

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาเบื้องต้นในการเตรียมแผ่นนวนความร้อน
จากเส้นใยหุ้มอากาศยานเคียวความร้อนเชิงกล



T107740

นางสาวเชาว์ภรณ์

บุญสะอาด

นางสาววิภาพร

ศรีคง

นางสาวอรวรรณ

ชมเรณู

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 107740
วันเดือนปี 10 พ.ค. 2553

b. 12210209
i.

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี

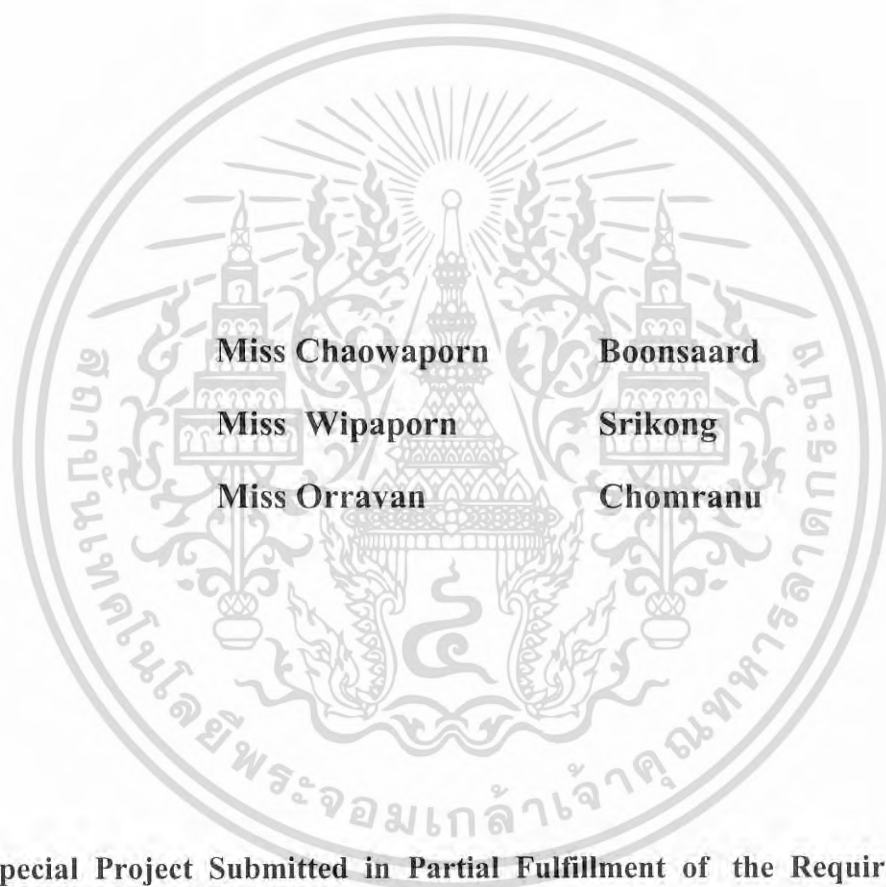
คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Preliminary Study of Insulating Fiberboards
Preparation from Cogon Grass
Thermo-mechanical Pulp



**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

Academic Year 2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาเบื้องต้นในการเตรียมแผนลดนวัตกรรมการเรียนการสอนจากเส้นใยหยาบคา
ชนิดเยื่อความร้อนแข็งกล

นักศึกษา นางสาวเชาวนภรณ์ บุญสะอาด รหัส 45050092
นางสาววิภาพร ศรีคง รหัส 45050147
นางสาวอรวรรณ ชมเรณู รหัส 45050172

ภาควิชา เคมี
สาขา เคมีอุตสาหกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.วันฉัตร ชื่นชม
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม คุณ วรธรรม อุ้นจิตติชัย

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร-
ลาดกระบังอนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ			ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	รศ.ดร.อิทธิพล	แจ้งชัด
กรรมการ	ผศ.ดร.ปัทมา	ศิริพันธ์ โนน
กรรมการ	คุณ วรธรรม	อุ้นจิตติชัย
กรรมการ	ผศ.ดร.วันฉัตร	ชื่นชม

A

(ผศ.ดร.ประยงค์ ดวงดี)
หัวหน้าภาควิชาเคมี

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	การศึกษาเบื้องต้นในการเตรียมแผ่นฉนวนความร้อนจากเส้นใยหุ้ม้าคาชนิดเยื่อความร้อนเชิงกล		
นักศึกษา	นางสาวเขาวนัภรณ์	บุญสะอาด	รหัส 45050092
	นางสาววิภาพร	ศรีคง	รหัส 45050147
	นางสาวอรวรรณ	ชมเรณู	รหัส 45050172
ภาควิชา	เคมี	คณะวิทยาศาสตร์	
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม		
ปีการศึกษา	2548		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.วันฉัตร ชื่นชม		
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	คุณ วรธรรม	อุ้นจิตติชัย	

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเบื้องต้นในการเตรียมแผ่นฉนวนความร้อนจากเส้นใยหุ้ม้าคาชนิดเยื่อความร้อนเชิงกล การทดลองขั้นแรกเป็นการเตรียมเส้นใยหุ้ม้าคาด้วยวิธีความร้อนเชิงกล จากนั้นทำการคัดขนาดและเลือกใช้น้ำหนักเส้นใยที่เหมาะสม และนำเส้นใยที่ได้ผสมกับกาว โดยใช้กาวยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ (Urea-formaldehyde, UF) และกาวไดฟีนิลมีเทน ไดไอโซไซยานาต (Diphenylmethane diisocyanate, MDI) เป็นตัวประสาน โดยใช้กาว UF 10% โดยน้ำหนัก ซึ่งใช้ร่วมกับแอมโมเนียมคลอไรด์ซึ่งเป็นสารเร่ง และกาว MDI 3% โดยน้ำหนัก จากนั้น นำไปอัดร้อนขึ้นรูปที่ความดัน 170 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรเป็นแผ่นขนาด 25×25×1.2 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ที่ความหนาแน่น 270, 310, 350 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลของความหนาแน่นที่มีต่อสมบัติเชิงกลคือ ความต้านทานแรงดัด โมดูลัสยืดหยุ่น และแรงดึงตึงจาก รวมถึงการพองตัวเมื่อแช่น้ำ และสมบัติทางความร้อน เปรียบเทียบสมบัติของแผ่นฉนวนความร้อนที่ได้ระหว่างแผ่นที่ใช้กาว UF และกาว MDI เป็นตัวประสาน นำแผ่นฉนวนที่ได้ไปทดสอบสมบัติพบว่า เมื่อความหนาแน่นของแผ่นฉนวนกันความร้อนเพิ่มขึ้น ทำให้สมบัติเชิงกลดีขึ้น และพบว่าแผ่นฉนวนกันความร้อนโดยใช้กาว MDI มีสมบัติเชิงกลที่ดีกว่ากาว UF สำหรับการพองตัวเมื่อแช่น้ำ พบว่าไม่มีความสัมพันธ์ที่ชัดเจนระหว่างความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นกับการพองตัวเมื่อแช่น้ำ แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกาวทั้ง 2 ชนิดพบว่าแผ่นฉนวนที่เตรียมจากกาว UF เกิดการพองตัวเมื่อแช่น้ำมากกว่า MDI ทางด้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติทางความร้อน พบว่าเมื่อแผ่นฉนวนมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ถ้าการนำความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ใช้ยาวทั้ง 2 ชนิดให้ผลการทดลองที่มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Preliminary Study of Insulating Fiberboards Preparation from Cogon Grass Thermo-mechanical Pulp		
Student Names	Miss Chaowaporn	Boonsaard	Code 45050092
	Miss Wipaporn	Srikong	Code 45050147
	Miss Orrawan	Chomrenu	Code 45050172
Department	Chemistry	Faculty of science	
Faculty	Science		
Program	Industrial Chemistry		
Academic Year	2005		
Special Project Advisor	Asst.Prof.Dr.Vanchat	Chuenchom	
Special Project Co-advisor	Mr.Woratham	Oonjittichai	

Abstract

In this research, insulating fiberboards were made from Cogon grass fibers (*Imperata cylindrical Beauv*). To prepare the boards, Cogon pulp fibers were prepared by thermo-mechanical technique and were sieved to separate into the proper sizes which would be properly used. Both UF resin with NH_4Cl as catalyst and MDI resin were used as binders or adhesives. 10% UF resin and 3% MDI (by weight of the fibers) were mixed with the fibers that had already been weighted. The fiberboards of 25x25x12 cubic centimetres were formed by dry forming technique with press loading of 170 kg/cm^3 at 150°C for 10 minutes and the density was at 270, 310, 350 kg/m^3 . Mechanical properties, namely modulus of rupture (MOR), modulus of elasticity (MOE) and internal bond (IB) including thickness swell and thermal conductivity were tested. The effect of the density of insulating fiberboards towards the properties was studied. The properties of insulating fiberboards using UF as adhesive were compared with the ones using MDI. From the results, mechanical properties were highly improved by increasing the density. The properties of insulating fiberboards with MDI resin were better than the ones that used UF resin. Thickness swell

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

of the fiberboards which used a UF resin was higher than the ones using MDI. However, thickness swell was not clearly affected by the increasing in density of the boards. The thermal conductivity increased when the density of boards increased.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือ ตลอดจนคำแนะนำ ต่างๆที่เป็นประโยชน์แก่คณะผู้จัดทำจากบุคคลและองค์กรต่างๆดังนี้

ขอขอบคุณ ผศ.ดร. วันฉัตร ชื่นชม ที่กรุณาให้คำปรึกษาและให้ความช่วยเหลือในการ ดำเนินงานวิจัยนี้มาตลอด

ขอขอบคุณ คุณวราธรรม อุ้นจิตติชัย นักวิชาการกรมป่าไม้ ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำอธิบาย ต่างๆ ตลอดจนเอื้อเฟื้อสถานที่และเครื่องมือที่ใช้ทำให้งานวิจัยนี้เสร็จสมบูรณ์ด้วยดี

ขอขอบคุณ รศ.ดร. อิทธิพล แจ่มชัด และ ผศ.ดร. ปุณณมา สิริพันธ์โนน ที่กรุณาให้ คำปรึกษาและเป็นกรรมการคุมสอบ

ขอขอบคุณ พี่โรจน์ พี่สาโรจน์ พี่สายรุ่ง พี่อู๋ พี่เปิ้ล พี่อ๋า พี่เจ๊บบ พี่เอ๋ เจ้าหน้าที่อาคาร ฝึกงานอุตสาหกรรมวัสดุทดแทนไม้ สำนักวิจัยการจัดการป่าไม้และผลิตผลป่าไม้ กรมป่าไม้ ที่ให้ ความรู้ และคำปรึกษา ทางด้านการใช้เครื่องมือ วิธีการทดสอบ และอำนวยความสะดวกด้าน สถานที่และให้ความช่วยเหลือตลอดการดำเนินการวิจัย

ขอขอบคุณ คณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาเคมีที่ให้ความรู้ ตลอดจนคำปรึกษา และให้ ความช่วยเหลือในการดำเนินงานวิจัยนี้มาตลอด

ขอขอบคุณ พ่อแม่ พี่น้อง และเพื่อนๆ นักศึกษาที่เป็นกำลังใจในการทำงานวิจัยนี้

นอกจากนี้ยังขอขอบคุณบุคคลท่านอื่นๆที่ให้ความกรุณาช่วยเหลือ ซึ่งผู้จัดทำมิได้กล่าวถึง อีก ทางผู้จัดทำ ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

เชาวน์ภรณ์	บุญสะอาด
วิภาพร	ศรีคง
อรวรรณ	ชมเรณู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูป	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	4
2.1 ฉนวนกันความร้อน	4
2.1.1 การถ่ายเทความร้อน (Heat transfer)	4
2.1.2 กลไกของฉนวนกันความร้อน	7
2.1.3 ชนิดพื้นฐานของฉนวนความร้อน	8
2.1.4 สมบัติของฉนวนความร้อนที่ดี	10
2.1.5 หลักการและเทคนิคการติดตั้งฉนวนกับการสูญเสียความร้อน	11
2.1.6 ประโยชน์ที่ได้จากการใช้ฉนวนความร้อน	12
2.2 เส้นใยธรรมชาติ (Natural fiber)	13
2.2.1 เซลลูโลส (Cellulose)	13
2.2.2 เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)	14
2.2.3 ลิกนิน (Lignin)	15
2.3 การผลิตเยื่อ (Pulping)	15
2.4 หน้้าคา	16
2.4.1 ลักษณะของหน้้าคา	17
2.4.2 การกระจายพันธุ์	17
2.4.3 การปลูกและขยายพันธุ์	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.4 ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์	18
2.4.5 แหล่งหุ้มผ้า	18
2.4.6 ฤดูกาลเก็บเกี่ยว	18
2.4.7 ความหนาแน่นของหุ้มผ้า	19
2.4.8 ขนาดของมัด	19
2.4.9 ขนาดความสูง	19
2.4.10 แหล่งตลาดที่รับมา	19
2.4.11 รายได้จากการจำหน่ายหุ้มผ้า	19
2.4.12 สาเหตุที่มีการเผาหุ้มผ้า	20
2.4.13 ลักษณะของความเสียหาย	20
2.4.14 การใช้ประโยชน์จากหุ้มผ้า	21
2.5 กาว (Adhesive)	21
2.5.1 กาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ (Ureaformaldehyde, UF)	21
2.5.2 กาวเอ็มดีไอ (Diphenylmethane diisocyanate, MDI)	24
2.6 การยึดติด (Adhesion)	25
2.6.1 ทฤษฎีและกลไกของการยึดติดกาว	25
2.6.2 สมบัติที่ทำให้เกิดการเกาะยึดระหว่างเส้นใยกับกาวได้ดี	27
2.6.3 การเกิดการแข็งตัวของกาว (Setting of adhesives)	28
2.7 การผลิตแผ่นเส้นใยอัด	28
2.7.1 การทำแผ่น (Mat forming)	28
2.7.2 กรรมวิธีการอัดร้อน (Hot pressing operation)	29
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	29
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	33
3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย	33
3.2 อุปกรณ์ในการวิจัย	34
3.3 วิธีการทดลอง	36
3.3.1 การเตรียมแผ่นฉนวนจากเส้นใยหุ้มผ้า	36
3.3.1.1 การเตรียมเส้นใยหุ้มผ้าโดยวิธีความร้อนเชิงกล	36
3.3.1.2 การคัดและวัดขนาดเส้นใยหุ้มผ้า	37
3.3.1.3 การอัดขึ้นรูปแผ่นฉนวนกันความร้อน	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.2 การทดสอบสมบัติของแผ่นฉนวน	40
3.3.2.1 ทดสอบหาความหนาแน่นของแผ่นฉนวน	41
3.3.2.2 ทดสอบความชื้นของแผ่นฉนวน (Moisture content)	41
3.3.2.3 ทดสอบสมบัติเชิงกล	42
3.3.2.4 ทดสอบสมบัติการดูดซึมน้ำที่พื้นผิวและการพองตัวเมื่อแช่น้ำ	45
3.3.2.5 ทดสอบค่าการนำความร้อน (Thermal conductivity)	46
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	47
4.1 เปอร์เซ็นต์เฉลี่ยของเส้นใยหุ้มาคาที่ได้จากการนำหุ้มาคามาบดด้วยกรรมวิธีความร้อนเชิงกล	47
4.2 ปริมาณของเส้นใยหุ้มาคาในแต่ละขนาด	48
4.3 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยหุ้มาคา	49
4.4 การทดสอบหาความหนาแน่นและความชื้นของแผ่นฉนวนกันความร้อนที่เตรียมได้	51
4.4.1 การทดสอบหาความหนาแน่นของแผ่นฉนวนกันความร้อนที่เตรียมได้	51
4.4.2 การทดสอบหาความชื้นของแผ่นฉนวนกันความร้อนที่เตรียมได้	52
4.5 การศึกษาผลการทดสอบสมบัติเชิงกล	53
4.5.1 ผลของความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นของแผ่นฉนวนกันความร้อนที่มีต่อค่าความต้านทานแรงดึง	53
4.5.2 ผลของความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นของแผ่นฉนวนกันความร้อนที่มีต่อค่ามอดูลัสยืดหยุ่น	54
4.5.3 ผลของความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นของแผ่นฉนวนกันความร้อนที่มีต่อค่าแรงดึงตั้งฉาก	56
4.6 การศึกษาผลการทดสอบการพองตัวเมื่อแช่น้ำ	57
4.7 การศึกษาผลการทดสอบค่าการนำความร้อน	59
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	61
5.1 สรุปผลการทดลอง	61
5.2 ข้อเสนอแนะ	64
เอกสารอ้างอิง	65
ภาคผนวก ก ค่ามาตรฐานของแผ่นฉนวนกันความร้อน JIS A 5905	67
ภาคผนวก ข ตัวอย่างการคำนวณปริมาณวัสดุโรยแผ่นและปริมาณการชั่งตามจริงของวัสดุที่ใช้โรยทำแผ่นฉนวน	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

