า (Internal Bond Strength)

การทดสอบหาความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นปาร์ติเกิ้ลที่ใช้กาว UF และกาว EES10 เป็นตัวประสาน ที่ความหนาแน่น 750 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ทำได้โดยตัดชิ้นตัวอย่างทดสอบขนาด 5×5 ตารางเซนติเมตร แล้วนำไปทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงเชิงกล (Testometric) ได้ผลดังรูปที่ 4.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ซึ่งมีการใช้ระบบที่ควบคุมสื่อचनाเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า (MPa) ของแผ่นปาร์ติเกิ้ล เมื่อใช้ถาวรยูเรียฟอรั-  
มาลดีไซด์ และถาวรสังเคราะห์พอลิเอทีเทอร์/พอลิเอสเทอร์ที่มีครดกดูตลิก 10% เป็นตัวประสาน

ค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า (Internal bond) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงการยึดเกาะของเส้นใยของแผ่นปาร์ติเกิ้ล จากรูปที่ 4.15 เมื่อพิจารณาถึงผลของความหนาแน่นของแผ่นปาร์ติเกิ้ล พบว่าเมื่อความหนาแน่นของแผ่นปาร์ติเกิ้ลเพิ่มขึ้น ค่าแรงดึงตั้งฉากมีแนวโน้มมากขึ้น โดยสามารถอธิบายได้เช่นเดียวกับผลของความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นที่มีผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงและค่ามอดูลัสยืดหยุ่น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของวรรณม อุณจิตติชัย [27]

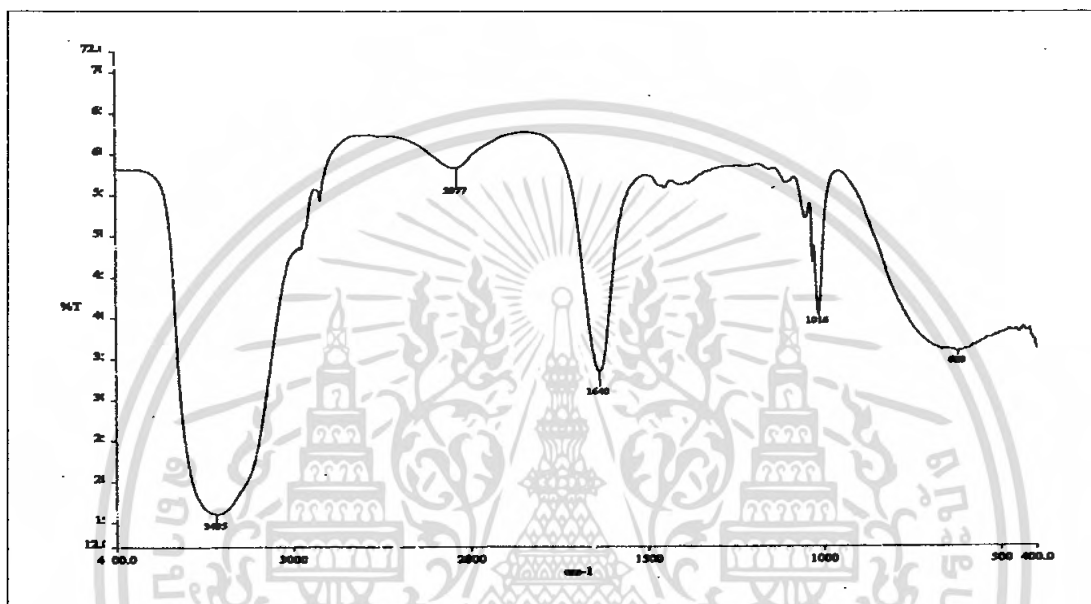
เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแผ่นปาร์ติเกิ้ลที่ใช้ถาวร UF กับแผ่นปาร์ติเกิ้ลที่ใช้ถาวร EES10 เป็นตัวประสาน พบว่าค่าแรงดึงตั้งฉากของแผ่นปาร์ติเกิ้ลที่ใช้ถาวร UF มีค่ามากกว่าแผ่นปาร์ติเกิ้ลที่ใช้ถาวร EES10 ซึ่งอธิบายได้เช่นเดียวกับผลของความหนาแน่นต่อค่าความต้านทานแรงดึง และค่ามอดูลัสยืดหยุ่นเมื่อใช้ถาวร UF และถาวร EES10 เนื่องจากถาวร UF มีกลไกการยึดติดแบบเกิดพันธะเชื่อมโยง ทำให้มีการยึดติดระหว่างถาวรกับชิ้นไม้ได้ดีกว่าการใช้ถาวร EES10 ซึ่งมีการยึดติดแบบ Interlock

จากการศึกษาสมบัติเชิงกลพบว่า แผ่นปาร์ติเกิ้ลที่ใช้ถาวร EES10 เป็นตัวประสานมีการยึดติดแบบ Interlock มีการคั่นตัว มีปริมาตรช่องว่างมาก ทำให้หมู่ไฮดรอกซิลภายในเส้นใยสามารถดูดความชื้นในอากาศได้ดี ส่งผลให้แผ่นปาร์ติเกิ้ลมีการพองตัวและบวมตัวมาก ทำให้สมบัติเชิงกลของแผ่นปาร์ติเกิ้ลมีค่าน้อยกว่าแผ่นปาร์ติเกิ้ลที่ใช้ถาวร UF เป็นตัวประสาน ซึ่งมีการยึดติดกันแบบพันธะเชื่อมโยงขณะทำการอัดแผ่นปาร์ติเกิ้ล จึงทำให้มีความแข็งแรงสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

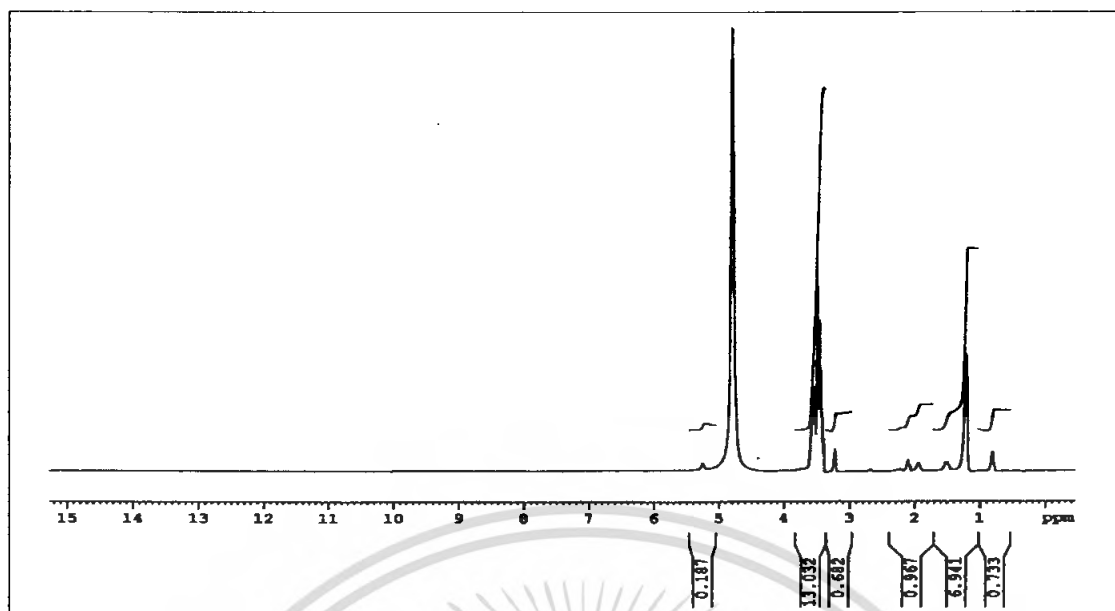
## 4.7 ผลการวิเคราะห์การนำกลีเซอรอลที่เป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล มาทำให้บริสุทธิ์

จากการศึกษาการนำกลีเซอรอลที่เป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลมาทำให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีอย่างง่ายตามหัวข้อ 3.3.3 ในบทที่ 3 ซึ่งจะได้สารออกมา 4 ชนิด คือ สาร A สาร B สาร C และ สาร D นั้น เมื่อนำสารทั้ง 4 ชนิดมาทำการพิสูจน์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี และ พิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโคปี ได้ผลดังรูปที่ 4.16 ถึง 4.20



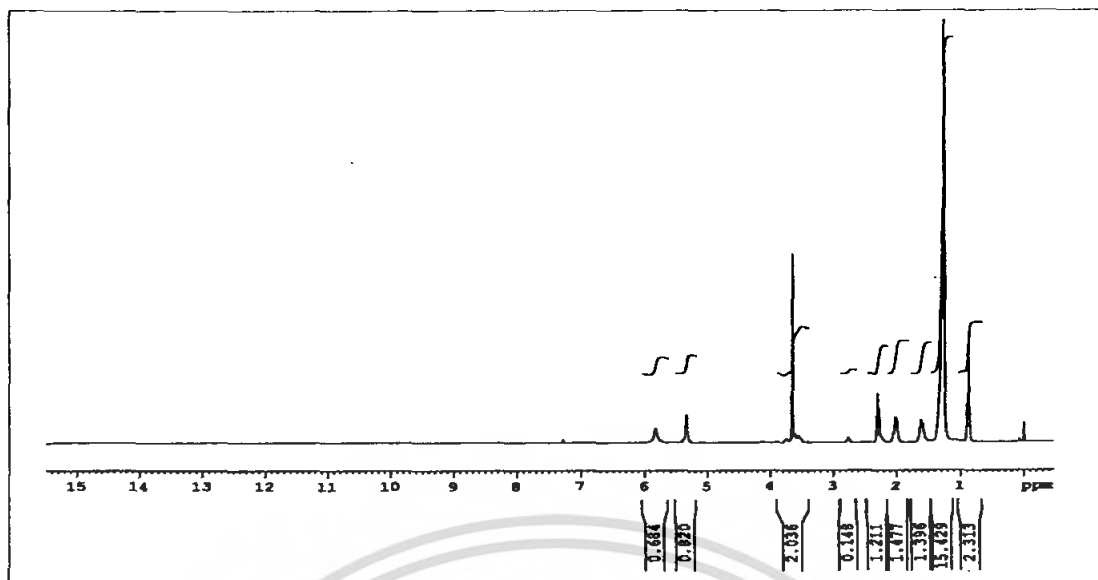
รูปที่ 4.16 แสดง IR-สเปกตรัมของสาร A

จากรูปที่ 4.16 ซึ่งเป็น IR-สเปกตรัมของสาร A แสดงให้เห็นว่า สาร A น่าจะเป็นสารละลายผสมระหว่างน้ำและเมทานอล เนื่องจากมีพีคที่  $3435\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นตำแหน่งของ O-H stretching ของน้ำและเมทานอล มีพีคที่  $1016\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นตำแหน่งของ C-O stretching และ C-H stretching ของเมทานอล