ภาคผนวก ค	การตัดชิ้นงานทดสอบ	หน้า 73
ภาคผนวก ง	ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลและการพองตัวของเนื้อเส้นใย	74



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนกันความร้อนจากวัสดุต่างๆ	6
2.2 สรุปเปรียบเทียบข้อดีและข้อจำกัดของฉนวนบางประเภท	11
2.3 ไอโซเมอร์และพอลิเมอร์ของ MDI [13]	25
3.1 สมบัติบางประการของยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ ที่ใช้ในงานวิจัยนี้	33
3.2 สมบัติบางประการของไดฟีนิลมีเทน ไดไอโซไซยานาต ที่ใช้ในงานวิจัยนี้	33
3.3 น้ำหนักของวัสดุเมื่อใช้กาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ 10 %	38
3.4 น้ำหนักของวัสดุเมื่อใช้กาวเอมดีไอ 3 %	39
3.5 มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ	40
4.1 ตัวแปรที่มีผลต่อสมบัติของแผ่นฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยหุ้มาคาที่ทำการศึกษา จากเส้นใยหุ้มาคาที่ทำการศึกษา	47
4.2 เปอร์เซ็นต์ผลผลิตของเส้นใยหุ้มาคา	48
4.3 แสดงปริมาณของเส้นใยหุ้มาคาแต่ละขนาด	49
4.4 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยหุ้มาคา	49
5.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนที่เตรียมได้กับแผ่น ไม้อัด	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แผนหลักการไหลของความร้อนผ่านมวลสารในฉนวน	7
2.2 แผนหลักการไหลของฉนวนความร้อนแบบรีเฟลคทีฟ	8
2.3 สูตรโครงสร้างของเซลลูโลส	13
2.4 สูตรโครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส	15
2.5 หน่วยที่ซ้ำกันของลิกนิน	15
2.6 หน้าที่	17
2.7 การเก็บเกี่ยวหน้าที่	18
2.8 หน้าที่	20
2.9 ปฏิบัติการเตรียมยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ในขั้นแรก	23
2.10 ปฏิบัติการเตรียมยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ในขั้นที่สอง	23
2.11 ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์	24
2.12 โครงสร้างทางเคมีของ MDI และ PMDI	24
3.1 เครื่องวัดความชื้น	35
3.2 เครื่องบดเชื้อ	35
3.3 เครื่องบดย่อย	35
3.4 เส้นใยหน้าที่ได้จากเครื่องบดเชื้อหรือกระบวนการความร้อนเชิงกล	36
3.5 เครื่องผสมกาว	37
3.6 ใยขึ้นวัสดุผ่านตะแกรงร้อน	39
3.7 วัสดุที่โรยแล้วในแม่แบบ	39
3.8 แผ่นขึ้นทดสอบความหนาแน่น	41
3.9 แผ่นทดสอบค่าความต้านทานแรงดัดและมอดูลัสยืดหยุ่น	42
3.10 เครื่องทดสอบแรงเชิงกล	43
3.11 ชิ้นงานขณะทดสอบ	43
3.12 การหลอมกาว	43
3.13 ชิ้นงานที่ติดแท่นเหล็ก	43
3.14 ชิ้นงานขณะทดสอบ	44
3.15 ชิ้นงานหลังทดสอบ	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
3.16 แผ่นทดสอบการพองตัวของเนื้อเยื่อ	45
3.17 การแช่แผ่นทดสอบ	45
3.18 แผนผังแสดงการทำงานของเครื่อง Thermal Constant Analyzer (TCA)	46
4.1 ค่าความหนาแน่นของแผ่นฉนวนกันความร้อนที่เตรียมได้	51
4.2 ปริมาณความชื้นของแผ่นฉนวนกันความร้อนที่เตรียมได้	52
4.3 ผลของความหนาแน่นต่อค่าความต้านทานแรงดัดเมื่อใช้กาว UF 10 % และกาว MDI 3 %	53
4.4 ผลของความหนาแน่นต่อค่ามอดูลัสยืดหยุ่นเมื่อใช้กาว UF 10 % และกาว MDI 3 %	55
4.5 ผลของความหนาแน่นต่อค่าแรงดึงตั้งฉากเมื่อใช้ กาว UF 10 % และกาว MDI 3 %	56
4.6 ผลของความหนาแน่นต่อค่าการพองตัวของเนื้อเยื่อเมื่อใช้กาว กาว UF 10 % และกาว MDI 3 %	57
4.7 ผลของความหนาแน่นต่อค่าการนำความร้อนเมื่อใช้กาว UF 10 % และกาว MDI 3 %	59

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการพิเศษ

เนื่องด้วยปัจจุบันการใช้งานฉนวนกันความร้อนถูกนำมาใช้ประโยชน์เป็นจำนวนมากไม่ว่าจะเป็น ฉนวนความร้อนในอุตสาหกรรมอาหารแช่แข็ง ฉนวนความร้อนในอุตสาหกรรมการขนส่ง ฉนวนความร้อนสำหรับอาคารสิ่งก่อสร้าง เช่น ฉนวนเพดาน ฉนวนหลังคา ฉนวนผนัง ฉนวนหน้าต่าง ฉนวนประตู ฉนวนความร้อนในอุตสาหกรรมการผลิต เช่น การใช้งานในลักษณะวัสดุป้องกันไฟไหม้ เป็นต้น [1] แต่ด้วยวัสดุและต้นทุนที่ใช้ในการผลิตมีราคาสูง หากสามารถนำวัสดุที่เหลือใช้ที่มีภายในประเทศ หรือมีการนำเอาวัสดุที่ไม่เกิดประโยชน์ใดๆมาใช้เป็นวัตถุดิบ จึงน่าจะเป็นทางเลือกที่ดีในการผลิตแผ่นฉนวน ซึ่งจะเป็นการประหยัดต้นทุนและเป็นการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์มากขึ้นอีกด้วย นอกจากนี้จากการนำวัสดุมาใช้แล้วก็ยังมีประโยชน์ทางอ้อมหรือผลพลอยได้ เช่น แผ่นฉนวนกันความร้อนจะสามารถลดพลังงานไฟฟ้าจากการลดการติดตั้งเครื่องปรับอากาศได้ หรือนำไปใช้ในกระบวนการการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม ระบบนำความเย็นและปรับอากาศ ระบบการหล่อเย็น และให้ความร้อนเชิงกล หรือระบบขนส่งทางพื้นดิน อากาศ และน้ำ เป็นต้น ซึ่งนั่นก็หมายถึงการประหยัดต้นทุนในการดำเนินกิจการหรือธุรกิจต่างๆ ด้วยเช่นกัน ดังนั้นหากเรานำวัสดุที่ไม่เกิดประโยชน์มาเป็นวัตถุดิบ ลดการนำเข้าจากต่างประเทศ ไม่ทำลายทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่ ประกอบกับการพัฒนาเทคโนโลยีและภูมิปัญญาของบุคลากร ให้มีความรู้ความสามารถที่จะผลิตได้ ก็จะตอบสนองต่อนโยบายของรัฐบาลในการประหยัดพลังงานได้

หุ้มาคาที่มีอยู่มาก หาง่าย เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ประกอบกับโครงสร้างที่เป็นสารประกอบอินทรีย์ เช่น เซลลูโลส ซึ่งมีสภาพการนำความร้อนต่ำอยู่แล้ว และยังไม่มีการผลิตแผ่นฉนวนความร้อนจากหุ้มาคาในงานวิจัยใดๆ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะศึกษาการนำหุ้มาคาที่มีอยู่นี้มาผลิตเป็นแผ่นฉนวนความร้อน โดยเลือกใช้กาวยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ (Urea-formaldehyde, UF) และไดฟีนิลมีเทน ไดไอโซไซยาเนต (Diphenylmethane diisocyanate, MDI) เป็นตัวประสานหุ้มาคาในการผลิตฉนวนกันความร้อน เนื่องจากกาวทั้ง 2 ชนิดเป็นกาวที่ใช้ภายในอุตสาหกรรมหรืองานไม้โดยทั่วไปและมีสมบัติต่างๆ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์

- ราคาถูก
- สามารถผลิตได้ในประเทศ
- ใช้งานภายในอาคาร

ไดฟีนิลมีเทน ไดไอโซไซยาเนต

- คุณภาพสูง
- ไม่เป็นพิษ
- ใช้งานภายนอกอาคารได้
- ใช้งานง่าย คือใช้เพียง 3% ก็เพียงพอต่อการยึดติด เป็นต้น

งานวิจัยนี้จะศึกษาการเตรียมแผ่นฉนวนความร้อนจากเส้นใยหุ้มผ้า โดยจะใช้กาวยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ (Urea-formaldehyde, UF) และไดฟีนิลมีเทน ไดไอโซไซยาเนต (Diphenylmethane diisocyanate, MDI) เป็นตัวประสาน เพื่อให้แผ่นฉนวนมีสมบัติที่ดีทั้งทางด้านสมบัติเชิงกล เช่น ค่าความต้านทานแรงฉีก (Modulus of rupture) โมดูลัสของความยืดหยุ่น (Modulus of elasticity) แรงดึงตั้งฉากที่ผิวหน้า (Internal bond) รวมถึงการพองตัวเมื่อแช่น้ำ และสมบัติทางความร้อน เช่น สมบัติการนำความร้อน (Thermal conductivity) เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการนำไปใช้งานเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยทำการศึกษาผลของความหนาแน่นของแผ่นฉนวนกันความร้อนที่มีต่อสมบัติต่างๆที่ได้กล่าวมา เปรียบเทียบสมบัติของแผ่นฉนวนที่ใช้กาวยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ (Urea-formaldehyde, UF) และ กาวไดฟีนิลมีเทน ไดไอโซไซยาเนต (Diphenylmethane diisocyanate, MDI)

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาการผลิตแผ่นฉนวนกันความร้อนจากหุ้มผ้า โดยใช้กาวยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ (Urea-formaldehyde, UF) และไดฟีนิลมีเทน ไดไอโซไซยาเนต (Diphenylmethane diisocyanate, MDI) เป็นตัวประสาน
2. ศึกษาผลของความหนาแน่นของแผ่นฉนวนที่เปลี่ยนแปลงไป ที่มีผลต่อสมบัติทั้งทางด้านเชิงกล เช่น ค่าความต้านทานแรงฉีก (Modulus of rupture) โมดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus of elasticity) ค่าแรงดึงตั้งฉากที่ผิวหน้า (Internal bond) การพองตัวเมื่อแช่น้ำ (Thickness swell) และค่าการนำความร้อน (Thermal conductivity)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เปรียบเทียบสมบัติระหว่างแผ่นฉนวนความร้อนที่ใช้กาวยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ (Urea-formaldehyde, UF) และไดฟีนิลมีเทน ไดไอโซไซยานต (Diphenylmethane diisocyanate, MDI) เป็นตัวประสาน

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาและทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. เตรียมเส้นใยหูก้าโดยใช้วิธีความร้อนเชิงกล
3. นำเส้นใยหูก้าคาร์บอนแยกขนาดอย่างหยาบและคัดขนาดเพื่อหาปริมาณของเส้นใยแต่ละขนาด
4. หางค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยหูก้า
5. นำเส้นใยหูก้าไปอัดขึ้นรูปเป็นแผ่นฉนวนความร้อนที่มีขนาด 25x25x1.2 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยใช้กาวยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ 10% และกาวเอ็มดีไอ 3% เป็นตัวประสาน ที่ความหนาแน่น 270, 310, 350 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
4. ทดสอบสมบัติเชิงกล ได้แก่ ค่าความต้านทานแรงคด (Modulus of rupture) โมดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus of elasticity) และ ค่าแรงดึงตั้งฉากที่ผิวหน้า (Internal bond)
5. ทดสอบสมบัติการพองตัวเมื่อแช่น้ำ (Thickness swell)
6. ทดสอบสมบัติทางความร้อน โดยหาค่าการนำความร้อน (Thermal conductivity)
7. เปรียบเทียบสมบัติระหว่างแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ใช้ กาวยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ และ กาวเอ็มดีไอเป็นตัวประสาน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้แผ่นฉนวนที่มีสมบัติที่ดี เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน
2. ได้แผ่นฉนวนที่มีต้นทุนต่ำและใช้วัสดุที่มีอยู่ในปริมาณมากให้เกิดประโยชน์สูงสุด
3. ช่วยประหยัดพลังงานในด้านต่างๆ เช่น พลังงานไฟฟ้า และประหยัดต้นทุนในการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ฉนวนกันความร้อน

เป็นวัสดุที่ใช้เพื่อประหยัดพลังงานที่สำคัญ เกือบทุกอาคารใช้ฉนวนกันความร้อนในการควบคุมอุณหภูมิภายในอาคารให้อยู่ในช่วงที่ต้องการ ฉนวนกันความร้อนมีสมบัติในการสกัดกั้นการส่งผ่านความร้อนจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่ง ในการใช้งานอาจใช้รักษาความร้อนและความเย็น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประเภทของฉนวนและลักษณะการใช้งานฉนวนนั้นๆ เช่น ฉนวนกันความร้อนในอุตสาหกรรมอาหารแช่แข็ง ตลอดจนการขนส่งอาหารต้องใช้ฉนวนในการรักษาความเย็นของห้องบรรจุอาหาร สำหรับอุณหภูมิอาคาร สิ่งก่อสร้างอาจทำหน้าที่หลายๆอย่าง เช่น ป้องกันความร้อน ป้องกันเสียง ป้องกันไฟ สภาวะภูมิอากาศของประเทศไทยมีภูมิอากาศแบบร้อนชื้น อากาศภายนอกมีอุณหภูมิสูง ดังนั้นเพื่อให้ภายในอาคารมีสภาพเหมาะสมต่อการอยู่อาศัยและเกิดความสบาย จึงต้องลดความร้อนที่จะเข้ามาภายในอาคาร การใช้ฉนวนกันความร้อนสำหรับประเทศไทยจึงมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้ามายังภายในอาคารเป็นสำคัญ

2.1.1 การถ่ายเทความร้อน (Heat transfer) [1]

การถ่ายเทความร้อน โดยธรรมชาติจะเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ วิธีการถ่ายเทความร้อนแบ่งออกเป็น 3 วิธีหลักๆ คือ

1. การนำความร้อน (Conduction)

การนำความร้อน คือการถ่ายเทพลังงานความร้อนระหว่างโมเลกุลในตัวกลางที่สัมผัสกันหรือโมเลกุลในตัวกลางนั้นๆ ซึ่งเกิดขึ้นบนชั้นอะตอมของอนุภาค พบว่าในโลหะการนำความร้อนเป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระ (คล้ายการนำไฟฟ้า) ในของแข็งและของเหลวที่มีสภาพการนำความร้อนต่ำ การสั่นของโมเลกุลข้างเคียงน่าจะเป็นสาเหตุให้เกิดการนำความร้อนขึ้น ส่วนในก๊าซการนำความร้อนเกิดขึ้นผ่านการสั่นระหว่างโมเลกุล อย่างไรก็ตามผลของการถ่ายเทความร้อนด้วยการนำที่เกิดขึ้นทั้งหมดจะอธิบายในลักษณะผลที่เกิดกับวัตถุทั้งระบบ

ปัจจัยที่มีผลต่อการนำความร้อน

- ตัวกลางหรือสสาร วัสดุที่มีการนำความร้อนที่ดี เช่น หิน คอนกรีต โลหะ เป็นต้น
ส่วนวัสดุที่นำความร้อนต่ำได้แก่ ไม้ โยพีส เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความหนาแน่น จนวนที่มีคุณภาพดีจะมีความหนาแน่นที่เหมาะสมที่สุดเพียงค่าเดียว ซึ่งวัสดุแต่ละชนิดจะมีค่าดังกล่าวแตกต่างกันไป
- ความชื้นของตัวกลาง จนวนที่ดีควรมีการกันความชื้นให้กับตัววัสดุเองและอาคารโดยอาจใช้แผ่นอะลูมิเนียมพอยด์ปิดทับ เพื่อไม่ให้สูญเสียคุณสมบัติความเป็นจนวน
- ความแตกต่างของอุณหภูมิ ความร้อนจะเคลื่อนตัวจากด้านที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่ด้านที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า

2. การพาความร้อน (Convection)

การพาความร้อนคือ การถ่ายเทพลังงานความร้อนที่มีอากาศเป็นตัวนำของเหลวหรือก๊าซ ผ่านความแตกต่างทางด้านอุณหภูมิ การพาความร้อนแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะใหญ่ คือ การพาความร้อนแบบอิสระหรือโดยธรรมชาติ (Free or natural convection) และการพาความร้อนแบบบังคับ (Forced convection) ลักษณะแรกเป็นการถ่ายเทความร้อน โดยอาศัยความแตกต่างของความหนาแน่นของของไหล จากเหตุผลที่ว่าของไหลเมื่อได้รับความร้อน (อุณหภูมิสูงขึ้น) จะมีความหนาแน่นลดลงกว่าอากาศโดยรอบ ทำให้เกิดแรงยกตัว (Buoyant force) ลอยตัวขึ้น เช่น การถ่ายเทความร้อนจากหลังคาสู่อากาศโดยรอบที่สงบ เป็นต้น ส่วนการพาความร้อนแบบบังคับจะเป็นการถ่ายเทความร้อน โดยใช้แรงภายนอกมาเคลื่อนที่ของไหล ผ่านพื้นผิวของแข็งที่มีอุณหภูมิต่างกัน เช่น แรงจากปั๊มหรือพัดลม

ปัจจัยที่มีผลต่อการพาความร้อน

- พื้นที่หน้าตัดของวัสดุ
- ความแตกต่างของอุณหภูมิผิวทั้งสองด้าน
- ความขุ่นเหนียว และการยอมให้ความร้อนผ่านไปได้เร็วของสารนั้นๆ

3. การแผ่รังสีความร้อน (Radiation)

การแผ่รังสีความร้อน คือการถ่ายเทพลังงานความร้อนในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ที่เรียกว่า อินฟราเรดจากพื้นผิววัตถุที่ร้อนไปสู่พื้นผิวที่เย็นกว่า โดยบางส่วนถูกสะท้อนกลับ บางส่วนถูกดูดกลืนไว้ ปัจจัยที่มีผลต่อการแผ่รังสีความร้อนจะขึ้นอยู่กับความแตกต่างอุณหภูมิ สี การสะท้อน และการดูดซับของพื้นผิว

การนำความร้อนและการพาความร้อนต้องอาศัยตัวกลางในการส่งผ่านความร้อน แต่การแผ่รังสีความร้อนไม่จำเป็นจะต้องมีตัวกลางหรือสสารใดในการส่งผ่านความร้อน ซึ่งรังสีที่แผ่ไปนั้นจะอยู่ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

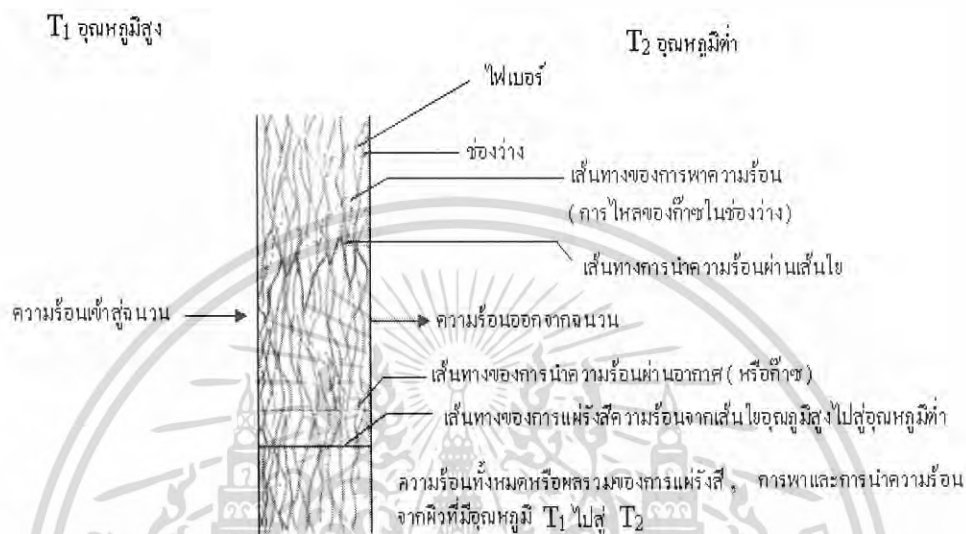
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนกันความร้อนจากวัสดุต่างๆ [2]

ชิ้นงานทดสอบ	ความหนา (mm)	ค่าความหนาแน่น (Kg/m ³)	ค่าการนำความร้อน (W/m ⁰ K)
แผ่นไม้อัด	10.05	907	0.2290
แผ่นกระเบื้องซีเมนต์ใยหินแผ่นเรียบ	8	1708	0.5113
แผ่นเซตโลกรีด ชนิดธรรมดา	13	608	0.1143
แผ่นเซตโลกรีด ชนิดโฟม	13.19	377	0.0728
แผ่นยิปซัมตราช้าง ชนิดธรรมดา	9	725	0.3058
แผ่นยิปซัมตราช้าง ชนิดทนไฟ	15	885	0.3533
แผ่นยิปซัมตราช้าง ชนิดลูมิเนียมฟอยล์	9.5	745	0.3215
แผ่นยิปซัมตราช้าง ชนิดทนความร้อน	12	775	0.2973
แผ่นยิปซัมตราช้าง ชนิดปรุกลายรุ่นพินโฮล	12	745	0.2888
โฟม	11.32	20	0.0408
พอลิยูรีเทนโฟม	26	55	0.0303
ใยแก้ว	11.25	69	0.0410
ใยแก้วลูมิเนียมฟอยล์ 1 ด้าน	17	130	0.0460
ฉนวนยาง	52.60	74	0.0483

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 กลไกของฉนวนกันความร้อน [3]



รูปที่ 2.1 แผนหลักการไหลของความร้อนผ่านมวลสารในฉนวน [3]

ลักษณะของฉนวนความร้อนประกอบด้วย ช่องอากาศสำหรับต้านการไหลของความร้อน ช่องอากาศเหล่านี้ทำจากแผ่นหรือเส้นใยของแข็งหรือเซลล์ภายในวัสดุ แต่ช่องจะต้องเล็กพอในการต้านการไหลของอากาศ ดังนั้นความร้อนที่มีการถ่ายโอนแบบพาความร้อนจะมีปริมาณน้อย เส้นทางการนำความร้อนจะต้องมีความยาวและวุ่น เพื่อต้านการถ่ายโอนความร้อนแบบนำความร้อน และวัสดุจะต้องมีคุณสมบัติทึบแสงเพื่อลดการแผ่รังสีความร้อน ดังนั้นเมื่อความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผิวของฉนวนจะเกิดการถ่ายโอนความร้อนทุกรูปแบบเกิดขึ้นดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.2 แผนหลักการไหลของความร้อนฉนวนแบบรีเฟลคทีฟ [3]

ฉนวนแบบรีเฟลคทีฟ (Reflective insulation) เป็นฉนวนที่มีวัสดุที่ต้านทานการถ่ายโอนความร้อน โดยเป็นแผ่นที่มีคุณสมบัติของการปล่อยออกและดูดซับต่ำ แผ่นกันจะมีช่องว่างเพื่อลดการพาความร้อนและการนำความร้อน สำหรับในงานก่อสร้างฉนวนแบบรีเฟลคทีฟจะเป็นกลุ่มของวัสดุมารวมเป็นเนื้อเดียวกันโดยมีคุณสมบัติเหมือนแผ่นรีเฟลคทีฟ ซึ่งเรียกว่า ฉนวนแบบมวลสาร (Mass insulation) ในรูปที่ 2.2 แสดงหลักการไหลของความร้อนผ่านฉนวนแบบรีเฟลคทีฟ

2.1.3 ชนิดพื้นฐานของฉนวนความร้อน

คุณสมบัติของฉนวนความร้อนหาได้จากองค์ประกอบของฉนวนเป็นหลัก ซึ่งองค์ประกอบของฉนวนสามารถแบ่งฉนวนความร้อนออกได้เป็น 6 ชนิดพื้นฐาน ดังนี้

1. ชนิดชั้นอากาศหรือฟิล์มอากาศ
2. ชนิดวัสดุแบบเซลล์ (Cellular material)
3. ชนิดวัสดุแบบเส้นใย (Fibrous material)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ชนิดวัสดุแบบเกล็ด (Flake material)
5. ชนิดวัสดุแบบเกรนูลาร์ (Granular material)
6. ชนิดแผ่นบางผิวสะท้อนรังสี (Reflective foils)

อย่างไรก็ตาม ในการประยุกต์ใช้งานจะเป็นการผสมผสานกันของฉนวนดังกล่าวนี้เข้าด้วยกัน

1.) ฉนวนชั้นอากาศหรือฟิล์มอากาศ อาจถูกประกอบเป็นพื้นผิวเดี่ยวอย่างง่าย หรืออาจเป็นพื้นผิวหลายๆ ชั้น ซึ่งมีอากาศอยู่ระหว่างชั้นของพื้นผิว ความต้านทานความร้อนจะเกิดจากชั้นของพื้นผิวเอง และชั้นของอากาศ ในลักษณะนำความร้อนหรือพาความร้อนคร่อมระหว่างชั้นอากาศนี้

2.) ฉนวนแบบเซลล์ จะประกอบไปด้วยเซลล์เล็กๆ ที่ผลิตติดกับเซลล์อื่นอื่นๆ ฉนวนแบบเซลล์ผลิตขึ้นจากแก้ว พลาสติก และยาง ตัวอย่างของฉนวนชนิดนี้ เช่น เซลลูลาร์กลาส (Cellular glass) โฟมอิแลชโตเมริกแบบขยายตัว โฟมพอลิสไตรีน โฟมโพลีไอโซไซยานูเรต และโพลียูรีเทน และโฟมยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์

3.) ฉนวนแบบเส้นใย ประกอบด้วยเส้นใยที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กๆ จำนวนมาก เส้นใยเหล่านี้อาจมาจากวัสดุอินทรีย์ อย่างเช่น เส้นผม ใยพืชต่างๆ หรืออาจทำมาจากวัสดุสังเคราะห์ เช่น ใยแก้ว ใยหิน ใยซิลิเกต ใยอะลูมินาซิลิเกต ใยแร่ใยหิน (Asbestos) หรือใยคาร์บอน

4.) ฉนวนแบบเกล็ด ประกอบด้วยอนุภาคขนาดเล็ก อนุภาคหรือเกล็ดเหล่านี้จะถูกเทเข้าไปในช่องอากาศ หรือทำให้เกาะตัวเข้าด้วยกัน เพื่อทำเป็นรูปทรงฉนวนที่แข็ง ฉนวนแบบเกล็ดที่มีรูปทรงแข็งสามารถใช้งานเป็นฉนวนท่อ หรือการใช้งานด้านอื่นๆ ในลักษณะเป็นบล็อกหรือแผ่นอัด ฉนวนแบบเกล็ดที่รู้จักกันทั่วไป คือ เพอร์ไลต์ และเวอร์มิคูไลต์

5.) ฉนวนแบบเกรนูลาร์ ประกอบด้วยอนุภาคขนาดเล็กซึ่งเป็นโพรงหรือกลวง ซึ่งช่องกลวงเหล่านี้สามารถถ่ายเทอากาศระหว่างกันและกันได้ จึงทำให้แตกต่างจากฉนวนแบบเซลล์ วัสดุที่ใช้ทำฉนวนชนิดนี้อาจเป็น แมกนีเซียม แคลเซียมซิลิเกต ดินไดอะตอม (Diatomaceous-earth) หรือ ไม้ก๊อกพืช (Vegetable cork) วัสดุ 3 ชนิดแรกส่วนใหญ่จะใช้เป็นฉนวนในระบบท่อทางด้านอุตสาหกรรม ส่วนไม้ก๊อกจะใช้งานกับการทำความเย็นที่อุณหภูมิต่ำ