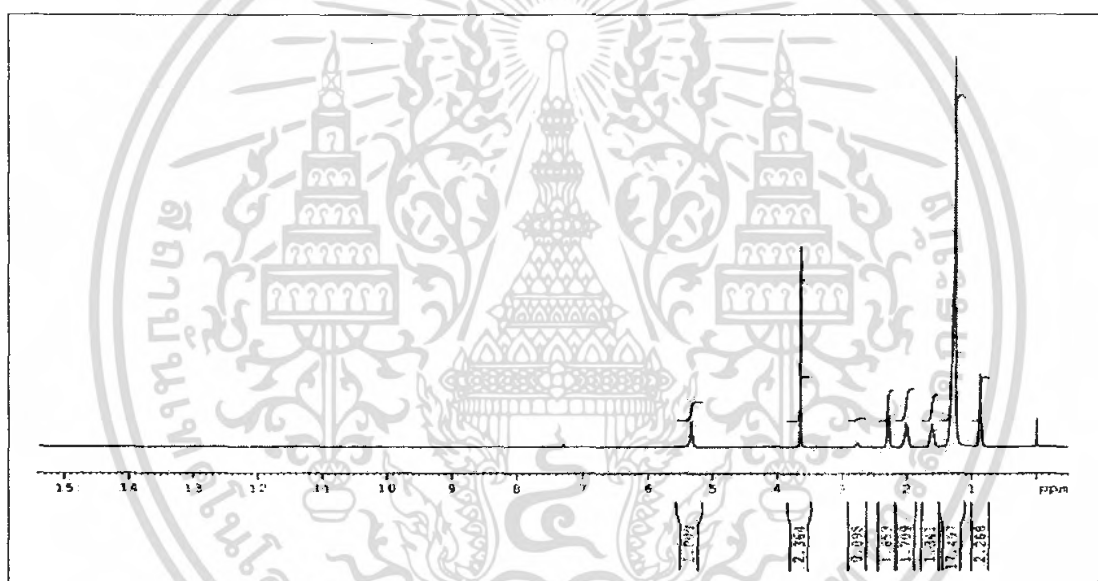


รูปที่ 4.17 แสดง  $^1\text{H-NMR}$  สเปกตรัมของสาร B ใน  $\text{CD}_3\text{OD}$

$^1\text{H-NMR}$  สเปกตรัมของสาร B (รูปที่ 4.17) แสดงตำแหน่งโปรตอนของหมู่ ( $\text{CH}_3\text{-C-}$ ) และหมู่ ( $\text{-C-CH}_2\text{-C-}$ ) ของไบโอดีเซลที่  $\delta$  0.85–0.95 ppm และที่  $\delta$  1.15–1.40 ppm ตำแหน่งโปรตอนของหมู่ ( $\text{-CH}_2\text{-C-COO-C-}$ ) ของไบโอดีเซลที่  $\delta$  1.55–1.70 ppm ตำแหน่งโปรตอนของหมู่ ( $\text{-CH}_2\text{-C=C}$ ) ของไบโอดีเซลที่  $\delta$  1.95–2.10 ppm ตำแหน่งโปรตอนของหมู่ ( $\text{-CH}_2\text{-O-}$ ) และหมู่ ( $\text{CH-O-}$ ) ของกลีเซอรอลที่  $\delta$  3.3–3.6 ppm ส่วนโปรตอนของหมู่ ( $\text{-OH}$ ) ที่  $\delta$  4.0 ppm ซึ่งไม่ปรากฏให้เห็นชัดเจนนั้นคาดว่าเกิดจากการแลกเปลี่ยนโปรตอนระหว่างหมู่ ( $\text{-OH}$ ) กับ ( $\text{-OD}$ ) ของตัวทำละลาย ทำให้สรุปได้ว่าสาร B น่าจะเป็นกลีเซอรอลที่มีมอนอกลิเซอไรด์หรือไบโอดีเซลปะปนอยู่ด้วยในปริมาณไม่มากนัก



รูปที่ 4.18 แสดง  $^1\text{H}$ -NMR สเปกตรัมของสาร C ใน  $\text{CDCl}_3$



รูปที่ 4.19 แสดง  $^1\text{H}$ -NMR สเปกตรัมของเมทิลเอสเทอร์ ใน  $\text{CDCl}_3$

$^1\text{H}$ -NMR สเปกตรัมของสาร C (รูปที่ 4.18) แสดงตำแหน่งโปรตอนของหมู่ ( $\text{CH}_3\text{-C}$ ) และหมู่ ( $\text{-C-CH}_2\text{-C}$ ) ที่  $\delta$  0.85–0.95 ppm และที่  $\delta$  1.15–1.40 ppm ตำแหน่งโปรตอนของหมู่ ( $\text{-CH}_2\text{-C-COO-C}$ ) ที่  $\delta$  1.55–1.70 ppm ตำแหน่งโปรตอนของหมู่ ( $\text{-CH}_2\text{-C=C}$ ) ที่  $\delta$  1.95–2.10 ppm ตำแหน่งโปรตอนของหมู่ ( $\text{-CH}_2\text{-COO-C}$ ) ที่  $\delta$  2.25–2.35 ppm ตำแหน่งโปรตอนของหมู่ ( $\text{-C=C-CH}_2\text{-C=C}$ ) ที่  $\delta$  2.70–2.80 ppm ตำแหน่งโปรตอนของหมู่ ( $\text{CH}_3\text{-OOC-CH}_2\text{-}$ ) ที่  $\delta$  3.66 ppm และตำแหน่งโปรตอนของหมู่ ( $\text{-CH=CH}$ ) ที่  $\delta$  5.25–5.40 ppm จากรูปที่ 4.18 เทียบกับรูปที่ 4.19 ทำให้สรุปได้ว่าสาร C คือเมทิลเอสเทอร์ที่มีกลีเซอรอลปนอยู่เพียงเล็กน้อย เนื่องจากที่  $\delta$  3.66 ppm ในรูปที่ 4.18 มีลักษณะพีกของหมู่ ( $\text{-CH}_2\text{-O-}$ ) และ ( $\text{-CH-O-}$ ) ของกลีเซอรอลปะปนอยู่ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเบื้องต้นในการสังเคราะห์กาวจากกลีเซอรอลสำหรับแผ่นปาร์ติเกิ้ลจากหญ้าคา ชนิดความหนาแน่นปานกลาง (750 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) โดยเลือกใช้หญ้าคาที่มีขนาด 5-60 เมช มาใช้ในการผลิต จากนั้นทำการขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีอัดรีดด้วยความดัน 170 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที โดยใช้กาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ (Urea formaldehyde, UF) ปริมาณ 15% โดยน้ำหนักหญ้าคา และกาวสังเคราะห์จากกลีเซอรอลบริสุทธิ์ ซึ่งแบ่งเป็น 2 ชนิดคือ กาวสังเคราะห์พอลิเอเทอร์ (กาว E) และกาวสังเคราะห์พอลิเอเทอร์/พอลิเอสเทอร์ที่มีปริมาณกรด กลูตาลิก 6% 8% และ 10% โดยน้ำหนักกลีเซอรอล (กาว EES6 EES8 และ EES10 ตามลำดับ) ซึ่งใช้ปริมาณกาว 15% โดยน้ำหนักหญ้าคา นำแผ่นปาร์ติเกิ้ลจากหญ้าคาที่ได้มาทดสอบสมบัติตามมาตรฐาน มอก. 876-2547 นอกจากนั้นยังได้ทำการศึกษาวิธีการนำส่วนที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลมาทำให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีอย่างง่าย ซึ่งสามารถสรุปผลวิจัยได้ดังนี้

จากการศึกษาการสังเคราะห์จากกลีเซอรอลได้พบว่า เมื่อนำแผ่นปาร์ติเกิ้ลที่ใช้กาว E เป็นตัวประสานที่ไว้ที่อุณหภูมิห้องมีการบวมตัวมากที่สุด จึงได้มีการสังเคราะห์กาว EES6 กาว EES8 และกาว EES10 ขึ้นมาใช้ในการอัดแผ่นปาร์ติเกิ้ลเพื่อเปรียบเทียบสมบัติแทน จาก <sup>1</sup>H-NMR สเปกตรัมของกาว EES6 กาว EES8 และกาว EES10 ที่สังเคราะห์ได้ยืนยันได้ว่า กรดกลูตาลิกสามารถเข้าไปในโครงสร้างของกาวได้เพิ่มขึ้นตามปริมาณกรดกลูตาลิกที่เพิ่มขึ้น ซึ่งแผ่นปาร์ติเกิ้ลที่ใช้กาว EES ทั้ง 3 อัตรส่วนเป็นตัวประสานมีการบวมตัวเมื่อทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องน้อยกว่ากาว E โดยแผ่นปาร์ติเกิ้ลที่ใช้กาว EES10 เป็นตัวประสานมีการบวมตัวเมื่อทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับแผ่นปาร์ติเกิ้ลที่ใช้กาว EES6 และกาว EES8 แต่แผ่นปาร์ติเกิ้ลที่ใช้กาว UF เป็นตัวประสานจะมีการบวมตัวน้อยที่สุด เนื่องจากแผ่นปาร์ติเกิ้ลที่ใช้กาว UF เป็นตัวประสานสามารถเกิดพันธะเชื่อมโยงได้ขณะทำการอัดแผ่น ซึ่งยึดกันแน่น เกิดการคืนตัวได้ยาก จึงมีช่องว่างหรือจุดบกพร่องในชิ้นงานน้อยกว่าเมื่อเทียบกับแผ่นปาร์ติเกิ้ลที่ใช้กาว E และกาว EES เป็นตัวประสาน จึงทำให้แผ่นปาร์ติเกิ้ลเกิดการบวมตัวน้อยกว่า และยังมีปัจจัยอื่นอีกแต่อาจส่งผลไม่มากนักคือ ในกาว EES มีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของปริมาณออกซิเจนต่อคาร์บอนน้อยกว่ากาว E จึงมีปริมาณออกซิเจนในโครงสร้างน้อย ความชื้นในอากาศได้น้อยกว่า ทำให้แผ่นปาร์ติเกิ้ลมีการบวมตัวน้อย นอกจากนี้ยังมีการทดสอบเปอร์เซ็นต์การพองตัวเมื่อแช่น้ำเพื่อเป็นการยืนยันว่า กาว EES10 สามารถดูดน้ำได้น้อย ซึ่งดูได้จากเปอร์เซ็นต์การพองตัวเมื่อน้ำน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับกาว EES6 และกาว EES8 ดังนั้นจึงเลือกแผ่นปาร์ติเกิ้ลที่ใช้กาว EES10 เป็นตัวประสานมาทดสอบสมบัติต่างๆ ตามมาตรฐาน มอก. 876-2547 เทียบกับแผ่นปาร์ติเกิ้ลที่ใช้กาว UF เป็นตัวประสาน ซึ่งพบว่าเปอร์เซ็นต์การ

พองตัวเมื่อแช่น้ำและเปอร์เซ็นต์ปริมาณความชื้นมีค่าสูง ความหนาแน่นของแผ่นปาร์ติเกิ้ล ความต้านทานแรงดึง ตั้งจากกับผิวหน้า ความต้านทานแรงคด และมอดูลัสยืดหยุ่นมีค่าต่ำ เนื่องจากแผ่นปาร์ติเกิ้ลที่ใช้กาว EES เป็นตัวประสานมีการยึดติดแบบ Interlock มีการกินตัว จึงมีปริมาตรช่องว่างมาก ทำให้มีความหนาแน่นน้อย ซึ่งส่งผลต่อความแข็งแรงทำให้รับแรงได้ไม่ดีเท่ากับการยึดติดแบบพันธะเชื่อมโยงของกาว UF

จากการศึกษาวิธีการนำกลีเซอรอลที่เป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลมาทำให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีอย่างง่าย โดยนำมาทำให้เป็นกลาง แล้วนำไปเข้าเครื่องระเหยสารแบบหมุนเหวี่ยง เพื่อกำจัดน้ำและเมทานอลออก นำสารที่ได้มาสกัดด้วยเฮกเซน แล้วนำไปกรองลดความดัน จะได้สารที่มีโครงสร้างของกลีเซอรอลอยู่ ซึ่งทราบได้จากการพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิคนิวเคลียสแมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโคปี คือสาร B และสาร D จากการทดลองดังกล่าวได้กลีเซอรอลที่ไม่บริสุทธิ์ ซึ่งยืนยันได้จาก  $^1\text{H-NMR}$  สเปกตรัมที่แสดงตำแหน่งโปรตอนของหมู่ ( $\text{CH}_3\text{-C-}$ ) และหมู่ ( $\text{-C-CH}_2\text{-C-}$ ) ของไบโอดีเซล ที่  $\delta$  0.85–0.95 ppm และที่  $\delta$  1.15–1.40 ppm แต่ถ้าต้องการกลีเซอรอลบริสุทธิ์ทำได้โดยการกลั่น ฉะนั้นสาร B และสาร D จึงควรเลือกใช้ในการผลิตกาวสำหรับอัดแผ่นปาร์ติเกิ้ลจากหญ้าคาต่อไป