6.) ฉนวนแผ่นบางผิวสะท้อนรังสี ประกอบด้วยแผ่นขนาน มีสภาพการแผ่รังสีความร้อนสูงหรือสภาพการแผ่รังสีต่ำ โดยแผ่นบางเหล่านี้จะเป็นช่องเพื่อสะท้อนรังสีความร้อนกลับ เนื่องจากแต่ละแผ่นที่แยกจากกันจะทำให้การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากผลของการนำความร้อน และการพาความร้อนลดลง การประยุกต์ใช้แผ่นฉนวนบาง ส่วนใหญ่จะใช้เป็นระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากกว่าใช้วัสดุชนิดเดียว โดยจะใช้งานกับวัสดุที่อุณหภูมิสูง เมื่อการถ่ายเทความร้อนชนิดแผ่รังสีความร้อน มีปริมาณมากกว่าการถ่ายเทความร้อนอีก 2 แบบ คือการนำและการพา

เนื่องจากฉนวนแบบแผ่นบางมักจะถูกใช้ผิดที่ หรือใช้งานไม่เหมาะสม จึงทำให้ผลที่ได้ในระบบฉนวนของอาคารจำกัดลงมาก การใช้งานที่จะก่อให้เกิดประสิทธิผลต้องใช้แผ่นบาง ผิวสะท้อนรังสีร่วมกับช่องอากาศที่มีสถานะในลักษณะอากาศอยู่นิ่งไม่เคลื่อนที่

การใช้งานด้านอื่นๆ ของแผ่นบางผิวสะท้อนรังสี พบในสถานะอุณหภูมิต่ำมาก (Cryogenic) ซึ่งมักจะเรียกฉนวนที่ใช้งานลักษณะนี้ว่าเป็นฉนวนชั้นเย็บ หรือซูเปอร์ฉนวน

2.1.4 สมบัติของฉนวนความร้อนที่ดี

ฉนวนความร้อนจะต้องเลือกใช้ให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์กับงาน และตามชนิดของฉนวน ซึ่งคุณสมบัติที่ได้นั้นพิจารณาได้ดังนี้

1. ควรมีน้ำหนักเบาและมีค่าความหนาแน่นน้อย
2. มีค่าสภาพการนำความร้อนต่ำ กล่าวคือยอมให้ความร้อนผ่านตัวฉนวนได้น้อยมาก
3. ในบางชนิดจะต้องมีความคงทนต่อแรงดึงและแรงอัดได้ดี
4. มีอัตราการดูดซับความชื้นที่ต่ำมากหรือไม่มีเลยจะดีมาก
5. สามารถต้านการกัดกร่อนได้ดี โดยเฉพาะทางเคมี
6. มีความคงตัวสูง เปลี่ยนรูปได้ยาก
7. ต้องทนต่อการติดไฟได้ดี
8. ใช้งบระดับอุณหภูมิที่กว้าง
9. ติดตั้งเพื่อใช้งาน ได้สะดวก
10. มีราคาถูก สามารถหาซื้อได้ง่าย

ปัจจุบันมีการผลิตฉนวนกันความร้อนในหลายรูปแบบขึ้น เพื่อให้เหมาะกับการใช้งานประเภทต่างๆ เป็นจำนวนมาก ต่อไปจะกล่าวถึงฉนวนกันความร้อนบางชนิดที่สำคัญๆ และนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ดังนี้

1. โยแก้ว (Glass fiber)
2. โยแร่ (Mineral fiber)
3. โยเซลลูโลส (Cellulose)
4. แคลเซียมซิลิเกต (Calcium silicate)
5. โฟม (Foam)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ฟอยล์ (Foil)
7. เวอร์มิคูไลต์ (Vermiculite)

2.1.5 หลักการและเทคนิคการติดตั้งฉนวนกับการสูญเสียความร้อน

ควรศึกษาคุณสมบัติทางเทคนิคของฉนวนที่ต้องการนำมาใช้ให้เหมาะสม นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงความร้อนที่มีผลกระทบต่อท่อ ผลของความชื้น และการสูญเสียความร้อนออกจากท่อ ประการแรก คือ ทำให้ท่อเกิดการขยายตัวโดยตรงแล้วทำให้ฉนวนเกิดการหดตัว ประการที่สอง ถ้าฉนวนที่ใช้เพื่อหุ้มหน้าแปลน ข้อต่อ หรือวาล์ว รวมทั้งวัสดุที่ใช้เพื่อแขวนท่อที่สัมผัสกับผิวท่อร้อนโดยตรง ประการที่สาม ความชื้นในบรรยากาศหรือการกลั่นตัวที่ผิวนอกท่อที่ประกบอยู่กับฉนวน ประการที่สี่ ความร้อนที่สูญเสียออกจากผิวท่อ

ตารางที่ 2.2 สรุปเปรียบเทียบข้อดีและข้อจำกัดของฉนวนบางประเภท [3]

ชนิดของฉนวน	ข้อดี	ข้อจำกัด
ใยแก้ว	<ul style="list-style-type: none"> - สภาพการนำความร้อนต่ำ - ไม่เป็นพิษ - อุณหภูมิใช้งานไม่เกิน 700 องศาเซลเซียส 	<ul style="list-style-type: none"> - ไม่กันไฟ - ตัวประสานลูกใหม่ได้ - การแทรกซึมของไอน้ำสูง ควรมีวัสดุหุ้มกันไอน้ำ
ใยเซลลูโลส	<ul style="list-style-type: none"> - สภาพการนำความร้อนต่ำ - ไม่เป็นพิษ 	<ul style="list-style-type: none"> - ติดไฟได้ - การดูดซึมน้ำสูง - อาจมีการยุบตัวตามอายุการใช้งาน
โฟมโพลีสไตรีน	<ul style="list-style-type: none"> - สภาพการนำความร้อนต่ำ - ใช้เป็นตัวฉนวน หรือกันซึมได้ - การแทรกซึมของไอน้ำ และการดูดซึมน้ำต่ำ - ไม่เป็นพิษ 	<ul style="list-style-type: none"> - ติดไฟได้ - อุณหภูมิใช้งานสูงสุดประมาณ 82 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 (ต่อ) สรุปเปรียบเทียบข้อดีและข้อจำกัดของฉนวนบางประเภท [3]

โฟมชนิดยืดหยุ่น	- สภาพการนำความร้อนต่ำ - ติดตั้งง่าย - ไม่เป็นพิษ	- ติดไฟได้ และเกิดควันมาก - ไวต่อรังสีอัลตราไวโอเลต - อุณหภูมิใช้งานไม่เกิน 105 องศาเซลเซียส
แคลเซียมซิลิเกต	- ไม่ติดไฟ - อุณหภูมิใช้งานไม่เกิน 650 องศาเซลเซียส	- สภาพการนำความร้อนปานกลาง - ใอน้ำแทรกซึมได้ง่าย - การดูดซึมน้ำสูง
เวอร์มิคูไลท์	- ไม่ติดไฟ - ไม่เป็นพิษ	- สภาพการนำความร้อนสูง - การดูดซึมน้ำสูง - อุณหภูมิใช้งานไม่เกิน 405 องศาเซลเซียส
โฟมโพลียูรีเทน	- สภาพการนำความร้อนต่ำ - ใช้เป็นตัวผนึก หรือกันซึมได้ - การแทรกซึมของไอน้ำ และการดูดซึมน้ำต่ำ	- ติดไฟได้ - เกิดควันที่เป็นพิษ ขณะลุกไหม้ - แก้ไขโดยใส่สารกันไฟลาม

2.1.6 ประโยชน์ที่ได้จากการใช้ฉนวนความร้อน

1. เพื่ออนุรักษ์พลังงาน
2. ควบคุมการถ่ายโอนความร้อน
3. ควบคุมอุณหภูมิ
4. ป้องกันการแข็งตัวเนื่องจากความเย็นจัด
5. ป้องกันการเผาไหม้
6. ควบคุมไฟไหม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 เส้นใยธรรมชาติ (Natural fibers) [4]

เส้นใยธรรมชาติเป็นอินทรีย์วัตถุที่สำคัญ หาได้ง่ายจากธรรมชาติ มีปริมาณมาก สามารถเกิดขึ้นใหม่ได้ และมีราคาถูกกว่าเส้นใยสังเคราะห์ ซึ่งเส้นใยธรรมชาติอาจแยกตามแหล่งกำเนิดได้ดังนี้

- เส้นใยสัตว์ (Animal fiber) เส้นใยชนิดนี้มีองค์ประกอบทางเคมีเป็น โปรตีนเป็นส่วนใหญ่ แหล่งเส้นใยได้แก่ ขนสัตว์ ผมอฐ เส้นไหมที่ได้จากตัวไหม เป็นต้น

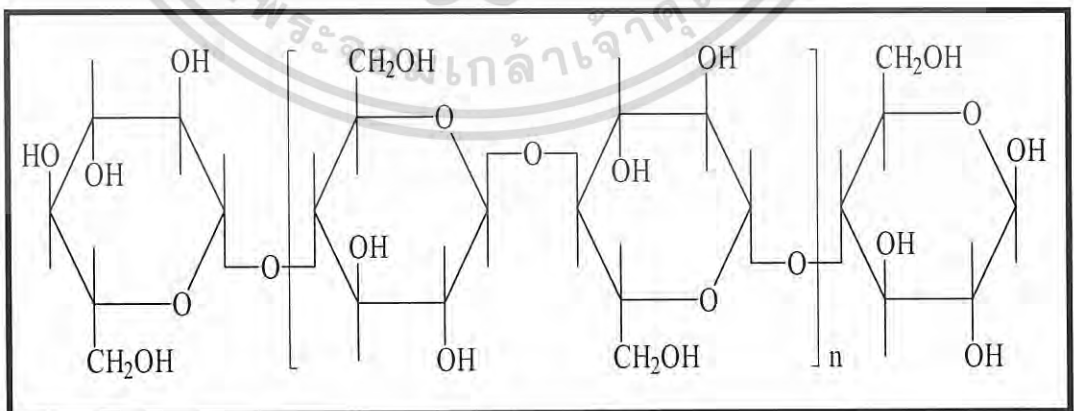
- เส้นใยไม้ (Wood fiber) เส้นใยชนิดนี้มีองค์ประกอบทางเคมีสารคาร์โบไฮเดรตได้จากไม้ยืนต้น เช่น สน ยางพารา และไม้ล้มลุก เช่น ปอกระเจา ฟางข้าว เป็นต้น

- เส้นใยจากแร่ (Mineral fiber) เป็นเส้นแร่ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ เช่น ไยหิน เป็นต้น

โครงสร้างของเส้นใยธรรมชาติประกอบไปด้วยเซลลูโลส (Cellulose) เป็นส่วนใหญ่ องค์ประกอบที่เหลือเป็นเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) ลิกนิน (Lignin) และสารประกอบอื่นๆ

2.2.1 เซลลูโลส (Cellulose)

เซลลูโลสเป็นสารประกอบพอลิแซคคาไรด์ (Polysaccharides) เชิงเส้นตรงที่ประกอบด้วยหน่วยๆ ซ้ำกัน มีสูตรโมเลกุลทั่วไปคือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ เป็นโครงสร้างในเนื้อเยื่อพืช โดยพบร่วมกับ ลิกนิน (Lignin) เพนโตเซน (Pentosan) กัม (Gum) แทนนิน (Tannin) ไขมัน (Fat) สารที่ทำให้เกิดสี เป็นต้น เซลลูโลสจะมีหน่วยโมเลกุลยาวและแข็ง โดยเซลลูโลสจะมีสูตรโครงสร้างทางเคมี ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 สูตร โครงสร้างของเซลลูโลส [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

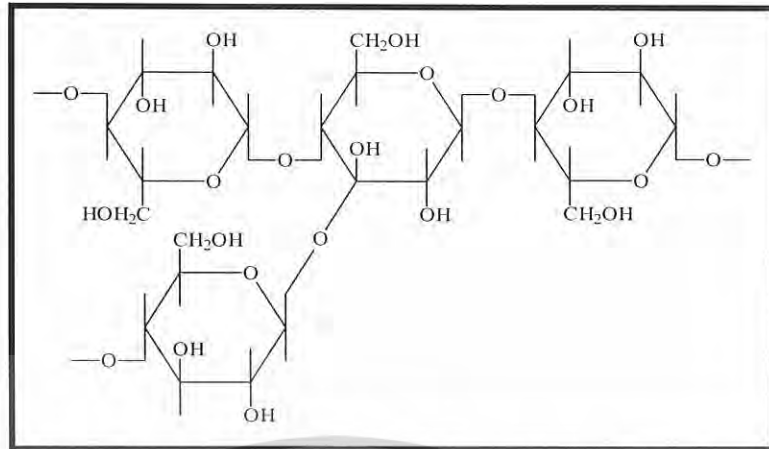
เซลลูโลสมีหมู่ไฮดรอกซิลถึง 3 หมู่ สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนได้ แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของเซลลูโลสจึงมีมาก และโครงสร้างของเซลลูโลสยังจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ จึงทำให้เซลลูโลสมีความเป็นผลึกสูงมาก อุณหภูมิการหลอมตัวจึงสูงมาก มักจะเกิดการสลายตัวก่อนถึงอุณหภูมิหลอมตัว และมีความสามารถในการละลายต่ำ เซลลูโลสธรรมชาติจะมีน้ำหนักรวมของโมเลกุลเฉลี่ยต่างกัน การกระจายน้ำหนักโมเลกุลของเซลลูโลสมีความสำคัญต่อสมบัติทางกายภาพ ส่วนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะส่งผลให้คุณสมบัติทางกายภาพไม่ดี ในทางอุตสาหกรรมจะหาน้ำหนักโมเลกุลโดยประมาณได้โดยการวัดความหนืด

สมบัติทางกายภาพของเซลลูโลส

ความหนาแน่นของเซลลูโลสประมาณ 1.5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ความหนาแน่นของเส้นใยเดี่ยวมีค่าไม่แน่นอน ซึ่งแปรตามแหล่งที่มาและการปรับปรุงทางเคมี เซลลูโลสเป็นของแข็งไม่มีสี มีการดูดและคายไอน้ำและของเหลวอื่นๆ ที่อยู่ในบรรยากาศรอบๆ จนกระทั่งถึงสมดุล ปริมาณความชื้นของเซลลูโลสมีผลต่อสมบัติบางอย่างเช่นความแข็งแรงดึง เซลลูโลสไม่ละลายในน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์ แต่จะละลายในกรดแร่เข้มข้น เช่น 72% ของกรดซัลฟูริก 40% ของกรดไฮโดรคลอริก และ 78% ของกรดฟอสฟอริก เซลลูโลสจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสอย่างรวดเร็วในสารละลายกรดแร่ที่อุณหภูมิห้อง และปฏิกิริยาจะหยุดที่อุณหภูมิต่ำๆ และสารละลายเกลือเข้มข้นบางชนิด เช่น 72% ของซิงค์ออกไซด์จะทำให้เซลลูโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำๆ ละลายได้

2.2.2 เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)

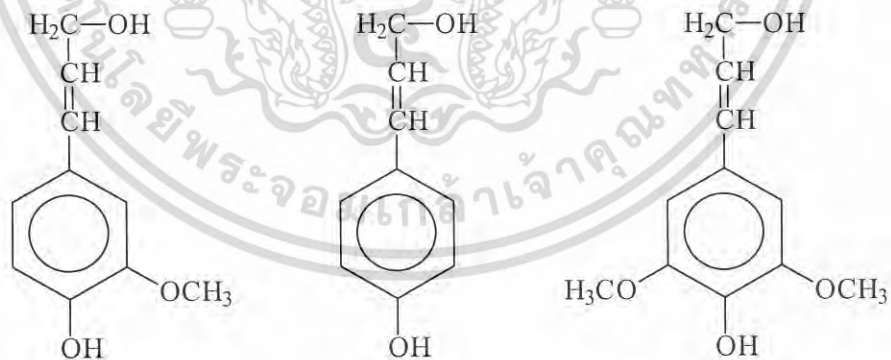
เฮมิเซลลูโลสเป็นพอลิแซคคาไรด์ชนิดหนึ่ง ซึ่งคล้ายเซลลูโลส แต่ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหลายชนิด เช่น กลูโคส กาแลกโตส แมนโนส ไซโลส อะราบิโนส รวมทั้งกรดกลูคูโรนิกและกาแลกทูโรนิก เฮมิเซลลูโลสพบในเนื้อเยื่อของพืชโดยรวมอยู่กับสารอื่นๆ เช่น ลิกนิน เซลลูโลส เป็นโครงสร้างของผนังเซลล์ พบมากในแกลบ ชังข้าวโพด เฮกโซแซน ซูตราชเคมีคือ $(C_6H_{12}O_6)_n$ โครงสร้างทางเคมีแสดงได้ดังรูป 2.4



รูปที่ 2.4 สูตร โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส [4]

2.2.3 ลิกนิน (Lignin)

ลิกนินเป็นสารประกอบเชิงซ้อน มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มักพบอยู่ร่วมกับเซลลูโลส ลิกนินเป็นสารที่ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน รวมกันเป็นหน่วยย่อยหลายชนิดซึ่งเป็นสารอะโรมาติก ลิกนินไม่ละลายน้ำ ไม่มีสมบัติยืดหยุ่น เพราะฉะนั้นจึงทำให้พืชที่มีลิกนินมาก มีความแข็งแรงทนทาน เมื่อพืชตายลิกนินจะถูกย่อยด้วยเอนไซม์ลิกเนส (Lignase) หรือ ลิกนินเนส (Ligninase) ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่สำคัญในเรา ตัวอย่าง โครงสร้างของลิกนินแสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 หน่วยที่ซ้ำกันของลิกนิน [4]

2.3 การผลิตเยื่อ (Pulping) [5]

วัตถุประสงค์หลักของการผลิตเยื่อคือเพื่อต้องการแยกเส้นใยออกจากองค์ประกอบอื่นของไม้ การผลิตเยื่อสามารถทำได้หลายวิธีทั้งโดยวิธีเคมีและเชิงกล เยื่อมีหลายชนิด การเรียกชื่อขึ้นอยู่กับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับกรรมวิธีการผลิต ซึ่งประกอบด้วยรูปแบบต่างๆของพลังงานที่ใช้ ได้แก่ พลังงานความร้อน พลังงานเคมี และพลังงานกล

1. กระบวนการผลิตเยื่อเชิงกล (Mechanical pulping process)

จะใช้พลังงานกลควบคู่ไปกับพลังงานความร้อนในการแยกเส้นใยออกมา โดยชิ้นไม้จะถูกส่งเข้าเครื่องบด ซึ่งจะทำหน้าที่บดและตัดจนชิ้นไม้แตกละเอียดเป็นเยื่อไม้ เยื่อที่ได้เรียกเยื่อไม้บดหรือเยื่อเชิงกล ให้ผลผลิตเยื่อในช่วงมากกว่าร้อยละ 85 เยื่อไม้บดจะมีเนื้อค่อนข้างหยาบกระด้าง เส้นใยที่ได้จากเยื่อไม้บดนี้ส่วนใหญ่ไม่สมบูรณ์ จะมีการขาดและตัดเป็นท่อนๆ นอกจากนี้ยังมีกลุ่มของเส้นใย (Bundle of fiber) ปนอยู่ด้วย ซึ่งในเยื่อไม้บดจะประกอบด้วย

- เส้นใยฝอย (Fines) ซึ่งเกิดจากการฉีกขาดของเส้นใย
- เส้นใย (Individual fiber) เส้นใยเดี่ยวไม่ค่อยสมบูรณ์
- มัดของเส้นใย (Bundle of fiber) ซึ่งประกอบด้วยเส้นใยหลายๆ เส้นเกาะติดกันเป็นมัด

2. กระบวนการผลิตเยื่อกึ่งเคมี (Semi-chemical pulping process)

กระบวนการผลิตเยื่อกึ่งเคมี (Semi-chemical pulping process) เป็นกระบวนการผลิตเยื่อที่ต้องอาศัยทั้งพลังงานกลเช่นเดียวกับการผลิตเยื่อเชิงกล และมีการใช้พลังงานเคมีเข้ามาช่วยให้เส้นใยแยกตัวเป็นอิสระง่ายขึ้น สารเคมีที่ใช้ ได้แก่ โซเดียมซัลไฟต์ชนิดที่เป็นกลาง (Neutral sodium sulfite) โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate) เยื่อที่ผลิตได้ ได้แก่ NSSC (Neutral sulfite semichemical) ซึ่งยังคงมีปริมาณลิกนินอยู่บ้างแต่น้อยกว่าปริมาณลิกนินในเยื่อเชิงกล

3. กระบวนการผลิตเยื่อเคมี (Chemical pulping process)

การผลิตเยื่อตามกรรมวิธีนี้จะใช้พลังงานเคมีและพลังงานความร้อนในการทำให้เส้นใยแยกจากกัน โดยชิ้นไม้จะถูกส่งเข้าหม้อต้มเยื่อ (Digester) สารเคมีและความร้อนจะละลายลิกนินออกไป เหลือส่วนที่ไม่ละลาย คือ เยื่อ เยื่อเคมีมีหลายชนิดเรียกชื่อตามสารเคมีที่ใช้ในการผลิต เช่น เยื่อซัลเฟต เยื่อซัลไฟท์ และเยื่อโซดา เยื่อเคมีให้ผลผลิตเยื่อประมาณร้อยละ 40 เยื่อเคมีที่ได้จะมีลักษณะนุ่ม มีสีค่อนข้างคล้ำ เส้นใยที่ได้จะสมบูรณ์

2.4 หญ้าคา [6]

เลขทะเบียน	: 7-53000-001-0329
ชื่อสามัญ	: Cogon grass, Yaa khaa
ชื่อพื้นเมือง	: หญ้าคา, คาหลวง, ลาตาง, ลาแล
ชื่อวิทยาศาสตร์	: <i>Imperata cylindrical</i> Beauv.
ชื่ออื่น	: <i>I. arundinacea</i> Cyr.
ชื่อวงศ์	: Gramineae

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 หญ้าคา [7]

2.4.1 ลักษณะของหญ้าคา

ต้น เป็นพรรณไม้ล้มลุกจำพวกเดียวกับหญ้า มีเหง้าอยู่ใต้ดิน ลำต้นที่อยู่เหนือดิน มีความสูงประมาณ 1 - 4.5 ฟุต

ใบ ลักษณะของใบออกเป็นกระจุก ตามบริเวณโคนต้น ใบมีรูปหอกเรียวยาว ริมขอบใบ คม มีขนเป็นกระจุกใบมีขนาดยาว 100 - 200 เซนติเมตร

ดอก ออกเป็นช่อหรือเป็นพู่ มีลักษณะคล้ายกับหางกระรอก ขึ้นอยู่บริเวณกลางกอ ช่อดอกยาวประมาณ 2 - 10 นิ้ว มีดอกเรียงสลับกัน

ผล มีลักษณะรูปร่างเป็นรูปร่างคล้ายๆ กับเมล็ด

เมล็ด มีลักษณะเป็นเมล็ดที่ยาว แหลมหแข็ง เป็นสีเทาออกดำๆ

2.4.2 การกระจายพันธุ์

พบทั่วไปในประเทศไทย ขึ้นในดินทุกชนิด ทนต่อความร้อน พบทั้งในพีชไร้ พีชสวนและพื้นที่ รกร้างว่างเปล่า เจริญเติบโตได้ดีทั้งในที่ดินแห้ง และดินชื้น

2.4.3 การปลูกและขยายพันธุ์

ปลูกโดยใช้เมล็ดหรือไหล ปลูกง่ายมาก ไม่ต้องมีการบำรุงรักษาแต่อย่างใด ไม่มีการส่งเสริมให้ปลูกกันเลย ขยายพันธุ์โดยใช้เหง้าใต้ดิน เป็นพืชที่เจริญได้ดีในธรรมชาติ และพบอยู่ทั่วไปจนเป็นปัญหาในการทำลาย

2.4.4 ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ [8]

จากการวิเคราะห์พบว่า หญ้าคามิ Arundoin, Cylimdrin, กรดอินทรีย์ น้ำตาล ไม่มีพิษเฉียบพลัน จากวารสารมีรายงานว่า ในประเทศจีน-อินโดนีเซีย ใช้เป็นยาขับปัสสาวะ

2.4.5 แหล่งหญ้าคา [9]

จากการสำรวจ และสอบถามผู้มีอาชีพทำหญ้าคาขาย ทราบว่าพื้นที่แหล่งของหญ้าคาจะมีเป็นหย่อม ๆ โดยเฉพาะเป็นพื้นที่ที่ผ่านการเผาไหม้จากไฟฟ้า ไร่ร้าง และในพื้นที่ของสวนป่า โดยตั้งแต่ เขตพื้นที่ศาลเจ้าอำเภอทาบเซ็ง ตำบลแมงมุด และกิ่งอำเภอพนมดงรัก ไปจรดอำเภอบ้านกรวด จังหวัดบุรีรัมย์ ซึ่งมีพื้นที่หลายหมื่นไร่

2.4.6 ฤดูกาลเก็บเกี่ยว

ตั้งแต่เดือนตุลาคม (หลังออกพรรษา) ถึง เดือนเมษายน (หลังสงกรานต์) ถือว่าเป็นระยะที่หญ้าคาเจริญสมบูรณ์ได้ดีที่สุดเหมาะที่จะเก็บเกี่ยวนำมาไปพหญ้า และภายในหนึ่งปีเก็บเกี่ยวได้หนึ่งครั้งขบวนการเก็บเกี่ยวหญ้าคา มีดังนี้



รูปที่ 2.7 การเก็บเกี่ยวหญ้าคา [8]

1. เกี่ยวหญ้า พร้อมคัดขนาดของความยาวหญ้า เพื่อให้ได้ขนาดตามความต้องการของตลาด

และสามารถไปพหญ้าได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ตากหญ้า โดยตากไว้ประมาณ 3-5 วัน จะทำให้แห้งและสามารถมัดได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ

3. กู่หญ้า หลังจากผ่านกระบวนการตามข้อ 2 และมีความแห้งพอดี ก็จะมีการมัด รวมกองไว้ เมื่อได้ปริมาณที่มากพอแล้ว ก็จะมีการขนส่ง ออกมาจากพื้นที่

4. การไฟหญ้า โดยนำหญ้าตามข้อ 3 มาไฟ โดยมากใช้ดินอ้อเป็นแกน และเถาหญ้านางเป็นตัวถัก และกระบวนการนี้จะนำดำเนินการที่บ้าน ที่อยู่อาศัยเพื่อง่ายในการจัดส่งตลาด และค้าขาย

2.4.7 ความหนาแน่นของหญ้าคา

โดยนิยมเก็บเกี่ยวหญ้าคาที่มีความหนาแน่น/ต่อไร่ ดังนี้

1. 60-70 มัด / ไร่ ถือว่าหนาแน่นมาก
2. 30-50 มัด / ไร่ ถือว่าหนาแน่นปานกลาง

2.4.8 ขนาดของมัด

หนึ่งมัดมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 35-45 เซนติเมตร และสามารถไฟหญ้าที่มีขนาดความยาว 1.30 – 1.50 เมตร ได้ประมาณ 25 – 30 ไร่

2.4.9 ขนาดความสูง

ความสูงของหญ้าคาที่สามารถนำมาไฟได้ และเป็นที่ต้องการของตลาด จะต้องมีความสูงหลังจากตัดแล้ว ตั้งแต่ 1.30 – 1.50 เมตร

2.4.10 แหล่งตลาดที่รับมา

ทั้งภายในจังหวัดและนอกจังหวัด เช่น ร้อยเอ็ด ขอนแก่น กาฬสินธุ์

2.4.11 รายได้จากการจำหน่ายหญ้าคา

จากการสอบถามผู้มีอาชีพทำหญ้าขาย มีรายได้จากการขายหญ้าต่อ ประมาณครอบครัวละ 25,000-50,000 บาท / ครอบครัว / ฤดูกาล โดยมีการรวมตัวกันในการต่อรองราคาขายหญ้า ในอัตรา ไร่ละ 3 – 8 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.12 สาเหตุที่มีการเผาหญ้าคา

1. เมื่อมีการเผาหญ้าคาแล้ว หญ้ารุ่นใหม่ที่เกิดขึ้นจะสวยงาม ปลายใบจะสอบแหลมตามธรรมชาติ ไม่มีรอยตัด ทำให้หญ้าสูง เป็นรุ่นเดียวกัน มีความแก่และอ่อนเสมอกัน
2. ง่ายต่อการเก็บเกี่ยวและการไพหญ้า
3. เพื่อกีดกันไม่ให้ผู้อื่นได้หญ้าไป ทำให้ขาดตลาดและมีราคาแพงขึ้น
4. เผาเพื่อล่าสัตว์และหาของป่า



รูปที่ 2.8 หญ้าคา [9]

2.4.13 ลักษณะของความเสียหาย [6]

แก่งแย่งธาตุอาหารและน้ำกับพืชปลูก ปลดปล่อยสารธรรมชาติบางชนิดที่มีฤทธิ์ ยับยั้ง การเจริญเติบโตของพืชอื่น อีกทั้งยังเป็นแหล่งอาศัยของศัตรูพืช จำพวก แมลง ตั๊กแตน polyphagous และยังสามารถก่อให้เกิดโรคพืช โรคสนิมเหล็ก (Puccinia refulipes) มีการป้องกันกำจัดหญ้าคาโดย