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

แม้ว่าในงานวิจัยนี้จะพบว่า การใช้กาว EES10 สามารถเตรียมแผ่นปาร์ติเกิ้ลจากหญ้าคาได้เช่นเดียวกัน แต่มีสมบัติด้อยกว่าแผ่นปาร์ติเกิ้ลที่ใช้กาว UF กาว EES ก็ยังคงเป็นเรื่องที่น่าสนใจเนื่องจากกาว EES สามารถอัดเป็นแผ่นปาร์ติเกิ้ลได้แต่สมบัติของกาวยังไม่ดีพอ จึงควรทำการวิจัยเพื่อศึกษาและปรับปรุงสมบัติต่างๆของแผ่นปาร์ติเกิ้ลจากหญ้าคาที่ใช้กาวสังเคราะห์จากกลีเซอรอลเป็นสารยึดติดต่อไป นอกจากนี้ในการศึกษาการนำกลีเซอรอลที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลมาทำให้บริสุทธิ์นั้นพบว่า วิธีการอาจยังไม่ดีพอจึงควรศึกษา และปรับปรุงวิธีการให้ดีขึ้น

1. ศึกษาชนิดของสารเชื่อม โยง หรือเพิ่มปริมาณการเชื่อม โยงเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของแผ่นหญ้าคาอัด
2. ควรศึกษาและพัฒนาการสังเคราะห์จากกลีเซอรอลให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น เพื่อให้สมบัติต่างๆ ดีขึ้น
3. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงผลของปริมาณกาวที่ใช้ที่มีต่อสมบัติเชิงกล สมบัติการพองตัวเมื่อแช่น้ำ และสมบัติทางความร้อน
4. ศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อสมบัติของแผ่นหญ้าคาอัด เช่น ความดัน อุณหภูมิ เวลา ที่ให้ในการอัดแผ่นหญ้าคา
5. เนื่องจากกลีเซอรอลที่ได้จากการทำให้บริสุทธิ์ด้วยยังมีความบริสุทธิ์ไม่เพียงพอ อาจจะต้องนำไปกลั่นลำดับส่วนเพื่อทำให้มีความบริสุทธิ์มากขึ้น
6. สาร B และสาร D น่าจะยังคงมีมอนอกลิเซอไรด์หลงเหลืออยู่ การนำสารทั้ง 2 ไปสังเคราะห์กาว น่าจะให้โครงสร้างของกาวที่ต่างไปจากงานวิจัยนี้ ซึ่งมีผลกับสมบัติการยึดติด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

1. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม,กิจกรรมรณรงค์กำจัดฝักคอบขวาในกลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา, โครงการรณรงค์และประชาสัมพันธ์เพื่อแก้ปัญหาแม่น้ำเจ้าพระยาเน่าเสีย, เล่มที่ 1/3, 2540.
2. Maloney,T.M.,\_ Modern Particleboard and Dry Process Fiberboard manufacturing, 1 st Ed., Sanfrancisco:Miller Freeman Publication, 1977.
3. <http://www.thaivi.com/webboard/viewtopic.php?t=1069&sid=2b7aea4c962d73d5abfc98965d9334df>
4. <http://www.google.co.th/search?hl=th&q=%E0%>
5. E:\New Folder\ศูนย์รวมวัสดุทดแทนไม้ kokoboard\_com-The portal of biobase composite in Thailand-กาวประสาน.mht
6. <http://www.biothai.net/news/view.php?id=3601>
7. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นขึ้นไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง (มอก. 876-2532), เล่มที่ 106 ตอนที่ 146, 2532.
8. นิสากร เจริญดี, การผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดจากฝักคอบขวา, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล, 2544.
9. วรธรรม อุ้นจิตติชัย, เทคโนโลยีไม้เกี่ยวกับอุตสาหกรรมการผลิตแผ่นปาร์ติเกิ้ล (แผ่นขึ้นไม้อัด) และกรรมวิธีการผลิต, กลุ่มพัฒนาอุตสาหกรรมไม้ ส่วนวิจัยและพัฒนาผลิตผลป่าไม้, สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ, 2541.
10. [http://dev.uru.ac.th/Botanical/detail.php?botany\\_id=7-53000=001-0329&field=4&value=หญ้าคา1&page=1](http://dev.uru.ac.th/Botanical/detail.php?botany_id=7-53000=001-0329&field=4&value=หญ้าคา1&page=1)
11. <http://www.samunpai.com/samunpai/show.php?cat=1&id=124>
12. <http://dnp.go.th/foresttire/eng/grass.htm>
13. กรมป่าไม้สำนักวิจัยการจัดการป่าไม้และผลิตผลป่าไม้,เอกสารประกอบการฝึกอบรมและถ่ายทอดเทคโนโลยีเชิงปฏิบัติการ “การแปรรูปเศษวัสดุไม้และเศษวัสดุการเกษตรเพื่อใช้ทำเครื่องเรือนและเครื่องใช้ทดแทนไม้”, หน้า 27-50, 2550.
14. ประยูร สุรินทร์, การศึกษากระบวนการผลิตและสมบัติของแผ่นฉนวนกันความร้อนจากขาน้อย, วิทยานิพนธ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2540.
15. รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มจัต, เอกสารประกอบการเรียนวิชาพอลิเมอร์ผสมและคอมโพสิต “พอลิเมอร์คอมโพสิต” ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 63-67.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

16. วรธรรม อุ่นจิตติชัย, สัญญา โชคดีพาณิชย์ และพัฒน์ เดชาวิจิตร, การผลิตแผ่นเอ็มดีเอฟจากวัชพืช ต้นหญ้าสลาบลวง, อนุสารไม้อัดบางนาเล่มที่ 1, ปีที่ 26, ฉบับที่ 144, 2540.
17. สิรินันท์ วิริยะสุนทร และสุรธรรมา ออกสุข, แผ่นกระดานดูดซับเสียงจากพอลิสไตรีน/ซานอ้อย โครงการพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2539.
18. <http://en.wikipedia.org/wiki/Glycerol>
19. <http://chemicaland21.com/industrialchem/organic/GLUTARIC%20ACID.htm>
20. <http://www.doa.go.th/plp/plant%20protection%20rambutan%20compnd/rambutan%20weed/1-1.htm>
21. <http://phoenix.eng.psu.ac.th/chem/File/445/1.manuscript.pdf>
22. <http://www.forest.go.th/forprod/research/abstract/1195.htm>
23. <http://www.eppo.go.th/encon/abstract/KMUTT-2544-Kittisak.html>
24. <http://www.forest.go.th/Forprod/RESEARCH/abstract/1205.htm>
25. ขวัญชนก เจริญสุข จุฑารัตน์ เมื่อดิ และทิพย์วामी ดีดาวงศ์, แผ่นกาสัมผัสอัดชนิดความหนาแน่นปานกลาง, โครงการพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2548.
26. พิทยา ศรีพันธ์ วรพรรณ อุดมชัย และสุรัช มีฤกษ์กิจ, การทำแผ่นไม้อัดจากชนบัตร์ไทย, อนุสารไม้อัดบางนาเล่มที่ 4, ปีที่ 25, ฉบับที่ 141, 2539.
27. วรธรรม อุ่นจิตติชัย, การวิจัยใช้ประโยชน์ไม้สะเดาเทียมเพื่ออุตสาหกรรมการผลิตแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ด, อนุสารไม้อัดบางนาเล่มที่ 5, ปีที่ 25, ฉบับที่ 142, 2539.
28. จงจิตต์ หิรัญลาภ, สโรชา เจริญวัย และJoseph Khedari, การทำแผ่นฉนวนจากเปลือกทุเรียนและกากมะพร้าว, วิทยานิพนธ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2546.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นขึ้นไม้ชนิดอัดราบ  
: ความหนาแน่นปานกลาง (มอก. 876-2532)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

### มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นจีนไม้ชนิดอัดราบ : ความหนาแน่นปานกลาง (มอก. 876-2532)

#### 1. ขอบเขต

1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนด แบบ ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน ส่วนประกอบและการทำ คุณสมบัติที่ ต้องการ เครื่องหมายและฉลาก การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน และการทดสอบแผ่นจีนไม้อัดชนิดอัดราบ

1.2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ไม่ครอบคลุมถึง แผ่นจีนไม้อัดชนิดอัดราบ ซึ่งมีไม้บางหรือวัสดุอื่นปิดทับหน้า

#### 2. บทนิยาม

2.1 แผ่นจีนไม้อัดชนิดอัดราบ : ความหนาแน่นปานกลาง (Flat pressed, FP) particleboard : medium density) ซึ่งต่อไปในมาตรฐานนี้จะเรียกว่า แผ่นจีนไม้อัด (Particleboard) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่เป็นแผ่นทำจากจีนไม้ หรือวัสดุลิกโนเซลลูโลส (lignocelulosic materials) อื่น ๆ อัดในเครื่องอัดร้อนให้ยึดติดกันด้วยกาวให้ทิศทางของแรงอัด ตั้งฉากกับระนาบของแผ่น การทำอาจทำเป็นแผ่น ๆ หรือทำต่อเนื่อง จีนไม้ส่วนใหญ่ นอนตัวขนานกับระนาบของแผ่น แผ่นไม้อัดอาจทำให้มีลักษณะโครงสร้างเป็นชั้นเดียว สามชั้น หลายชั้น หรือ โครงสร้างที่มีจีนไม้ขนาดลดหลั่นกันก็ได้ มีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 500 ถึง 800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

2.2 แผ่นจีนไม้อัดชั้นเดียว หมายถึง แผ่นจีนไม้อัดที่ทำจากจีนไม้ที่มีลักษณะและขนาดเดียวกัน มีส่วนผสมของกาวและสารเติมแต่งอย่างเดียวกัน ตลอดความหนาของแผ่นจีนไม้อัด

2.3 แผ่นจีนไม้อัดสามชั้น หมายถึง แผ่นจีนไม้อัดที่แบ่งตามลักษณะของจีนไม้ออกเป็นสามชั้น ตลอดความหนาของแผ่นจีนไม้อัดในแต่ละชั้นประกอบด้วยจีนไม้ที่มีลักษณะและขนาด ตลอดจนส่วนผสมของกาวเหมือนกัน ปกติใช้จีนไม้ขนาดเล็กและบางเป็นชั้นผิวหน้าและหลัง ส่วนชั้นไส้ใช้จีนไม้หยาบและใหญ่กว่า ไม้ที่ใช้ทำชั้น ไส้อาจเป็นชนิดที่ต่างกับที่ใช้ทำชั้นผิวหน้าและหลังก็ได้ ปริมาณกาวที่ใช้ผสมในชั้นผิวทั้ง 2 หน้า มักมีมากกว่าในชั้นไส้ เพื่อให้เกิดโครงสร้างที่สมดุลกันมีผิวแข็งและแน่นขึ้น

2.4 แผ่นจีนไม้อัดหลายชั้น หมายถึง แผ่นจีนไม้อัดที่มีลักษณะตามข้อ 2.3 แต่มีจำนวนชั้นมากกว่า 3 ชั้น

2.5 แผ่นจีนไม้อัดขนาดลดหลั่น (graduated particleboard) หมายถึง แผ่นจีนไม้อัดที่ทำจากจีนไม้ที่มีลักษณะต่างกัน โดยโครงสร้างของแผ่นประกอบด้วยจีนไม้ขนาดใหญ่และหยาบกว่าอยู่ตรงแนวกลางแผ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตลอดความหนา จากแนวกลางแผ่น ชันไม้จะมีขนาดลดหลั่นเล็กไปหาผิวทั้งสองด้าน โดยไม่มีการแบ่งชั้นแน่นอน

2.6 ชันไม้ หมายถึง ชันหรือส่วนของเนื้อไม้หรือวัสดุกลไก โนเซลลูโลส อื่น ๆ ที่ถูกย่อยด้วยเครื่องจักร ชันไม้อาจมีลักษณะต่าง ๆ อย่างใดอย่างหนึ่งดังนี้

- เกล็ด (flake) หมายถึง ชันไม้บาง ๆ มีทิศทางของเส้นใยไม้ขนานกับผิว ได้จากการใช้ใบมีดตัดขนานกับแนวของเส้นใย แต่จะทำมุมกับแนวแกนของเส้นใย

- เกล็ดใหญ่ (wafer) หมายถึง ชันไม้ที่มีลักษณะเช่นเดียวกับเกล็ด แต่มีความกว้างและความหนามากกว่า

- แถบ (strand) หมายถึง ชันไม้ที่มีลักษณะเช่นเดียวกับเกล็ดแต่มีความยาวมากเมื่อเทียบกับความกว้าง และมีความหนาสม่ำเสมอตลอดความยาวของแถบ

- ชีบ (planer shaving) หมายถึง ชันไม้ที่มีรูปร่างเป็นแผ่นขนาดเล็มีความหนาไม่เท่ากัน คือหนาที่ปลายด้านหนึ่งส่วนปลายอีกด้านหนึ่งจะบางและมีลักษณะเป็นแฉกขนนก และมักจะโค้งงอด้วย ซึ่งได้จากการไสไม้ด้วยเครื่องไสไม้ชนิดหัวตัดหมุน

- แท่ง (splinter or sliver) หมายถึง ชันไม้ที่มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมเมื่อมองทางหน้าตัดและมีความยาวตามแนวเส้นใยไม่น้อยกว่า 4 เท่าของความหนา

- เม็ด (granule) หมายถึง ชันไม้ที่มีลักษณะคล้ายขี้เลื่อยซึ่งมีความกว้าง ความยาว และความหนาเกือบเท่ากัน

- ลักษณะอื่น ๆ ซึ่งเหมาะสำหรับใช้ทำแผ่นชันไม้อัด

2.7 ไม้บาง (vaneer) หมายถึง แผ่นชันไม้บาง ๆ ที่ได้จากการลอกหรือฝาน

2.8 วัสดุกลไกโนเซลลูโลส หมายถึง วัสดุที่มีเซลลูโลสและลิกนินเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น ไม้ และพืชต่าง ๆ ได้แก่ ชานอ้อย ป่าน ปอ เป็นต้น

2.9 กาว หมายถึง สารอินทรีย์ที่ใช้ยึดชันไม้ให้ติดเข้ากัน ในแผ่นชันไม้อัด โดยปกติเป็นกาวเรซินสังเคราะห์สำหรับไม้

2.10 สารเติมแต่ง หมายถึง สารที่ใช้เติมในการทำแผ่นชันไม้อัด เพื่อให้มีสมบัติพิเศษขึ้น ซึ่งรวมทั้งสารรักษาเนื้อไม้ด้วย

2.11 ความขี้ดแน่นของผิวหน้า (surface soundness) หมายถึง สมบัติการยึดของชันไม้ส่วนผิวหน้ากับส่วนถัดไปของแผ่นชันไม้อัด

### 3. แบบ

แผ่นชันไม้อัดแบ่งเป็น 4 แบบ คือ แผ่นชันไม้อัดชั้นเดียว แผ่นชันไม้อัดสามชั้น แผ่นชันไม้อัดหลายชั้น แผ่นชันไม้อัดขนาดลดหลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4. คุณลักษณะที่ต้องการ

##### 4.1 ลักษณะทั่วไป

แผ่นขึ้นไม้อัดต้องมีความหนา ความแน่น และความเรียบสม่ำเสมอกันตลอดทั้งแผ่น ขอบต้องตั้งได้ฉากกับระนาบผิว การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ

##### 4.2 ความหนาแน่น

ความหนาแน่นเฉลี่ยต้องอยู่ในช่วง 500 ถึง 800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และความหนาแน่นของแผ่นขึ้นไม้อัดแต่ละแผ่นจะคลาดเคลื่อนจากความหนาแน่นเฉลี่ยได้ไม่เกินร้อยละ 10

##### 4.3 ความชื้น

ความชื้นเฉลี่ยต้องอยู่ในช่วงร้อยละ 9 ถึงร้อยละ 15 และความชื้นของแผ่นขึ้นไม้อัดแต่ละแผ่นคลาดเคลื่อน จากความชื้นเฉลี่ยได้ไม่เกินร้อยละ 3

##### 4.4 คุณลักษณะที่ต้องการอื่น ๆ ให้เป็นไปตามตาราง

##### ตารางแสดงคุณลักษณะที่ต้องการอื่น ๆ

ลำดับที่	คุณสมบัติ	เกณฑ์ที่กำหนด		
		ความหนาแน่นลิเมตร		
		3-6	เกิน 6 ถึง 19	เกิน 19 ถึง 50
1	การดูดซึม ร้อยละไม่เกิน			
	- 2 ชั่วโมง	40	40	40
	- 24 ชั่วโมง	80	80	80
2	การพองตัวเมื่อแช่น้ำ ร้อยละ ไม่เกิน	8.0	12.0	12.0
3	ความต้านทานแรงคัด (เมกะพาสคาล) ไม่น้อยกว่า	18.0	13.8	12.5
4	มอดุลัสยืดหยุ่น (เมกะพาสคาล) ไม่น้อยกว่า	2,000	2,000	1,850
5	ความต้านทานแรงค้ำตั้งฉากกับผิวหน้า (เมกะพาสคาล) ไม่น้อยกว่า	0.80	0.34	0.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5. การทดสอบ

### 5.1 การปรับสภาวะขึ้นทดสอบ

ให้นำชิ้นทดสอบที่เตรียมไว้ทดสอบการพองตัวเมื่อแช่น้ำ ความต้านแรงคัด มอดูลัสยืดหยุ่น ความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า ความยืดหยุ่นของผิวหน้า และความยืดหยุ่นของตะปูเกลียว ไปปรับสภาวะที่อุณหภูมิ  $20 \pm 2$  องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ  $65 \pm 5$  จนน้ำหนักคงที่ คือ น้ำหนักของชิ้นทดสอบที่ชั่ง 2 ครั้งห่างกัน 24 ชั่วโมง ต่างกันไม่เกินร้อยละ 0.1 แล้วทำการทดสอบทันทีที่จะพ้นจากการปรับสภาวะ ส่วนชิ้นทดสอบที่ใช้ทดสอบความหนาแน่น ความชื้น และการดูดซึมน้ำ ไม่ต้องปรับภาวะ

### 5.2 ขนาด

#### 1. ความกว้างและความยาว

ใช้สายวัด โลหะที่วัดได้ละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร วัดที่จุดลึกเข้าไปจากขอบของแผ่นขึ้นไม้อัดประมาณ 100 มิลลิเมตร

#### 2. ความหนา

ใช้ไมโครมิเตอร์ ที่วัดได้ละเอียดถึง 0.05 มิลลิเมตร ซึ่งมีส่วนของแป้นวัดเรียบและขนานกันและมีเส้นผ่านศูนย์กลาง  $16 \pm 1$  มิลลิเมตร (พื้นที่สัมผัสประมาณ 200 ตารางมิลลิเมตร) ให้วัดที่บริเวณกึ่งกลางของขอบของแผ่นขึ้นไม้อัดทั้ง 4 ด้าน และให้ลึกเข้าไปจากประมาณ 25 ถึง 200 มิลลิเมตร

#### 3. ความแตกต่างของเส้นทแยงมุม

ใช้สายวัดตามข้อ 1 วัดหาความแตกต่างของเส้นทแยงมุม

#### 4. ความตรงของขอบ

ชิงเส้นด้ายให้ตึงระหว่างมุมที่ขอบเดียวกัน ของแผ่นขึ้นไม้อัดแล้ววัดระยะที่คลาดเคลื่อนจากแนวเส้นด้ายมากที่สุดของขอบทั้ง 4 ด้าน

#### ตารางแสดงเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

ความหนาระบุ (มิลลิเมตร)	เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน (มิลลิเมตร)	
	ความกว้างและความยาว	ความหนา
3 ถึง 6	±5	± 0.3
เกิน 6 ถึง 19		± 0.4
เกิน 19 ถึง 50		± 0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.3 ความหนาแน่น

#### 1. เครื่องมือ

- เครื่องชั่ง ที่ชั่งได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม
- ไมโครมิเตอร์ ที่วัดได้ละเอียดถึง 0.5 มิลลิเมตร

#### 2. วิธีทดสอบ

- ชั่งชิ้นทดสอบให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนถึง 0.1 กรัม
- วัดความกว้างและความยาวของชิ้นทดสอบขนานกับขอบให้ละเอียด 0.5 มิลลิเมตร แล้วหาค่าเฉลี่ย
- วัดความหนา 4 ตำแหน่ง แล้วหาค่าเฉลี่ย

#### 3. การรายงานผล

รายงานค่าความหนาแน่นของชิ้นทดสอบแต่ละชิ้นและค่าเฉลี่ย

### 5.4 ความชื้น

#### 1. เครื่องมือ

- เครื่องชั่ง ที่ชั่งได้ละเอียดถึง 0.01 กรัม
- เตาอบ ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่  $103 \pm 2$  องศาเซลเซียส
- เดซิเคเตอร์

#### 2. วิธีทดสอบ

- ชั่งชิ้นทดสอบซึ่งผ่านการทดสอบตามข้อ 5.3 แล้วให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนถึง 0.01 กรัม เป็นน้ำหนักก่อนอบ
- อบชิ้นทดสอบในเตาอบที่อุณหภูมิ  $103 \pm 2$  องศาเซลเซียส จนมีน้ำหนักคงที่
- นำมาใส่ในเดซิเคเตอร์ ปล่อยให้เย็น
- ชั่งชิ้นทดสอบ เป็นน้ำหนักอบแห้ง

#### 3. การรายงานผล

รายงานค่าความชื้นของชิ้นทดสอบแต่ละชิ้นและค่าเฉลี่ย

## 5.5 การพองตัวเมื่อแช่น้ำ

### 1. เครื่องมือ

- ไมโครมิเตอร์ที่วัดละเอียดถึง 0.05 มิลลิเมตร

### 2. วิธีทดสอบ

1) ทำเครื่องหมายตำแหน่งที่วัดความหนาของชิ้นทดสอบ 4 ตำแหน่ง แล้วหาค่าเฉลี่ยเป็นความหนาก่อนแช่น้ำ

2) แช่ชิ้นทดสอบในน้ำสะอาดที่อุณหภูมิห้อง โดยตั้งชิ้นทดสอบให้ไต่ตั้งจากกับระดับผิวน้ำ ให้ขอบบนอยู่ใต้ระดับผิวน้ำประมาณ 25 มิลลิเมตร แต่ละชิ้นต้องห่างจากกัน และต้องห่างผนังและก้นภาชนะที่ใส่ไม่น้อยกว่า 10 มิลลิเมตร

3) เมื่อแช่ชิ้นทดสอบครบ 1 ชั่วโมงแล้ว ให้นำชิ้นทดสอบขึ้นมาซับน้ำที่ผิวออกให้หมดด้วยผ้าหมาด แล้วปล่อยให้ที่อุณหภูมิห้อง โดยวางให้ขอบด้านใดด้านหนึ่งอยู่บนแผ่นวัสดุที่ไม่ดูดซับน้ำ เช่น พลาสติก กระดาษ

4) เมื่อปล่อยให้ชิ้นทดสอบไว้ครบ 2 ชั่วโมงแล้ว นำชิ้นทดสอบขึ้นมาวัดความหนาตามตำแหน่งเดิม แล้วหาค่าเฉลี่ย เป็นความหนาหลังแช่น้ำ

### 3. วิธีคำนวณ

หาค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำจากสูตร

$$\text{การพองตัว (\%)} = \frac{\text{ความหนาหลังแช่น้ำ (มม.)} - \text{ความหนาก่อนแช่น้ำ (มม.)}}{\text{ความหนาก่อนแช่น้ำ (มม.)}} \times 100$$

การรายงานผล รายงานค่าเฉลี่ยการพองตัวเมื่อแช่น้ำของชิ้นทดสอบ

## 5.6 ความต้านทานแรงดัดและมอดูลัสยืดหยุ่น

### 1. เครื่องมือ

1) เครื่องกด ซึ่งวัดแรงกดได้ละเอียดถึง 5 นิวตัน หรือร้อยละ 5 ของแรงกดสูงสุดที่ชิ้นทดสอบรับได้ หัวกดต้องมีปลายส่วนที่ใส่กดเป็นรูปครึ่งวงกลมมีรัศมี 10 ถึง 13 มิลลิเมตร และมีความยาวไม่น้อยกว่าความกว้างของชิ้นทดสอบ