1. การตัดปีละ 2-3 ครั้ง ควรตัดก่อนวัชพืชออกดอก
2. ใช้วัสดุคลุม เช่น เศษซากวัชพืช
3. ปลูกพืชคลุม เช่น ถั่วต่างๆ
4. ใช้สารกำจัดวัชพืช ใช้สารไกลโฟเสต , กลูโฟสิเนต-แอมโมเนียม และ พาราควอต อัตรา 240 120 และ 160 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่ตามลำดับ เพื่อกำจัดวัชพืชที่ เริ่มออก หรือหลังจากวัชพืช ออกแล้วในระยะกำลัง เจริญเติบโต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.14 การใช้ประโยชน์จากหญ้าคา

ในประเทศไทยส่วนมากได้มีการใช้ประโยชน์จากหญ้าคาใน 2 ด้าน คือ การนำมาทำที่อยู่อาศัย และนำมาใช้เป็นสมุนไพร ซึ่งได้มีการนำส่วนต่างๆ ของหญ้าคามาใช้ประโยชน์ดังนี้

- ใบ** ใช้ทำหลังคาบ้านโดยใช้ใบแห้งมาสานไว้มุงหลังคาบ้านเรือน ใช้เป็นสมุนไพร โดยนำมาต้มแก้ลมพิษ ผื่นคัน
- ดอกแก่** รสจืด ขับปัสสาวะ แก้ดีซ่าน บำรุงไต
- ราก** รสจืด ขับปัสสาวะ แก้กระเพาะปัสสาวะอักเสบ แก้ร้อนใน กระจายน้ำ
- เหง้า [10]** ขับปัสสาวะ

2.5 กาว (Adhesive) [11]

2.5.1 กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ (Urea-formaldehyde)

ยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ เป็นกาวสำหรับไม้อัด (Plywood) หรือแผ่นกระดานอัด (Particle board และ MDF board) มีลักษณะเป็นของเหลวข้นสีขาวเหมือนน้ำมัน มีกลิ่นก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ที่หลีกเลี่ยงจากการทำปฏิกิริยา และมีค่า pH ระหว่าง 7–9 ขึ้นกับชนิดของยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์เรซิน สามารถล้างทำความสะอาดด้วยน้ำหรือน้ำอุ่น

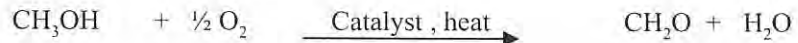
เนื่องจากยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์เรซินจัดอยู่ในพวกอะมิโนเรซิน (Amino resin) ซึ่งมีประโยชน์ทางการค้ามานานแล้ว เป็นพอลิเมอร์ที่มีราคาถูก [12] มีความเป็นพิษต่ำ ความแข็งแรงสูง เกิดปฏิกิริยาได้อย่างรวดเร็วเมื่อทำการอัดด้วยความร้อน โดยจะมีโครงสร้างร่างแห การนำเอา ยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์เรซินไปใช้งานนั้นสามารถทำได้ง่าย แต่เนื่องจากยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์เรซินมีข้อจำกัด คือ ไม่สามารถกันการซึมของน้ำได้ ไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ภายนอกอาคารหรือในที่ที่มีความชื้นสูง เพราะจะทำให้ฟอร์มาลดีไฮด์ระเหยออกมาได้ง่าย เมื่อพิจารณาถึงความคงทนของพันธะเคมีในยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์เรซินที่แข็งตัวพบว่า พันธะคาร์บอน – ออกซิเจน ระหว่างเรซินกับเซลลูโลสมีค่าต่ำ และพันธะของคาร์บอน – ไนโตรเจนจะให้ความคงทนสูง

วัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิต

1. ยูเรีย (Urea, H_2NCONH_2) มีลักษณะเป็นของแข็ง เม็ดกลมสีขาว ดูดความชื้นง่ายและอาจจับตัวเป็นก้อน เมื่อละลายน้ำจะทำให้อุณหภูมิน้ำลดลงและค่า pH เป็นด่างเป็นวัตถุดิบหลักที่จะเกิดปฏิกิริยากับฟอร์มาลดีไฮด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. สารละลายฟอร์มัลดีไฮด์หรือฟอร์มาลิน (Formaldehyde solution or Formalin) เป็นสารละลายใส มีกลิ่นฉุนเฉพาะตัว ปกติใช้ความเข้มข้น 40% ฟอร์มัลดีไฮด์ผลิตจากกระบวนการออกซิเดชัน เมทานอล ดังสมการ



หน้าที่หลักของฟอร์มัลดีไฮด์ คือ เป็นวัตถุดิบหลักในการทำปฏิกิริยากับยูเรียหรือสารประกอบที่คล้ายกัน

ตัวเร่งปฏิกิริยา แบ่งออกเป็น 2 ประเภท

1. ตัวเร่งชนิดด่าง (Base catalyst) ใช้สำหรับปรับค่า pH เป็นด่างในขั้นตอนเริ่มปฏิกิริยา และปรับ pH หลังจากสิ้นสุดปฏิกิริยาแล้ว เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ ไตรเอทานอลามีน หรือแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ เป็นต้น
2. ตัวเร่งชนิดกรด (Acid catalyst) ใช้สำหรับปรับค่า pH เป็นกรดในขั้นการเกิดปฏิกิริยาควบแน่นเพื่อให้เกิดสารประกอบพอลิเมอร์ขึ้น เช่น กรดฟอร์มิก หรือกรดอะซิติก เป็นต้น

ปฏิกิริยาในการสังเคราะห์ยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ แบ่งเป็น 2 ปฏิกิริยา คือ

1. ปฏิกิริยาการเพิ่ม (Addition reaction) หรือ เมทิลอลเลชัน (Methylation)

เป็นการเตรียมยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน (UF resin) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาระหว่างยูเรียกับฟอร์มัลดีไฮด์ในสถานะที่เป็นกลางหรือเบสอ่อนๆ ผลิตภัณฑ์ที่ได้ส่วนมากจะมีโครงสร้างที่เป็นเส้นตรง ได้แก่ โมโนเมทิลอลลูเรีย (Monomethylolurea) และไดเมทิลอลลูเรีย (Dimethylolurea) ซึ่งอัตราส่วนของการเกิดสารทั้งสองตัวนั้นจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของยูเรียต่อฟอร์มัลดีไฮด์ ถ้าเราใช้ฟอร์มัลดีไฮด์มากเกินไปเราจะได้เฉพาะไดเมทิลอลลูเรียในปฏิกิริยา ดังรูปที่ 2.9

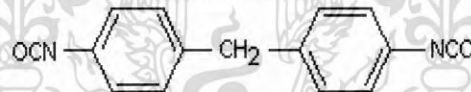
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



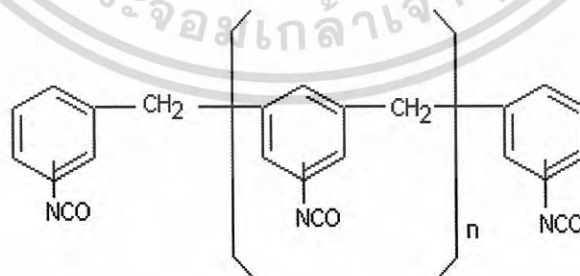
รูปที่ 2.11 ยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ [13]

2.5.2 กาวเอ็มดีไอ (MDI, Diphenylmethane diisocyanate)

กาว MDI เป็นกาวไดไอโซไซยาเนต และเป็นชื่อที่ใช้ในทางการค้าและอุตสาหกรรม ซึ่งประกอบด้วย 25–80% monomeric 4, 4'-MDI หรือเท่ากับ oligomer 3 – 6 ring minor isomer อื่นๆ เช่น 2, 2'-isomer



Chemical structure of MDI



Chemical structure of PMDI

รูปที่ 2.12 โครงสร้างทางเคมีของ MDI และ PMDI [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ไอโซเมอร์และพอลิเมอร์ของ MDI [14]

Name	CAS registry number
4,4 – MDI	101 - 68 – 8
2,4 – MDI	5873 - 54 – 1
2,2 – MDI	2536-05-2.
non-isomer-specific MDI	26447 - 40 – 05
PMDI	9016 - 87 9

2.6 การยึดติด (Adhesion) [2]

การยึดติด เป็นสภาวะพื้นผิวหน้าของวัตถุ 2 พื้นผิว เชื่อมยึดกันโดยแรงที่เกิดขึ้นระหว่างหน้า (Interfacial forces) นั้นๆ ซึ่งอาจจะเป็นแรงที่อยู่ระดับพลังงานนอกสุดของโครงสร้างพื้นผิว (Valance forces) หรือการเกาะเกี่ยวเชิงกลระหว่างผิว (Interlocking action) หรือทั้งสองกรณีร่วมกันทั้ง 2 แบบคือ

- 1.) การยึดติดเชิงกล (Mechanical adhesion) เป็นการยึดติดระหว่างผิวหน้า ที่มีกาวยึดติดส่วนต่างๆไว้โดยการเกาะเกี่ยว (Interlocking action)
- 2.) การยึดติดจำเพาะ (Specific adhesion) เป็นการยึดติดระหว่างผิว ซึ่งยึดกันไว้ด้วยแรงที่อยู่ ณ ระดับพลังงานนอกสุดของโครงสร้างผิว

2.6.1 ทฤษฎีและกลไกของการยึดติดกาว

การยึดติดกาวกับไม้ มีการยึดติดเชิงกล (Mechanical adhesion) ที่กาวเหลวแทรกซึมไปตามพื้นผิวไม้ตามรอยแตกและรูพรุนของโครงสร้างไม้ แล้วเกิดการแข็งตัวของกาวทำให้ผิวหน้าไม้เกาะเกี่ยวกันไว้ด้วยสายกาวที่ดูเหมือนคล้ายตะขอหรือขวดหมึก ซึ่งเป็นกลไกขั้นแรกของการยึดติด ซึ่งจะให้ผลทางอ้อมในการยึดติดขั้นที่สองในลักษณะแรงวาเลนซ์หรือการยึดติดจำเพาะ (Specific adhesion) แรงดึงดูดที่เกิดขึ้นระหว่างอะตอม ไอออน และโมเลกุล ซึ่งขึ้นอยู่กับความเป็นขั้วของโมเลกุลและระยะห่างระหว่างกาวและพื้นผิวไม้ เว้นแต่ในกรณีของการใช้สารคู่ควบ (Coupling agents) ซึ่งยึดเหนี่ยวทางเคมีกับตำแหน่งไวปฏิกิริยา (Reactive sites) ของกาวกับวัสดุติดกาวใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะการสร้างพันธะโคเวเลนต์ซึ่งค่อนข้างจะมีบทบาทน้อยในการเชื่อมยึดของกาวกับไม้ แรงทางกายภาพหรือแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลจะมีบทบาทสำคัญมากในการเชื่อมยึดติดกับไม้

แรงทางกายภาพ (Physical forces) ระหว่างโมเลกุลออกเป็น 2 ชนิด คือ มีขั้ว (Polar) และไม่มีขั้ว (Non-polar) ของเหลวจะเป็นทั้งมีขั้วและไม่มีขั้ว แม้จะมีปริมาณของการมีขั้ว (Degree of polarity) ต่างกัน ของเหลวที่มีขั้วจะผสมกับของเหลวที่มีขั้ว เช่นเดียวกับของเหลวที่ไม่มีขั้วจะผสมกับของเหลวที่ไม่มีขั้ว ทำให้สามารถพิจารณาเป็นข้อกำหนดเบื้องต้นของการยึดติดว่า รอยต่อที่แข็งแรงไม่สามารถทำจากกาวที่มีขั้วบนผิวที่ไม่มีขั้ว หรือกาวที่ไม่มีขั้วบนผิวที่มีขั้ว ข้อกำหนดนี้ ยกเว้นกับการใช้สารคู่ควบ (Coupling agents) โดยแรงที่ทำให้เกิดการดึงดูดระหว่างโมเลกุลนั้นมี 3 แบบ ที่สำคัญในการทำให้เกิดการยึดติด คือ แรงระหว่างขั้วคู่ (Dipole-dipole forces) พันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bonds) และแรงที่เกิดจากการกระจาย (Dispersion force) หรือแรงแวนเดอร์วาลส์ (Vander waals forces) ยกเว้นพันธะไฮโดรเจนแรงระหว่างขั้วเกิดขึ้นระหว่างโมเลกุลที่เป็นขั้ว พันธะโคเวเลนต์ในโมเลกุลที่เป็นประจุของอะตอมที่มีปริมาณเท่ากันแต่ตรงข้ามกัน ทำให้เกิดขั้วบวกและขั้วลบ แรงระหว่างขั้วคู่แบบพิเศษก็คือ พันธะไฮโดรเจนซึ่งมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลประจุบวกไฮโดรเจนของสารประกอบ และ ยังไม่มีการเชื่อมอิเลคตรอนกับโมเลกุลอื่น แรงดึงดูดเหล่านี้เป็นแรงดึงดูดผิวหน้า (Interfacial attraction) ของกาวที่สำคัญ เช่น ฟีนอลิก อะมิโน และอีพอกซีเรซิน ซึ่งมีกลุ่มเอไมด์ (Amide), คาร์บอกซิล (Carboxyl) และไฮดรอกซิล (Hydroxyl) ที่จะแนบติดอย่างแข็งแรงกับหมู่ไฮดรอกซิลที่มีขั้วบนโครงสร้างเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสของเส้นใย แรงแวนเดอร์วาลส์จะดึงดูดโมเลกุลที่ไม่มีขั้วไว้ด้วยกัน โมเลกุลเหล่านี้จะไม่มีขั้วคู่อย่างถาวรเหมือนโมเลกุลที่มีขั้วคู่ แต่จะเกิดขั้วคู่กระตั้นหันจากการเหนี่ยวนำจากขั้วคู่ของโมเลกุลที่อยู่ใกล้เคียง ขั้วคู่ที่เกิดขึ้นอย่างกระตั้นหันนี้จะไม่แข็งแรงมากและจะเกิดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว

1) ทฤษฎีการดูดซับและการยึดติดจำเพาะ (Adsorption /specific adhesion theory)

ในสาขาการยึดติดไม้ ทฤษฎีการดูดซับของการยึดติด บ่อยครั้งมักจะเรียกว่า ทฤษฎีการยึดติดจำเพาะ เป็นการที่กาวยึดติดกับวัสดุติดกาวเนื่องจากแรงระหว่างโมเลกุลและระหว่างอะตอม (Intermolecular and interatomic forces) ของวัสดุทั้งสองประเภท โดยมีการสัมผัสกันอย่างใกล้ชิด ซึ่งมีระยะห่างระหว่างอะตอมหรือโมเลกุลไม่น้อยกว่า 10×10^{-8} เซนติเมตร ทฤษฎีนี้เป็นที่ยอมรับและใช้กันอย่างกว้างขวาง แรงทุติยภูมิ เช่น แรงแวนเดอร์วาลส์ พันธะไฮโดรเจน แรงไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic forces) มีบทบาทสำคัญต่อการยึดติดตามทฤษฎีนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ทฤษฎีพันธะโคเวเลนต์ (Covalent chemical bonding theory)