2) แท่นรองรับ ต้องมีลักษณะหน้าตัดเป็นรูปครึ่งวงกลม หรือรูปวงกลม มีรัศมี 10 ถึง 13 มิลลิเมตร ความยาวไม่น้อยกว่าความกว้างของชิ้นทดสอบ

3) มาตรวัดการแอ่นตัว ซึ่งอ่านค่าได้ละเอียดถึง 0.01 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. วิธีการทดสอบ

1) วางชิ้นทดสอบลงบนแท่นรองรับซึ่งมีระยะห่าง 16 เท่าของความหนาของชิ้นทดสอบ (ตัวเลขที่ให้ให้ปัดเป็นเลขจำนวนเต็มของ 10 มิลลิเมตรที่ใกล้เคียง) ให้ปลายชิ้นทดสอบยื่นออกไปจากจุดที่รองรับประมาณข้างละ 25 มิลลิเมตรเท่าๆ กัน

2) ให้แรงกดลงบนจุดกึ่งกลางของชิ้นทดสอบ โดยมีอัตราการเพิ่มแรงกดอย่างสม่ำเสมอเวลาที่ใช้ตั้งแต่เริ่มกดจนกระทั่งชิ้นทดสอบหักต้องไม่น้อยกว่า 30 วินาที และไม่เกิน 120 วินาที

3) คำนวณและรายงานค่าเฉลี่ยของความต้านทานแรงค้ำและมอดูลัสยืดหยุ่น

## 3. วิธีการคำนวณ

1) ความต้านแรงค้ำ หาค่าความต้านแรงค้ำจากสูตร

$$F = \frac{3Wl}{2bd^2}$$

- เมื่อ F คือ ความต้านทานแรงค้ำ (MPa)  
 W คือ แรงกดสูงสุดที่ชิ้นทดสอบรับได้ (นิวตัน)  
 l คือ ระยะห่างของแท่นรองรับ (มิลลิเมตร)  
 b คือ ความกว้างของชิ้นทดสอบ (มิลลิเมตร)  
 d คือ ความหนาเฉลี่ยของชิ้นทดสอบ (มิลลิเมตร)

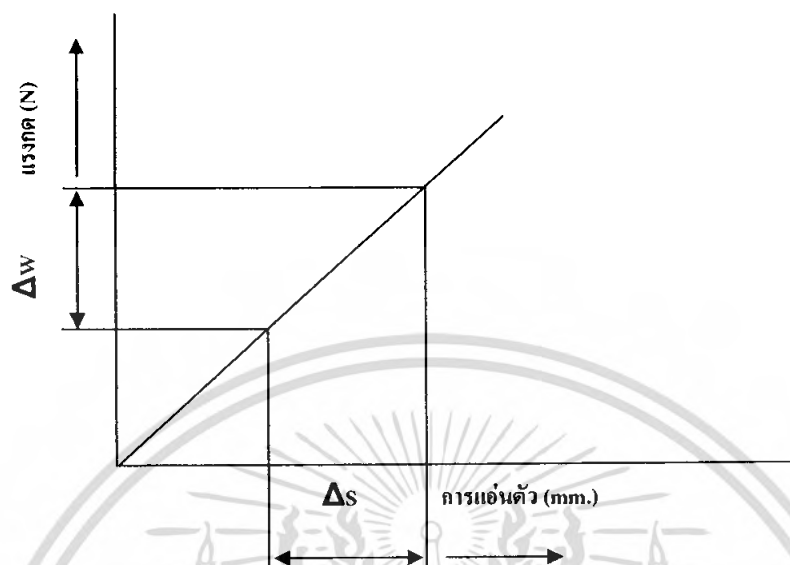
2) มอดูลัสยืดหยุ่น หาค่ามอดูลัสยืดหยุ่น จากสูตร

$$E = \frac{\Delta W l^2}{4bd^2 \Delta S}$$

- E คือ มอดูลัสยืดหยุ่น (MPa)  
 l คือ ระยะห่างของแท่นรองรับ (มิลลิเมตร)  
 $\Delta W$  คือ แรงกดที่เพิ่มขึ้น ในช่วงที่เส้นกราฟเป็นเส้นตรงตามรูปที่ 1 (นิวตัน)  
 b คือ ความกว้างของชิ้นทดสอบ (มิลลิเมตร)  
 d คือ ความหนาเฉลี่ยของชิ้นทดสอบ (มิลลิเมตร)  
 $\Delta S$  คือ ระยะแอนตัวที่เพิ่มขึ้นในช่วงที่เส้นกราฟเป็นเส้นตรงตามรูปที่ 1 (มิลลิเมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานผล รายงานค่าเฉลี่ยของความต้านแรงคัตและมอดูลัสยืดหยุ่นของชิ้นทดสอบ



รูปที่ 1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดกับการแ่นตัว

## 5.7 ความต้านแรงคัตจากกับผิวหน้า

### 1.เครื่องมือ

1. เครื่องคัต ซึ่งสามารถให้แรงคัตเพื่อแยกชิ้นทดสอบออกใช้เวลาไม่น้อยกว่า 30 วินาทีและไม่เกิน 120 วินาที
2. แผ่นคัตซึ่งทำด้วยไม้หรือโลหะที่เหมาะสม ขนาดไม่น้อยกว่า 50 × 50 มิลลิเมตร<sup>2</sup> ความหนาตามความเหมาะสม

### 2.วิธีทดสอบ

1. ตัดผิวหน้าทั้งสองของชิ้นทดสอบกับแผ่นคัต โดยใช้กาวสังเคราะห์ที่มีแรงยึดมากกว่าแรงยึดในตัวชิ้นทดสอบ
2. นำชิ้นทดสอบที่เตรียมได้แล้วนี้ไปเข้าเครื่องคัต คัตให้ชิ้นทดสอบแยกออกจากกัน ซึ่งปกติจะแยกในชั้นใส่อัตราการเพิ่มแรงคัตต้องเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ เวลาที่ใช้ตั้งแต่เริ่มคัต จนกระทั่งชิ้นทดสอบแยกออกจากกันต้องไม่น้อยกว่า 30 วินาที และไม่เกิน 120 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.วิธีการคำนวณ

หาค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าจากสูตร

$$\text{ความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า (เมกะปาสคัล)} = \frac{\text{แรงดึงสูงสุด (นิวตัน)}}{\text{ความกว้าง (มม.)} \times \text{ความยาว (มม.)}}$$

การรายงานผล รายงานค่าเฉลี่ยของความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข-1 ผลการทดสอบการบวมตัวของแผ่นชั้นไม้อัดที่ใช้กาวสังเคราะห์พอลิเอเทอร์ เมื่อทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง

วันที่	ความหนาด้านที่ 1					ความหนาด้านที่ 2					ความหนาด้านที่ 3					ความหนาด้านที่ 4					เฉลี่ย รวม
	ครั้งที่				เฉลี่ย	ครั้งที่				เฉลี่ย	ครั้งที่				เฉลี่ย	ครั้งที่				เฉลี่ย	
	1	2	3	4		1	2	3	4		1	2	3	4		1	2	3	4		
1	1.018	1.020	1.017	1.032	1.0218	1.017	1.010	1.018	1.019	1.0210	1.019	1.020	1.017	1.024	1.0193	1.022	1.018	1.022	1.016	1.0185	1.0202
2	1.036	1.162	1.242	1.264	1.1510	1.212	1.104	1.212	1.090	1.1545	1.138	1.106	1.200	1.162	1.1515	1.131	1.139	1.172	1.135	1.1443	1.1503
3	1.012	1.280	1.322	1.194	1.2020	1.234	1.300	1.098	1.194	1.2065	1.198	1.186	1.234	1.188	1.2015	1.188	1.192	1.244	1.208	1.2080	1.2045
4	1.132	1.234	1.184	1.280	1.2075	1.256	1.290	1.156	1.234	1.2340	1.214	1.216	1.200	1.094	1.1820	1.182	1.190	1.290	1.272	1.2335	1.2143
5	1.354	1.340	1.360	1.330	1.3460	1.326	1.268	1.222	1.216	1.2580	1.218	1.210	1.200	1.216	1.2110	1.236	1.222	1.254	1.280	1.2480	1.2658
6	1.336	1.370	1.368	1.358	1.3580	1.368	1.244	1.254	1.224	1.2725	1.218	1.216	1.214	1.206	1.2135	1.224	1.218	1.294	1.328	1.2660	1.2775
7	1.354	1.374	1.360	1.400	1.3730	1.368	1.284	1.234	1.236	1.2805	1.226	1.216	1.216	1.236	1.2235	1.384	1.234	1.206	1.270	1.2738	1.2877
8	1.354	1.386	1.380	1.400	1.3800	1.212	1.296	1.274	1.264	1.2815	1.287	1.268	1.276	1.297	1.2820	1.390	1.286	1.236	1.281	1.2983	1.3105
9	1.400	1.342	1.436	1.392	1.3925	1.360	1.296	1.226	1.290	1.2930	1.289	1.286	1.280	1.297	1.2880	1.392	1.296	1.256	1.286	1.3075	1.3203
10	1.374	1.397	1.412	1.388	1.3928	1.396	1.298	1.246	1.238	1.2945	1.294	1.283	1.278	1.297	1.2880	1.395	1.297	1.249	1.287	1.3070	1.3206
11	1.385	1.396	1.410	1.384	1.3938	1.346	1.304	1.286	1.242	1.2945	1.290	1.289	1.276	1.297	1.2880	1.393	1.298	1.249	1.290	1.3075	1.3210
12	1.392	1.398	1.396	1.389	1.3938	1.346	1.309	1.288	1.245	1.2970	1.295	1.291	1.276	1.290	1.2880	1.394	1.296	1.250	1.289	1.3073	1.3215
13	1.389	1.399	1.396	1.392	1.3940	1.298	1.316	1.287	1.290	1.2978	1.283	1.289	1.291	1.288	1.2878	1.358	1.256	1.317	1.298	1.3073	1.3217
14	1.391	1.399	1.392	1.393	1.3938	1.310	1.326	1.295	1.265	1.2975	1.280	1.292	1.286	1.295	1.2882	1.298	1.249	1.390	1.293	1.3075	1.3218

ตาราง ข-2 ผลการทดสอบการบวมตัวของแผ่นซีเมนต์ไม้อัดที่ใช้กาวสังเคราะห์พอลิเอเทอร์/พอลิเอสเทอร์ 6% โดยนำหนักกลีเซอรอล เมื่อทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง

วันที่	ความหนาด้านที่ 1					ความหนาด้านที่ 2					ความหนาด้านที่ 3					ความหนาด้านที่ 4					เฉลี่ย รวม
	ครั้งที่				เฉลี่ย	ครั้งที่				เฉลี่ย	ครั้งที่				เฉลี่ย	ครั้งที่				เฉลี่ย	
	1	2	3	4		1	2	3	4		1	2	3	4		1	2	3	4		
1	1.012	1.010	1.020	1.016	1.0145	1.014	1.016	1.020	1.016	1.0165	1.014	1.010	1.018	1.010	1.0130	1.012	1.016	1.100	1.014	1.0130	1.0143
2	1.026	1.042	1.050	1.039	1.0393	1.052	1.042	1.036	1.042	1.0430	1.020	1.020	1.016	1.016	1.0180	1.024	1.039	1.032	1.044	1.0348	1.0338
3	1.078	1.062	1.090	1.080	1.0775	1.072	1.066	1.058	1.048	1.0610	1.032	1.030	1.020	1.020	1.0255	1.028	1.050	1.050	1.060	1.0470	1.0528
4	1.134	0.992	1.122	1.128	1.0940	1.110	1.096	1.070	1.060	1.0840	1.066	1.038	1.040	1.058	1.0455	1.058	1.064	1.082	1.096	1.0750	1.0746
5	1.134	0.992	1.122	1.128	1.0940	1.110	1.096	1.070	1.060	1.0840	1.066	1.038	1.040	1.058	1.0455	1.058	1.080	1.082	1.106	1.0815	1.0763
6	1.139	1.080	1.117	1.142	1.1180	1.168	1.100	1.180	1.146	1.1485	1.090	1.042	1.038	1.098	1.0670	1.101	1.088	1.092	1.084	1.0913	1.1062
7	1.172	1.128	1.114	1.138	1.1380	1.128	1.150	1.128	1.124	1.1325	1.124	1.094	1.108	1.112	1.1095	1.168	1.146	1.188	1.158	1.1650	1.1363
8	1.164	1.256	1.140	1.136	1.1740	1.168	1.122	1.170	1.177	1.1592	1.126	1.100	1.178	1.100	1.1260	1.106	1.138	1.162	1.170	1.1440	1.1508
9	1.200	1.156	1.184	1.208	1.1870	1.222	1.224	1.218	1.214	1.2195	1.168	1.144	1.142	1.162	1.1540	1.148	1.152	1.156	1.206	1.1655	1.1815
10	1.228	1.178	1.184	1.196	1.1965	1.206	1.230	1.240	1.288	1.2410	1.168	1.144	1.142	1.162	1.1860	1.200	1.222	1.200	1.254	1.2190	1.2106
11	1.245	1.239	1.241	1.244	1.2423	1.234	1.241	1.243	1.238	1.2390	1.226	1.248	1.232	1.229	1.2338	1.243	1.235	1.240	1.249	1.2418	1.2392
12	1.209	1.252	1.220	1.198	1.2198	1.198	1.236	1.258	1.268	1.2400	1.224	1.208	1.200	1.226	1.2195	1.256	1.266	1.304	1.300	1.2815	1.2402
13	1.251	1.239	1.242	1.244	1.2440	1.185	1.257	1.233	1.260	1.2310	1.239	1.240	1.229	1.242	1.2375	1.249	1.239	1.251	1.254	1.2483	1.2402
14	1.253	1.232	1.239	1.247	1.2428	1.233	1.255	1.246	1.239	1.2433	1.221	1.266	1.244	1.232	1.2408	1.243	1.256	1.233	1.262	1.2485	1.2439

ตาราง ข-3 ผลการทดสอบการบวมตัวของแผ่นหินไม้อัดที่ใช้กาวสังเคราะห์พอลิเอเทอร์/พอลิเอสเทอร์ 8% โดยนำหนักกลีเซอรอล เมื่อทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง

วันที่	ความหนาแน่นที่ 1					ความหนาแน่นที่ 2					ความหนาแน่นที่ 3					ความหนาแน่นที่ 4					เฉลี่ย รวม
	ครั้งที่				เฉลี่ย	ครั้งที่				เฉลี่ย	ครั้งที่				เฉลี่ย	ครั้งที่				เฉลี่ย	
	1	2	3	4		1	2	3	4		1	2	3	4		1	2	3	4		
1	1.014	1.024	1.120	1.010	1.0150	1.022	1.012	1.018	1.014	1.0165	1.022	1.012	1.020	1.016	1.0175	1.010	1.022	1.014	1.016	1.0155	1.0161
2	1.024	1.022	1.022	1.020	1.0200	1.020	1.022	1.022	1.024	1.0220	1.030	1.022	1.034	1.024	1.0275	1.024	1.032	1.034	1.028	1.0295	1.0253
3	1.040	1.042	1.044	1.052	1.0445	1.036	1.070	1.042	1.082	1.0975	1.038	1.038	1.050	1.048	1.0435	1.036	1.066	1.056	1.068	1.0565	1.0505
4	1.060	1.064	1.062	1.066	1.0630	1.052	1.072	1.054	1.084	1.0655	1.066	1.064	1.062	1.060	1.0630	1.068	1.076	1.082	1.070	1.0740	1.0664
5	1.074	1.078	1.080	1.068	1.0750	1.070	1.074	1.077	1.086	1.0770	1.068	1.068	1.070	1.070	1.0690	1.078	1.084	1.092	1.080	1.0835	1.0761
6	1.088	1.086	1.094	1.090	1.0895	1.080	1.088	1.070	1.096	1.0885	1.080	1.082	1.086	1.086	1.0835	1.080	1.094	1.098	1.088	1.0900	1.0878
7	1.122	1.100	1.124	1.100	1.1115	1.096	1.098	1.098	1.120	1.1030	1.094	1.098	1.098	1.098	1.0970	1.090	1.100	1.138	1.100	1.1070	1.1046
8	1.152	1.146	1.150	1.140	1.1470	1.138	1.140	1.140	1.154	1.1430	1.140	1.142	1.144	1.142	1.1420	1.130	1.154	1.156	1.152	1.1480	1.1450
9	1.182	1.178	1.180	1.176	1.1790	1.176	1.178	1.178	1.1284	1.1790	1.174	1.178	1.180	1.180	1.1780	1.172	1.182	1.184	1.180	1.1795	1.1789
10	1.194	1.190	1.190	1.188	1.1905	1.188	1.190	1.188	1.196	1.1905	1.186	1.188	1.188	1.192	1.1885	1.188	1.192	1.196	1.190	1.1915	1.1903
11	1.200	1.194	1.196	1.192	1.1955	1.192	1.194	1.192	1.200	1.1945	1.192	1.194	1.194	1.798	1.1945	1.196	1.198	1.200	1.196	1.1975	1.1955
12	1.202	1.198	1.200	1.198	1.1995	1.198	1.200	1.198	1.202	1.1995	1.198	1.198	1.198	1.200	1.1985	1.198	1.200	1.202	1.200	1.1200	1.1993
13	1.202	1.120	1.200	1.200	1.2005	1.200	1.200	1.200	1.202	1.2005	1.200	1.200	1.200	1.202	1.2005	1.200	1.200	1.202	1.200	1.2005	1.2005
14	1.202	1.120	1.200	1.200	1.2005	1.200	1.200	1.200	1.202	1.2005	1.200	1.200	1.200	1.204	1.2005	1.200	1.200	1.202	1.200	1.2005	1.2005

ตาราง ข-4 ผลการทดสอบการบวมตัวของแผ่นซีเมนต์ที่ใช้กาวสังเคราะห์พอลิเอทีเทอร์/พอลิเอสเทอร์ 10% โดยน้ำหนักกลีเซอรอล เมื่อทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง

วันที่	ความหนาแน่นที่ 1					ความหนาแน่นที่ 2					ความหนาแน่นที่ 3					ความหนาแน่นที่ 4					เฉลี่ย รวม
	ครั้งที่				เฉลี่ย	ครั้งที่				เฉลี่ย	ครั้งที่				เฉลี่ย	ครั้งที่				เฉลี่ย	
	1	2	3	4		1	2	3	4		1	2	3	4		1	2	3	4		
1	1.008	1.006	1.010	1.012	1.0090	1.008	1.010	1.006	1.004	1.0070	1.008	1.010	1.006	1.014	1.0095	1.012	1.010	1.008	1.006	1.0090	1.0086
2	1.012	1.012	1.014	1.016	1.0135	1.014	1.018	1.014	1.010	1.0140	1.012	1.018	1.012	1.020	1.0155	1.014	1.020	1.018	1.020	1.0118	1.0153
3	1.020	1.020	1.024	1.022	1.0215	1.020	1.028	1.026	1.020	1.0235	1.020	1.026	1.026	1.028	1.0250	1.026	1.028	1.030	1.030	1.0285	1.0285
4	1.056	1.028	1.036	1.030	1.0375	1.030	1.032	1.034	1.030	1.0315	1.068	1.054	1.050	1.052	1.0560	1.064	1.040	1.058	1.062	1.0560	1.0453
5	1.064	1.058	1.066	1.036	1.0560	1.026	1.050	1.060	1.068	1.0510	1.070	1.060	1.060	1.060	1.0625	1.072	1.060	1.060	1.050	1.0605	1.0575
6	1.072	1.064	1.070	1.042	1.0620	1.100	1.108	1.100	1.010	1.0725	1.126	1.088	1.092	1.064	1.0925	1.100	1.100	1.080	1.080	1.0900	1.0900
7	1.126	1.084	1.088	1.070	1.0920	1.118	1.120	1.112	1.122	1.1180	1.140	1.090	1.110	1.100	1.1100	1.110	1.112	1.100	1.108	1.1075	1.1069
8	1.124	1.126	1.100	1.120	1.1175	1.118	1.128	1.110	1.128	1.1210	1.118	1.106	1.124	1.114	1.1155	1.124	1.119	1.094	1.092	1.1073	1.1153
9	1.126	1.128	1.110	1.134	1.1245	1.030	1.132	1.118	1.132	1.1280	1.134	1.110	1.130	1.120	1.1235	1.132	1.130	1.120	1.122	1.1260	1.1255
10	1.142	1.144	1.138	1.158	1.1445	1.142	1.150	1.152	1.158	1.1505	1.154	1.134	1.148	1.140	1.1440	1.150	1.146	1.130	1.140	1.1415	1.2450
11	1.158	1.152	1.150	1.160	1.1550	1.150	1.158	1.162	1.164	1.1585	1.164	1.152	1.158	1.148	1.1555	1.154	1.160	1.150	1.158	1.1555	1.1561
12	1.160	1.158	1.154	1.160	1.1580	1.154	1.160	1.162	1.164	1.1600	1.164	1.154	1.160	1.150	1.1570	1.156	1.160	1.152	1.150	1.1570	1.1580
13	1.160	1.160	1.154	1.160	1.1585	1.156	1.160	1.162	1.164	1.1605	1.164	1.154	1.160	1.150	1.1570	1.156	1.160	1.152	1.160	1.1570	1.1580
14	1.160	1.160	1.156	1.188	1.1590	1.156	1.160	1.162	1.164	1.1605	1.164	1.154	1.160	1.152	1.1575	1.156	1.160	1.154	1.160	1.1575	1.1686

ตาราง ข-5 ผลการทดสอบการบวมตัวของแผ่นฉนวนใยหินที่ไม่อัดที่ใช้กาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ เมื่อทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง

วันที่	ความหนาแน่นที่ 1					ความหนาแน่นที่ 2					ความหนาแน่นที่ 3					ความหนาแน่นที่ 4					เฉลี่ย รวม
	ครั้งที่				เฉลี่ย	ครั้งที่				เฉลี่ย	ครั้งที่				เฉลี่ย	ครั้งที่				เฉลี่ย	
	1	2	3	4		1	2	3	4		1	2	3	4		1	2	3	4		
1	0.920	0.942	0.956	0.920	0.9345	0.922	0.934	0.924	0.908	0.9220	0.926	0.940	0.928	0.918	0.9280	0.932	0.936	0.946	0.953	0.9381	0.9306
2	0.934	0.928	0.956	0.942	0.9400	0.956	0.934	0.980	0.954	0.9460	0.948	0.926	0.932	0.954	0.9400	0.940	0.930	0.949	0.928	0.9369	0.9407
3	0.940	0.938	0.958	0.972	0.9515	0.974	0.952	0.948	0.972	0.9615	0.990	0.972	0.972	0.938	0.9645	0.970	0.958	0.946	0.982	0.9640	0.9604
4	0.942	0.980	0.980	0.940	0.9605	0.968	0.266	0.992	0.980	0.9765	1.002	0.938	0.938	0.976	0.9755	0.962	0.968	0.962	0.972	0.9660	0.9696
5	0.990	0.962	0.978	0.970	0.9750	1.000	0.940	1.008	1.040	0.9970	1.000	0.980	0.980	0.990	0.9895	0.982	0.974	0.974	0.972	0.9755	0.9843
6	0.994	1.000	1.000	0.992	0.9965	1.000	1.020	1.000	1.000	1.0050	1.002	0.994	0.996	1.000	0.998	0.982	0.982	0.978	1.000	0.9855	0.9962
7	0.994	1.000	1.020	0.992	1.0015	1.008	1.008	1.000	1.014	1.0075	1.018	1.016	1.016	1.010	1.0115	0.986	1.002	0.986	1.000	0.9935	1.0035
8	1.000	1.000	1.024	1.010	1.0085	1.008	1.030	1.004	1.000	1.0105	1.036	1.018	1.018	1.000	1.0145	1.014	1.006	1.004	1.012	1.0090	1.0105
9	1.000	1.000	1.026	0.998	1.0060	1.016	1.018	1.010	1.014	1.0140	1.022	1.008	1.008	1.024	1.0160	1.008	1.010	1.008	1.018	1.0110	1.0118
10	1.018	1.020	1.005	1.005	1.0120	1.021	1.024	1.020	1.018	1.0208	1.024	1.018	1.018	1.002	1.0185	1.018	1.011	1.030	1.025	1.0210	1.0180
11	1.000	1.020	1.018	1.018	1.0208	1.028	1.026	1.022	1.018	1.0235	1.020	1.018	1.020	1.021	1.0197	1.016	1.028	1.032	1.012	1.0220	1.0215
12	1.002	1.016	1.016	1.022	1.0170	1.026	1.038	1.032	1.026	1.0305	1.030	1.022	1.022	1.000	1.0160	1.022	1.032	1.026	1.030	1.0275	1.0228
13	1.000	1.028	1.020	1.026	1.0185	1.026	1.038	1.042	1.026	1.0330	1.026	1.022	1.022	1.032	1.0290	1.024	1.026	1.030	1.030	1.0290	1.0274
14	1.014	1.018	1.026	1.034	1.0230	1.028	1.031	1.029	1.027	1.0290	1.028	1.026	1.026	1.024	1.0300	1.034	1.030	1.030	0.036	1.0300	1.0280

ตาราง ข-6 ผลการทดสอบการพองตัวของเนื้อแข็งน้ำ (Test for swelling in thickness after immersion in water,%) เมื่อใช้กาวสังเคราะห์พอลิเอเทอร์/พอลิเอสเทอร์ 10% 8% และ 6% โดยน้ำหนักกาลีเซอรอล

ตัวอย่างที่	ความกว้าง (มม)	ความยาว (มม)	ความหนาแน่นก่อนแช่น้ำ เฉลี่ย(มม)	น้ำหนัก (กรัม)	ความหนาแน่น (กก/ม <sup>3</sup> )	ความหนาแน่นหลังแช่น้ำ เฉลี่ย(มม)	Thickness Swell	ความหนาแน่น เฉลี่ย(กก/ม <sup>3</sup> )	Thickness Swell av
G10.1	50.02	50.20	11.48	21.197	734.3072	34.20	197.91%		
G10.2	50.10	50.00	11.18	20.683	737.7866	33.60	200.54%		
G10.3	50.01	50.06	11.50	20.854	723.1854	31.92	177.57%		
G10.4	50.11	50.16	11.44	20.152	700.4067	32.54	184.44%		
G10.5	50.00	50.27	11.18	20.925	719.7271	31.62	182.83%	723.0826	188.658%
G8.1	49.94	50.00	10.80	19.636	727.9105	34.12	216.85%		
G8.2	50.14	50.50	10.72	20.146	742.1955	37.06	245.71%		
G8.3	50.15	50.25	11.22	20.505	725.2035	37.48	234.05%		
G8.4	50.18	50.10	11.06	20.152	724.7607	35.42	220.25%		
G8.5	50.10	50.05	10.86	19.961	733.0113	35.42	226.15%	730.6160	228.602%
G6.1	50.02	50.22	11.08	20.343	727.273	37.94	242.42%		
G6.2	50.10	50.12	10.07	20.728	800.000	34.64	223.74%		
G6.3	50.01	50.56	11.00	20.687	727.273	35.70	224.55%		
G6.4	50.11	50.07	11.30	20.551	727.273	34.92	209.03%		
G6.5	50.00	50.04	10.90	20.755	800.000	39.74	264.59%	756.3638	232.863%

ตาราง ข-7 ผลการทดสอบการพองตัวเมื่อแช่น้ำ (Test for swelling in thickness after immersion in water,%) เมื่อใช้กาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ 15%, กาวสังเคราะห์พอลิเอเทอร์/พอลิเอสเทอร์ 10% โดยน้ำหนักกลีเซอรอล

ตัวอย่างที่	ความกว้าง (มม)	ความยาว (มม)	ความหนา ก่อนแช่น้ำ เฉลี่ย(มม)	น้ำหนัก (กรัม)	ความหนาแน่น (กก/ม <sup>3</sup> )	ความหนา หลังแช่น้ำ เฉลี่ย(มม)	Thickness Swell	ความหนาแน่น เฉลี่ย(กก/ม <sup>3</sup> )	Thickness Swell av
U1/1	50.61	49.92	9.80	22.094	892.5307	11.52	17.55		
U1/2	50.18	50.00	10.08	19.093	753.3593	13.28	31.75		
U1/3	50.12	50.07	9.72	20.346	829.7277	12.90	31.90		
U2/1	50.01	50.02	10.02	19.332	771.2737	13.32	32.93		
U2/2	50.02	50.00	10.00	19.217	768.3727	13.50	35.00		
U2/3	50.40	49.99	9.90	19.930	799.0214	13.22	35.54		
U3/1	50.14	50.05	9.92	21.604	867.8289	13.10	32.06		
U3/2	49.99	50.17	9.76	18.533	757.1269	13.00	33.20		
U3/3	50.02	50.14	9.78	20.384	824.7420	13.12	23.93	824.742	30.21
G1/1	50.00	50.00	9.92	20.643	832.3790	30.06	202.42		
G1/2	50.07	50.01	9.90	20.428	824.0555	29.56	197.98		
G1/3	50.07	50.20	11.08	20.071	720.6891	30.00	170.76		
G2/1	50.00	50.06	11.06	20.517	727.2730	30.20	173.06		
G2/2	50.10	50.12	9.98	20.533	808.0810	30.12	201.80		
G2/3	50.06	50.00	9.76	19.814	783.5050	31.54	223.16		
G3/1	50.00	50.12	11.44	19.695	690.9090	33.20	190.21		
G3/2	50.15	50.20	11.18	20.063	727.2730	31.42	181.04		
G3/3	50.07	50.09	11.08	19.720	690.9090	31.08	180.51	756.119	205.12

ตาราง ข-8 ผลการทดสอบหาความหนาแน่นและปริมาณความชื้นของชิ้นงาน (กาวสังเคราะห์พอลิเอทีเทอร์/พอลิเอสเทอร์ 10% โดยน้ำหนักสีเซอร์อล)

ชั้นที่	กว้าง (มม.)	ยาว (มม.)	หนา (มม.)	ปริมาตร (มม. <sup>3</sup> )	น้ำหนักก่อนอบ (กรัม)	ความหนาแน่น (กก./ม <sup>3</sup> )	ความหนาแน่น เฉลี่ย (กก./ม <sup>3</sup> )	น้ำหนักหลังอบ (กรัม)	ปริมาณความชื้น (%)	ปริมาณความชื้น เฉลี่ย (%)
G 1/1	50.225	50.220	10.18	25677.01	17.949	699.042		17.693	1.447	
G 1/2	50.270	50.455	10.37	26302.19	17.923	681.418		17.667	1.449	
G1/3	50.255	50.400	10.42	26392.32	17.970	680.871	687.110	17.785	1.040	1.312
G 2/1	50.230	50.025	10.47	26308.55	17.327	658.616		17.059	1.571	
G 2/2	50.185	50.230	10.45	26342.28	17.180	652.175		16.929	1.483	
G 2/3	50.225	50.185	10.37	26138.07	17.471	668.419	695.403	17.206	1.540	1.531
G 3/1	50.330	50.270	10.65	26945.45	18.716	694.578		18.414	1.640	
G 3/2	50.250	50.155	10.53	26538.64	18.393	693.067		18.147	1.356	
G 3/3	50.315	50.240	10.44	26390.50	18.334	694.738	694.128	18.123	1.164	1.387

ตาราง ข-9 ผลการทดสอบหาความหนาแน่นและปริมาณความชื้นของชิ้นงาน (กาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ 15%)

ชั้นที่	กว้าง (มม.)	ยาว (มม.)	หนา (มม.)	ปริมาตร (มม. <sup>3</sup> )	น้ำหนักก่อนอบ (กรัม)	ความหนาแน่น (กก./ม <sup>3</sup> )	ความหนาแน่น เฉลี่ย (กก./ม <sup>3</sup> )	น้ำหนักหลังอบ (กรัม)	ปริมาณความชื้น (%)	ปริมาณความชื้น เฉลี่ย (%)
U 1/1	50.030	49.500	9.91	24071.43	18.915	770.721		18.734	0.966	
U 1/2	50.155	50.070	9.97	24535.02	19.240	768.454		19.039	1.056	
U1/3	50.080	50.035	9.95	24556.38	18.894	757.934	765.703	18.695	1.081	1.034
U 2/1	50.120	50.205	9.92	24835.63	18.687	748.616		18.501	1.005	
U 2/2	50.225	50.130	9.96	24222.46	18.862	752.175		18.652	1.126	
U 2/3	50.185	50.095	9.92	24587.09	19.164	768.419	756.403	18.889	1.456	1.196
U 3/1	50.105	50.320	10.02	25263.26	18.810	744.578		18.576	1.260	
U 3/2	49.700	50.200	9.93	24774.75	18.409	743.067		18.185	1.232	
U 3/3	50.085	50.305	10.05	25321.24	18.858	744.738	744.127	18.638	1.180	1.224

ตาราง ข-10 ผลการทดลองค่าความต้านทานแรงค้ำ (MOR) และค่ามอดูลัสยืดหยุ่น (MOE) เมื่อใช้กาวสังเคราะห์พอลิเอเทอร์/พอลิเอสเทอร์ 10%

โดยนำน้ำหนักลิเซอรอล

ชั้นที่	กว้าง (มม.)	ยาว (มม.)	หนา (มม.)	น้ำหนัก (กรัม)	ความหนาแน่น (กก./ม <sup>3</sup> )	ความหนาแน่น เฉลี่ย (กก./ม <sup>3</sup> )	MOR (MPa)	MOR (MPa)av	MOE (MPa)	MOE (MPa)av
G 1/1	50.150	200.963	10.71	81.930	759.399		1.4212		552.4	
G 1/2	50.313	201.600	10.49	82.388	774.503		1.9110		526.1	
G1/3	50.228	200.990	10.67	82.210	763.032	765.645	1.5775	1.6366	435.6	504.7
G 2/1	50.140	201.000	10.08	80.827	796.038		2.8117		1108.0	
G 2/2	50.100	201.313	10.22	81.940	794.944		3.5774		1052.9	
G 2/3	50.123	201.203	10.62	81.870	764.244	785.075	1.9625	2.7839	1042.5	1067.8
G 3/1	50.350	200.787	10.45	81.790	774.561		1.3886		575.4	
G 3/2	50.260	200.663	10.45	81.593	774.186		1.2298		658.8	
G 3/3	50.420	200.543	10.42	81.625	774.723	774.490	1.5148	1.3777	562.8	599.0

ตาราง ข-11 ผลการทดลองค่าความต้านทานแรงดัด (MOR) และค่ามอดุลัสยืดหยุ่น (MOE) เมื่อใช้กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์

ชั้นที่	กว้าง (มม.)	ยาว (มม.)	หนา (มม.)	น้ำหนัก (กรัม)	ความหนาแน่น (กก./ม <sup>3</sup> )	ความหนาแน่น เฉลี่ย (กก./ม <sup>3</sup> )	MOR (MPa)	MOR (MPa) <sub>av</sub>	MOE (MPa)	MOE (MPa) <sub>av</sub>
U 1/1	50.118	200.795	10.01	72.7325	722.386		9.284		1473.7	
U 1/2	50.133	200.712	10.00	80.3725	798.556		15.256		1891.9	
U1/3	50.123	200.756	10.01	76.4225	758.533	759.825	15.267	13.269	1565.8	1643.8
U 2/1	50.213	200.263	9.95	80.307	802.641		15.693		2099.1	
U 2/2	50.113	200.237	9.85	87.400	884.268		15.911		2098.4	
U 2/3	50.205	200.248	9.97	84.763	845.446	844.118	14.563	15.389	2097.5	2098.3
U 3/1	50.163	201.213	10.09	82.055	806.111		13.306		1876.4	
U 3/2	50.200	201.038	10.02	85.400	844.730		16.629		2040.5	
U 3/3	50.210	201.177	10.02	83.947	829.205	826.682	15.501	15.145	1976.2	1964.4