พันธะโคเวเลนต์เป็นอีกพันธะหนึ่งที่ได้รับการพิจารณาว่าเกิดขึ้นในทฤษฎีการดูดซับ แต่ นอกจากจะเกิดพันธะปฐมภูมิแบบโคเวเลนต์แล้ว ก็ยังสามารถเกิดพันธะไอออนิก (Ionic) และ พันธะโลหะ (Metallic) ได้ด้วย ซึ่งตัวอย่างการเกิดพันธะโคเวเลนต์กับไม้ ได้แก่ การใช้กาวไดไอโซไซยาเนต เช่น กาว MDI โดยการเกิดปฏิกิริยาของหมู่ไฮดรอกซิลหลายประเภทบนลิกนินและสารคาร์โบไฮเดรตของไม้

2.6.2 สมบัติที่ทำให้เกิดการเกาะยึดระหว่างเส้นใยกับกาวได้ดี [15]

คุณสมบัติที่ทำให้การเกาะยึดระหว่างเส้นใยกับกาวได้ดี ได้แก่ คุณสมบัติด้านประสิทธิภาพในการเกาะยึดเหนี่ยว ความเหนียว การไหลของกาวในระหว่างอัดรีด ความเร็วในการแข็งตัวและความหนืด คุณสมบัติเหล่านี้มีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กันไม่ทางตรงก็ทางอ้อม ประสิทธิภาพในการเกาะยึดที่ดีนอกจากจะต้องขึ้นอยู่กับระดับของสภาวะในการเกิดปฏิกิริยาเคมี พอลิเมอร์เซชันที่เหมาะสมของกาวเองแล้ว ยังต้องพิจารณาถึงการเปียกของกาวกับเยื่อที่ดี (Wetting) และการไหลที่เหมาะสมในการอัดรีดเพื่อเปิดเวลาให้กาวกับเส้นใยมีการเคลื่อนปรับตัวได้อย่างสมบูรณ์ ก่อนที่จะเกิดการแข็งตัวของกาวก่อน เหตุอีกประการหนึ่งเกี่ยวกับประสิทธิภาพในการใช้กาวนั้น มีปัจจัยที่ต้องพิจารณาควบคู่กันไป คือ

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

การใช้กาวที่มีประสิทธิภาพจะต้องทำให้กาวเกาะบนผิวเส้นใย แต่ละเส้นใยควรได้รับปริมาณกาวเดียวกัน และให้กาวมีการกระจายตัวไปบนพื้นผิวของเส้นใยหรือมัดเส้นใยอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งความสามารถในการที่กาวจะกระจายไปทั่วเส้นใยได้อย่างมีประสิทธิภาพจนเกิดแรงยึดเหนี่ยวอย่างเพียงพอและปริมาณมากภายในแผ่นบอร์ดที่ผลิตขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังนี้

- 1.) รูปร่างและลักษณะของเส้นใยหรือมัดเส้นใย
- 2.) สัดส่วนของขนาดเส้นใยหรือมัดเส้นใยที่ใช้ผสมขนาดใหญ่เล็กต่างๆ กัน
- 3.) ปริมาณความชื้นของเส้นใยไม้
- 4.) ความสมบูรณ์ของเส้นใยหรือมัดเส้นใย
- 5.) ความหนาแน่นของเนื้อเส้นใย
- 6.) ประสิทธิภาพของกาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 7.) ความหนาแน่นของแผ่นที่ผลิตได้
- 8.) ตัวแปรต่างๆ ในกรรมวิธีการเตรียมแผ่นหรือฟอร์มแผ่น
- 9.) ตัวแปรต่างๆ ของสภาวะที่ใช้ในกรรมวิธีการอัด เป็นต้น

2.6.3 การเกิดการแข็งตัวของกาว (Setting of adhesives)

ขณะที่กาวเปียกบนพื้นผิววัสดุไม้ ขบวนการยึดติดจะสมบูรณ์โดยการเปลี่ยนแปลงสภาพของกาวเหลวเป็นกาวแข็ง การเปลี่ยนแปลงสภาพมีทั้งแบบการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลไกใหญ่ๆ ได้แก่

1. การลดปริมาณตัวทำละลาย (Solvent loss) กาวในระบบนี้จะต้องทำให้ตัวทำละลายลดลงหรือหมดไป จนเกิดเป็นแผ่นฟิล์มของกาวล้วนๆ หากเป็นวัสดุที่เป็นรูพรุน เช่น ไม้หรือกระดาษ ตัวทำละลายเช่นน้ำ ก็จะแพร่กระจายลงสู่เนื้อไม้ แต่หากเป็นวัสดุที่ไม่เป็นรูพรุน เช่น พลาสติก ก็จำเป็นต้องปล่อยให้ตัวทำละลายระเหยไปยังอากาศหลังจากเคลือบกาวบนผิว แล้วปล่อยให้ถึงสภาวะการแตะติด (Tacky state) กาวที่ใช้กลไกการแข็งตัวลักษณะนี้ ได้แก่ กาวพอลิไวนิลอะซิเตต และกาวซีเมนต์ (Contact cements)

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

3. การเกิดปฏิกิริยาแข็งตัวทางเคมี (Chemical curing) เป็นกลไกที่เกิดกับกาวที่ใช้รูปของโมโนเมอร์ หรือ พอลิเมอร์ขนาดเล็กจากสภาวะการฉีกของการสังเคราะห์กาว (Intermediate-small polymer condition) แล้วเกิดการเชื่อมโยงเป็นโครงสร้างร่างแห ขณะที่เกิดการแข็งตัว กาวอีพอกซี และกาวพอร์มัลดีไฮด์ จะต้องใช้สารทำให้แข็งตัว (Curing agent) และสารเร่งแข็ง (Catalyst) ผสมกาวในขณะใช้งาน

2.7 การผลิตแผ่นเส้นใยอัด [2]

2.7.1 การทำแผ่น (Mat forming)

ในการทำแผ่นมีกรรมวิธีการผลิตหลักอยู่ 2 วิธีคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. กรรมวิธีการทำแผ่นแบบเปียก (Wet forming) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้น้ำเป็นตัวพาเส้นใยให้ประสานกันเป็นแผ่น โดยใช้เยื่อปนกับน้ำ (Pulp suspension) ในอัตราส่วนเยื่อแห้ง 1-2 % ในส่วนผสมเยื่อปนน้ำ (1-2% Consistency) ที่กระจายทั่วแล้วไปผ่านตะแกรงกรองเยื่อโดยมีการคูดน้ำออกทางด้านใต้ตะแกรง ได้เป็นแผ่นเยื่อเปียกตกค้างอยู่บนตะแกรง แผ่นเส้นใยอัดจากกรรมวิธีนี้จะมีลักษณะผิวเรียบด้านหนึ่งและอีกด้านหนึ่งเป็นรอยตะแกรง

2. กรรมวิธีการทำแผ่นแบบแห้ง (Dry forming) เป็นวิธีที่ใช้อากาศหรือลมเป็นตัวพาเส้นใยให้ประสานกันเป็นแผ่น เครื่องทำแผ่นเส้นใยจะถูกตรวจสอบความสม่ำเสมอทั้งด้านความหนาและน้ำหนัก เนื่องจากแผ่นเส้นใยที่แห้งจะมีความฟู (Bulky) มาก จึงลำเลียงไปทำการอัดเย็นก่อนเพื่อให้แผ่นมีความหนาลดลงและแน่นขึ้น แผ่นเส้นใยอัดที่ได้จะถูกส่งไปเข้าเครื่องอัด (Press loading) เพื่อรอการอัดร้อน (Hot pressing) แผ่นเส้นใยอัดจากกรรมวิธีนี้จะได้ผิวหน้าที่เรียบ 2 หน้า

2.7.2 กรรมวิธีการอัดร้อน (Hot pressing operation)

กรรมวิธีการอัดเป็นขั้นตอนที่สำคัญอย่างมากและขึ้นอยู่กับขบวนการผลิตต่างๆ ที่ผ่านมาอย่างสูง หากแผ่นที่ผ่านการเตรียมอัดไม่มีคุณภาพ เมื่อนำไปผ่านกรรมวิธีการอัดก็จะได้แผ่นเส้นใยที่ไม่ดี ในขั้นตอนการอัดมีปัจจัยทางด้านอุณหภูมิที่ใช้ในการอัด (Press temperatures) รูปร่างและชนิดของเส้นใย (Fiber and particle geometry) ระดับความชื้นและกระจายความชื้นของแผ่นเตรียมอัด (Moisture level and distribution) การถ่ายเทความร้อนภายในแผ่นระหว่างการอัด (Heat transfer or vapor pressure within the board during pressing) ระยะเวลาในการอัด (Pressing closing time) แรงดันในการอัด (Pressure) และการแข็งตัวก่อนหรือหลังการอัดของกาว (Precure and postcure of the resin) ก่อนถูกส่งเข้าไปในช่องอัดของเครื่องอัดร้อน

การควบคุมความหนาของแผ่น ใช้แท่งโลหะขนาดความหนาที่ต้องการกำหนด (Spots or gauge bars) วางไว้ที่ขอบสองด้านของช่องอัดแต่ละช่อง โดยให้แท่งอัดขณะที่ยัดอยู่ สัมผัสแท่งโลหะพอดีจึงหยุดการอัด และใช้ระบบไฮดรอลิกควบคุมความหนา (Hydraulic thickness control system) โดยใช้วาล์วกำหนดตำแหน่งควบคุมความดันของไฮดรอลิกในกระบอกที่ยึดติดกับแท่งอัด

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ได้มีนักวิทยาศาสตร์หลายท่านให้ความสนใจในการศึกษาค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ประโยชน์จากเส้นใยพืชมาผลิตเป็นฉนวนกันความร้อน จึงขอสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นางสาวขวัญเรือน กันทวัง นายพงศ์พันธ์ ตั้งไพบุคลย์วรรณ และนายสุชาติ บุญดำรงธรรม [16] ศึกษาฉนวนใยเซลลูโลสที่อัดโดยเครื่องอัดแผ่นแบบไฮดรอลิกส์ โดยทำการศึกษาวิธีการทำฉนวนเซลลูโลส ออกแบบและคำนวณแบบเครื่องอัดแบบแผ่นเรียบ โดยใช้ระบบไฮดรอลิกส์ ทำการสร้างและประกอบเครื่องอัด และทำการทดสอบ คือ ทำการตั้งค่าระบบไฮดรอลิกส์ที่เหมาะสมต่อการอัดฉนวนใยเซลลูโลสในแต่ละระดับที่กำหนด โดยทดสอบวัสดุฉนวน 3 ชนิด ได้แก่ ชั่งข้าวโพด ผักตบชวา และชานอ้อย วัสดุประสานคือ กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ผสมฮาร์ดเดนเนอร์ แป้งมัน พาราฟิน โดยให้ความหนาแน่นต่างกัน 3 ระดับ แล้วไปทดสอบค่าการนำความร้อนของฉนวน ความร้อนจากการใช้เครื่องมือทดสอบ และโดยใช้สมการนำความร้อนใน 1 มิติ และคำนวณหาความต้านทานความร้อน ทดสอบหาค่าความหนาแน่นของวัสดุก่อนและหลังการอัด โดยการชั่งน้ำหนักวัสดุแล้วนำไปคำนวณ ทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำ โดยการนำวัสดุก่อนและหลังอัดแช่น้ำประมาณ 1 ชั่วโมงแล้วนำมาชั่งน้ำหนัก นำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ จากการทดลองพบว่า ส่วนผสมของผักตบชวา : น้ำ : กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ : พาราฟิน เท่ากับ 2 : 3 : 2 : 1 ที่ระดับความหนา 2.54 เซนติเมตร มีสมบัติการเป็นฉนวนที่ดีที่สุด โดยค่าการนำความร้อนที่ได้เทียบกับมาตรฐาน ISO 8301 และ ASTM C 177 มีค่าเท่ากับ 0.0142 วัตต์ต่อเมตร.เคลวิน หรือมีค่าต้านทานความร้อนเท่ากับ 70.42 เมตร.เคลวินต่อวัตต์ โดยมีค่าความหนาแน่น 669.29 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และการดูดซึมน้ำเท่ากับ 12.75 % มาตรฐานแห่ง ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าวัสดุฉนวนที่มาจากผักตบชวา โดยจะมีค่าการนำความร้อนต่ำ และต้านการถ่ายเทความร้อนสูงสุด ส่วนชานอ้อยและชั่งข้าวโพด มีค่ารองลงมาตามลำดับ เนื่องจากขนาดของเส้นใยของผักตบชวามีขนาดเล็ก มีลักษณะอ่อนนุ่มและละเอียดมากกว่า จึงประสานตัวกับวัสดุประสานได้ดี ทำให้ค่าความหนาแน่นสูง จึงสามารถกันความร้อนไม่ให้ผ่านออกมาอีกด้าน และกาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์เป็นวัสดุประสานที่ดีกว่าแป้งมัน เนื่องจากการผสมที่ 0.5 กิโลกรัมเท่ากัน การประสานของวัสดุที่ใช้กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ จะประสานกันดีกว่า และทนความร้อนได้สูงกว่า จึงทำให้มีค่าการนำความร้อนต่ำ และต้านการถ่ายเทความร้อนสูงกว่า ส่วนการผสมพาราฟินจะพบว่า สามารถจะลดการดูดซึมน้ำของฉนวนใยเซลลูโลสได้ เนื่องจากพาราฟินมีคุณสมบัติในการเคลือบวัสดุ จึงทำให้ลดการดูดซึมน้ำได้ดีกว่าการไม่ผสม

พิทยา ศรีพันธุ์ [17] ผลิตแผ่นใยไม้อัดแข็งจากไม้กระถินเทพา โดยกรรมวิธีเปียก โดยนำไม้กระถินเทพาซึ่งเป็นไม้ที่ตัดสาจากสวนป่า คัดแยกเป็น 2 กลุ่ม คือ ปอกเปลือก และไม่ปอกเปลือกทดสอบ หาค่าปริมาณความชื้นและปริมาณเปลือก นำเข้าเครื่องสับให้เป็นชิ้นไม้สับและนำชิ้นไม้สับไปแยกให้เป็นเชื้อที่เครื่องบดหยาบ หลังจากนั้นจึงนำเชื้อมาบดด้วยเครื่องบดเชื้อ ให้ได้เชื้อไม้กระถินเทพาความละเอียด 28-30 DS และใช้เชื้อไม้เบญจพรรณค่าความละเอียด 24 DS เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำไม้กระถินเทพาส่วนหนึ่งทดลองแยกเชื้อเพื่อหาเปอร์เซ็นต์ผลผลิตเชื้อไม้กระถินเทพา การทำแผ่นจะคำนวณปริมาณเชื้อที่ใช้ผสมกันในอัตราส่วนที่ต้องการ โดยควบคุมความเข้มข้นของเชื้อขณะทำแผ่นให้เท่ากับ 1.25 % นำแผ่นเชื้อเปียกไปอัดเย็นที่ Hydraulic prepress โดยใช้แรงอัดที่หน้าปัด 100 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และอัดร้อนที่เครื่องอัดร้อน จากนั้นนำแผ่นใยไม้อัดสำเร็จไปอบร้อนขึ้นที่เตาอบร้อนขึ้น จึงนำไปตัดเป็นชิ้นทดสอบและตรวจคุณภาพ จากการทดลองพบว่า สัดส่วนไม้กระถินเทพาต่อเชื้อไม้เบญจพรรณ เท่ากับ 30 ต่อ 70 แต่ไม่ควรเกิน 50 % เพราะอาจเกิดตำหนิผิวกระชั้นที่หน้าของแผ่นคล้ายมีเชื้อหยาบลอยปน และยังพบว่าการใช้กระถินเทพาทิ้งเปลือกจะไม่ทำให้เกิดน้ำเสีย ถ้าเทียบกับไม้ยูคาลิปตัส โดยดูจากค่า BOD และ COD ที่เปลือกไม้ยูคาลิปตัสจะมีค่ามากกว่าไม้กระถินเทพา