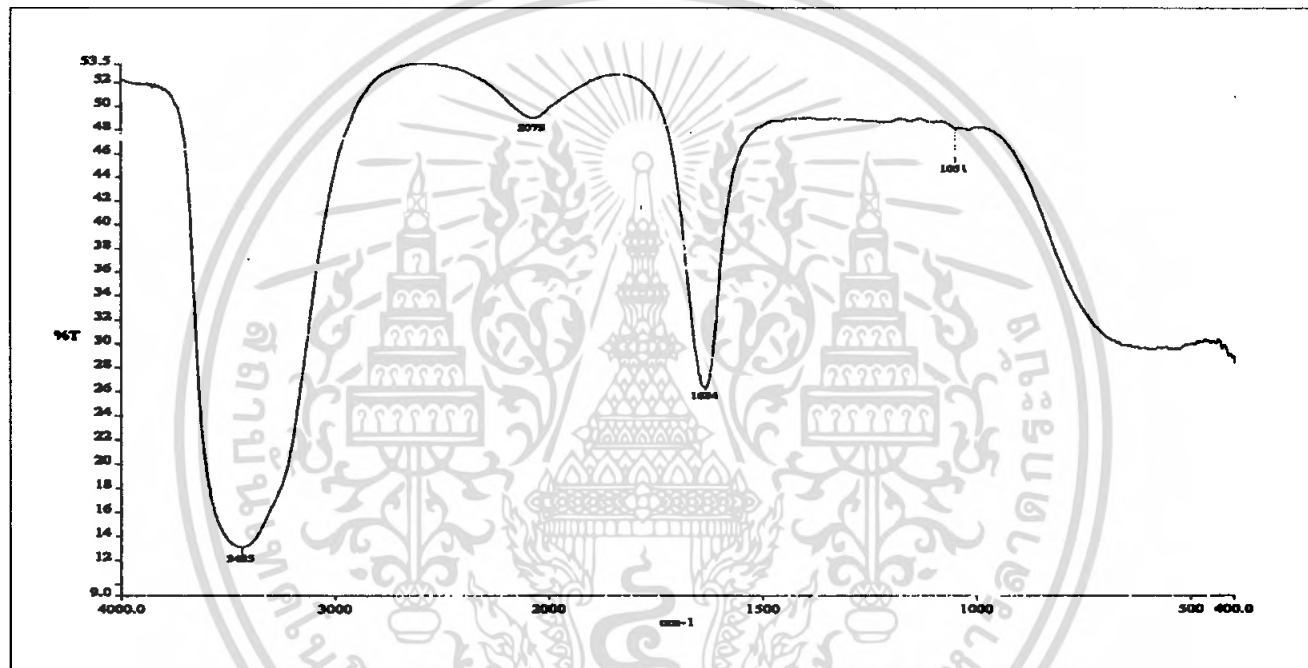
ตาราง ข-12 ตารางผลการทดสอบค่าความแข็งแรงตั้งฉากกับผิวหน้า (Internal Bond Strength Test) เมื่อใช้กาวสังเคราะห์พอลิเอเทอร์/พอลิเอสเทอร์ 10%

โดยนำหนักกาลีเซอรอล

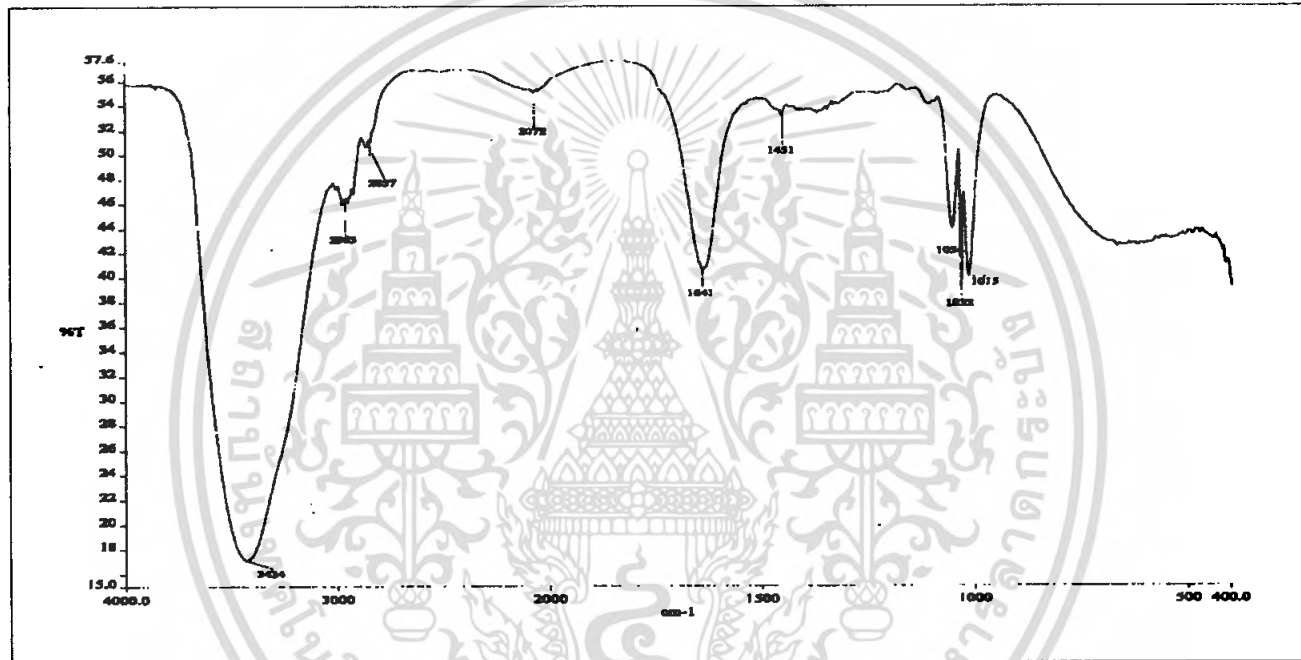
ชั้นที่	กว้าง (มม.)	ยาว (มม.)	หนา (มม.)	น้ำหนัก (กรัม)	ความหนาแน่น (กก./ม <sup>3</sup> )	กว้าง x ยาว (มม.)	F(N)	IB (MPa)	ความหนาแน่น เฉลี่ย (กก./ม <sup>3</sup> )	IB (MPa) av
G 1/1	50.150	50.702	8.44	20.517	956.076	2542.6050	8.7	0.0034		
G 1/2	50.703	51.255	8.22	20.553	962.280	2598.3750	13.0	0.0050		
G1/3	50.575	50.721	8.63	20.524	927.212	2564.9104	10.9	0.0042	948.523	0.0042
G 2/1	50.701	50.707	8.46	19.695	905.669	2570.4900	42.4	0.0165		
G 2/2	50.659	50.700	10.80	19.814	714.432	2567.9550	13.8	0.0054		
G 2/3	50.602	51.001	11.38	19.862	679.737	2580.6000	8.1	0.0031	766.613	0.0083
G 3/1	50.803	50.702	11.58	20.063	672.691	2575.5600	5.7	0.0022		
G 3/2	50.702	50.701	11.12	19.720	689.900	2570.4900	13.0	0.0051		
G 3/3	50.656	50.309	10.10	20.233	786.306	2547.6950	8.1	0.0032	716.299	0.0035

ตาราง ข-13 ตารางผลการทดสอบค่าความแข็งแรงตั้งฉากกับผิวหน้า (Internal Bond Strength Test) เมื่อใช้กาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์

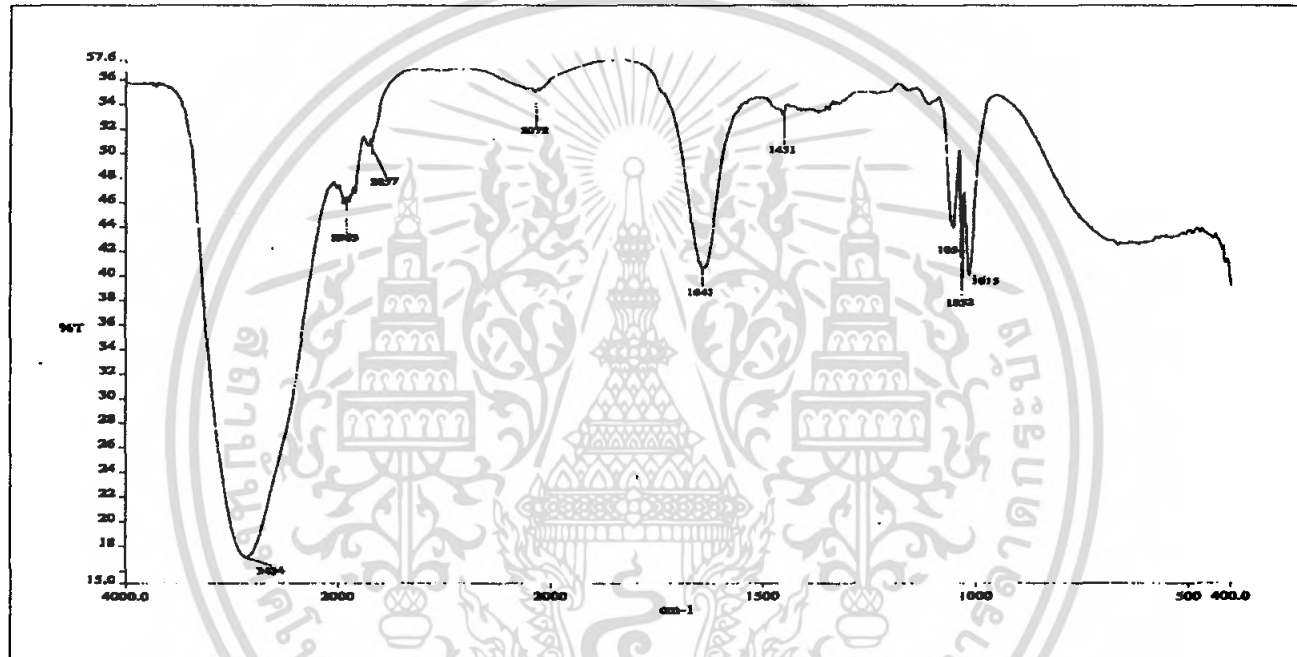
ชั้นที่	กว้าง (มม.)	ยาว (มม.)	หนา (มม.)	น้ำหนัก (กรัม)	ความหนาแน่น (กก./ม <sup>3</sup> )	กว้าง x ยาว (มม.)	F (N)	IB (MPa)	ความหนาแน่น เฉลี่ย (กก./ม <sup>3</sup> )	IB (MPa) av
U 1/1	50.572	50.502	9.92	22.574	891.071	2550.2500	389.2	0.1526		
U 1/2	50.605	50.751	9.82	22.240	881.935	2567.9500	417.2	0.1625		
U1/3	50.509	50.507	10.10	21.425	831.769	2550.2500	373.4	0.1464	868.267	0.1538
U 2/1	50.201	50.622	10.00	22.050	867.726	2541.1240	299.5	0.1179		
U 2/2	50.500	50.571	9.94	21.502	847.048	2553.7850	280.9	0.1100		
U 2/3	50.752	50.550	9.94	21.697	850.856	2565.4125	277.9	0.1083	855.210	0.1121
U 3/1	50.501	50.402	9.44	17.525	729.397	2545.2000	274.0	0.1077		
U 3/2	50.758	50.451	9.02	19.223	832.372	2560.3375	297.4	0.1162		
U 3/3	50.402	50.537	9.62	19.622	800.919	2546.7120	295.1	0.1159	787.563	0.1133



รูปที่ ข-1 แสดง IR-สเปกตรัมของน้ำ



รูปที่ ข-2 แสดง IR-สเปกตรัมของเมทานอล



รูปที่ ข-2 แสดง IR-สเปกตรัมของเมทานอล