พิทยา ศรีพันธุ์ วรพรรณ อุดมชัย และ สุรัช มีฤกษ์กิจ [18] ทำแผ่นซีทจากธนบัตรไทย โดย นำธนบัตรเข้าอบที่เตาอบแสงอาทิตย์ประมาณ 1 สัปดาห์ ตรวจวัดค่าความชื้นจนกว่าจะต่ำกว่า 3% ผสมกาว (ซึ่งจะทำการเปรียบเทียบระหว่างยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์และและฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์) และพาราฟินแวกซ์อีมีลชันตามสัดส่วนต่างๆ ในเครื่องผสมนานประมาณ 10 นาที จนเห็นว่าเข้ากันดี สำหรับกาวยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์จะผสมกาวกับพาราฟินแวกซ์อีมีลชัน ก่อนจึงพ่นผสมลงในธนบัตร แต่กาวฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์จะแยกพ่นด้วยพาราฟินแวกซ์อีมีลชันก่อนจึงพ่นกาวตามทีหลัง แล้วซึ่งส่วนผสมทั้งหมดค่อยๆ โรยลงในแบบให้สม่ำเสมอจนหมด วางไม้แบบทับด้านบน ใช้แรงกดทับแผ่นให้แน่น ยกไม้แบบหล่อด้านบนและกรอบไม้แบบออก อัดขึ้นรูปที่เครื่องอัด และนำแผ่นขึ้นไม้อัดสำเร็จทิ้งไว้เย็นและทดสอบคุณภาพ จากการผลิตแผ่นธนบัตรอัดเพื่อใช้แผ่นป้ายปิดประกาศ พบว่า เศษธนบัตรที่ตัดในลักษณะแถบฝอยจะให้คุณสมบัติแผ่นดีกว่า การใช้กาว UF จะทำให้ได้แผ่นที่ให้ความสวยงามมากกว่า PF แม้จะให้ค่าคุณสมบัติด้อยกว่า และควรใช้ในปริมาณ 10 % ขึ้นไป และควรผลิตแผ่นธนบัตรอัดให้มีความหนาแน่นของแผ่น 0.8-0.9 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่อให้การกดหมุนและสวดเย็บทำได้ง่ายเทียบเท่ากับ ไม้แปรรูปที่ใช้ทำกระดานป้ายประกาศทั่วไป

วรรณม อุณจิตติชัย [19] ผลิตแผ่นปาร์ติเคิลบอร์ด จากไม้สะเดาเทียม โดยการผสมกาวกับชิ้นเกล็ดไม้และพาราฟินอีมีลชัน ใช้ผสมในเครื่องผสมที่มีหัวฉีดโดยใช้แรงดันลมประมาณ 3 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จากเครื่องปั๊มลม โดยนำชิ้นเกล็ดไม้ใส่ในเครื่องผสมแล้วนำกาวผสมกับพาราฟินอีมีลชันที่คำนวณไว้เทใส่ในกระบอกรับหัวฉีดในเครื่องผสมที่หมุนพลิกขึ้น ไม้อยู่ตลอดเวลาและปล่อยให้ชิ้นไม้ถูกเคล้าหมุนพลิกไปอีกประมาณ 3-5 นาที นำชิ้นเกล็ดไม้ที่ทราบน้ำหนักจากการคำนวณสำหรับการผลิตแผ่นปาร์ติเคิลบอร์ด 1 แผ่น มาโรยภายในกล่องไม้สี่เหลี่ยม เสร็จแล้วจึงปิดฝาอกไปอัดด้วยเครื่องอัดแบบอัดเกลียวอัดขึ้นเป็นแผ่นเตรียมอัด นำเข้าอัดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษาไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในเครื่องอัดรีด และนำแผ่นปาร์ติเคิลบอร์ดที่ได้ออกจากเครื่องอัดรีดแล้วเก็บวางไว้ในสภาวะบรรยากาศในห้อง 1 สัปดาห์ ก่อนนำไปตัดเป็นชิ้นทดสอบสำหรับทดสอบคุณสมบัติของแผ่นต่อไป โดยศึกษาพบว่า ความหนาแน่นของแผ่นมีอิทธิพลกระทบต่อคุณสมบัติความแข็งแรงด้านความต้านแรงดัด (MOR) ค่ามอดุลัสยืดหยุ่น (MOE) ค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากผิวหน้าหรือแรงเกาะยึดภายในแผ่นที่ผลิต การพองตัวเมื่อแช่น้ำของแผ่นที่ผลิตจากไม้สะเดาเทียม คือหากความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าต่างๆ ดังกล่าวมาทั้งหมดสูงขึ้นตามไปด้วย ดังแสดงในสมการรีเกรสชันในลักษณะเชิงบวก แต่การเพิ่มความหนาแน่นของแผ่นปาร์ติเคิลบอร์ดมากขึ้นทำให้การดูดซึมน้ำของแผ่นทั้งระยะเวลาในการแช่น้ำ 2 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง ลดลง ดังแสดงในสมการรีเกรสชันในลักษณะเชิงลบ

นายวรธรรม อุ่นจิตติชัย นายสัญญา โชคดีพาณิชย์ และนางสาวพัฒน์ เดชวาทิจิตร [15] การผลิตแผ่นเอ็มดีเอฟจากวัชพืชต้นหญ้าสลาบลวง ต้นหญ้าสลาบลวงนำมาใช้ผลิตเป็นแผ่นเอ็มดีเอฟ ด้วยกรรมวิธีแห้ง (Dry process) เป็นแผ่นชนิดผิวเรียบ 2 หน้า (Smooth 2 sides) ไม่มี resin mark โดยใช้กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ที่สังเคราะห์ขึ้นเป็นสารเชื่อมยึดในปริมาณ 13% เทียบกับน้ำหนักระงับแห้ง และสารต้านทานน้ำชนิดพาราฟินอิมัลชันในปริมาณ 0.5% เทียบกับน้ำหนักระงับแห้ง ผลการทดสอบคุณสมบัติของแผ่นสามารถผ่านเกณฑ์กำหนดของมาตรฐาน JIS A 5906-1983: Medium density fiberboards ชนิดสูงสุด 300 type ได้ดี แต่คุณสมบัติของแผ่นทั้งความแข็งแรงและความคงขนาดดีกว่าแผ่นเอ็มดีเอฟจากไม้ยางพาราที่ผลิตเป็นการค้า ควรทำการพัฒนาปรับปรุงคุณสมบัติด้านความคงขนาดของแผ่นให้ดีขึ้น

นายประยูร สุรินทร์ [2] การศึกษากระบวนการผลิตและสมบัติของแผ่นฉนวนความร้อนจากขานอ้อย ทำการขึ้นรูปแผ่นเส้นใยโดยกรรมวิธีแบบแห้ง (Dry process) ใช้ความร้อนทำให้เกิดการเชื่อมยึดระหว่างเส้นใย ในการทดลองได้ใช้กาวยูเรีย - ฟอร์มัลดีไฮด์เป็นตัวเชื่อมประสาน จากการทดลองพบว่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนที่ได้จากขานอ้อยมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ดี แต่ยังคงปรับปรุงโดยคำนึงถึงสภาพการใช้งานจริง ในเรื่องความแข็งแรงและความคงขนาด

คุณจงจิต หิรัญลาภ คุณศโรชา เจริญวัย และ Joseph Khedari [20] ทำแผ่นฉนวนจากเปลือกทุเรียนและกาบมะพร้าว โดยวัตถุดิบที่ใช้จะใช้เป็นเส้นใยของเปลือกดิบ ตัวแปรที่ทำการศึกษา มี 2 ตัวแปรคือ ชนิดของกาว (Urea-formaldehyde 12%, Phenol formaldehyde 6%, Isocyanate 3%) และความหนาแน่นของแผ่น ซึ่งผลของชนิดกาวต่อสมบัติของแผ่นไม่ปรากฏเด่นชัด แต่ความหนาแน่นจะมีความสำคัญมากต่อสมบัติของแผ่นที่ได้ จากการทดลองพบว่าสมบัติด้านความแข็งแรงเชิงกล เช่น ค่าความต้านทานแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น เพิ่มขึ้นเมื่อความหนาแน่นของแผ่นเพิ่มขึ้น แต่ความคงขนาดและค่าการนำความร้อนจะได้สมบัติที่แย่ลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในการวิจัย

- ยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ (Ureaformaldehyde, UF) บริษัท Casco Adhesive (Asia) Pte Ltd, No.14 Sungel kadut way, Synteko® 1352 ได้รับความอนุเคราะห์จากกรมป่าไม้ สมบัติบางประการของยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ ที่ใช้ในงานวิจัยนี้แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สมบัติบางประการของยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

สมบัติ	Urea-formaldehyde, UF
สมบัติของกาว / Hardener Mixture	ความหนืด ที่ 30 °C -2500 + / -500 mPas Brookfield LVT sp. 4.6 rpm
สี	ขาว

- ไดฟีนิลมีเทน ไดไอโซไซยานเนต (Diphenylmethane diisocyanate, MDI) บริษัท AKZO NOBEL Type : 1993 Isocyanate MDI-type ได้รับความอนุเคราะห์จากกรมป่าไม้ สมบัติบางประการของไดฟีนิลมีเทน ไดไอโซไซยานเนตที่ใช้ในงานวิจัยนี้แสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สมบัติบางประการของไดฟีนิลมีเทน ไดไอโซไซยานเนต ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

สมบัติ	Diphenylmethane diisocyanate , MDI
สี	1993 Brownish clear
ความหนืด	1993 approx 900 mPas Brookfield LVT , sp. 2.3 rpm , 25 °C
ความหนาแน่น	1993 approx. 1200 Kg/ m ³
pH	1984/1983 7-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ 10 % w/w (AR GRADE) ใช้เป็นสารเร่ง ได้รับความอนุเคราะห์จากกรมป่าไม้
4. น้ำ
5. หล้าคา (จากร้านฮวนค้ำไม้ไผ่ จ.นนทบุรี)

3.2 อุปกรณ์ในการวิจัย

1. เครื่องวัดความชื้น (Sartorius, Model : MP40, Scientific Paomot Co., Ltd.)
2. เครื่องบดเยื่อและเครื่องกำเนิดไอน้ำ (Steam Boiler, Model : LKE-H010, Type : HE 675, Max working pressure 10 bar, LK Boiler Industry Co., Ltd)
3. เครื่องผสมกาว
4. ตู้อบวัสดุทดแทนไม้
5. เครื่องอัดขึ้นรูป
6. เครื่องชั่ง
7. เครื่องบดย่อย
8. ตะแกรงร่อนและแม่แบบ
9. ถู่มือกันความร้อน
10. แผ่นเทฟลอน (Teflon)
11. นาฬิกาจับเวลา
12. เครื่องฉีดพ่นกาว
13. เครื่องผสมกาว
14. เครื่องปั่นลม
15. เครื่องตะแกรงร่อนแยกขนาดอย่างหยาบ
16. เครื่องร่อนคัดขนาดแบบละเอียด (Sieve analysis)
17. เครื่องตัดขอบ
18. ไมโครมิเตอร์
19. เวอร์เนีย
20. เครื่องทดสอบแรงเชิงกล (Testometric, Type : DBBMTCL-5000 kg, The Testometric Co., Ltd.)
21. แท่นเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

22. กาวร้อนเหลว (Hot melt)

23. แทนให้ความร้อน



รูปที่ 3.1 เครื่องวัดความชื้น
(กรมป่าไม้)



รูปที่ 3.2 เครื่องบดเยื่อ
(กรมป่าไม้)



รูปที่ 3.3 เครื่องบดย่อย (กรมป่าไม้)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมแผ่นฉนวนจากเส้นใยหุ้มผ้า

ทำแผ่นฉนวนจากเส้นใยหุ้มผ้า ที่ระดับความหนาแน่น 270 , 310 , 350 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ขนาด 25×25×12 ลูกบาศก์เซนติเมตร (ตามที่มาตรฐาน JIS A 5905 ระบุ) โดยเลือกใช้กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ (Urea-formaldehyde, UF) 10% และไดฟีนิลมีเทน ไดไอโซไซยาเนต (Diphenylmethane diisocyanate, MDI) 3% เป็นตัวประสาน ตามงานวิจัยที่ผ่านมา เช่น งานวิจัยของ โจเซฟ คาคาโรและคณะ [20] และวรรณกรรม อุ๋นจิตติชัย [19] ซึ่งจะใช้ปริมาณกาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ 8-12 % และกาวเอ็มดีไอ 3-4 % ได้ทำการผลิต ณ ห้องปฏิบัติการงานวัสดุทดแทนไม้ กลุ่มงานพัฒนาอุตสาหกรรมไม้และป้องกันรักษาเนื้อไม้ สำนักวิจัยการจัดการป่าไม้และผลิตผลป่าไม้ กรมป่าไม้ มีขั้นตอนการผลิตดังนี้

3.3.1.1 การเตรียมเส้นใยหุ้มผ้าโดยวิธีความร้อนเชิงกล

- 1.) นำหุ้มผ้าแห้งน้ำหนัก ประมาณ 450-500 กรัม (ทศนิยม 2 ตำแหน่ง) บันทึกลงแล้วล้างน้ำให้สะอาดเพื่อล้างเศษดินและเศษสิ่งสกปรกต่างๆ
- 2.) นำหุ้มผ้าที่ได้ไปบดเยื่อในเครื่องบดเยื่อ ซึ่งเป็นกระบวนการแยกเยื่อโดยวิธีความร้อนเชิงกล (Thermo-mechanical) โดยนำวัตถุดิบหรือหุ้มผ้าใส่บริเวณช่องสำหรับให้ความร้อนอบด้วยไอน้ำภายใต้ความดันไอ ที่ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นทำการปั่นบดชิ้นวัตถุดิบภายใต้อุณหภูมิและความดันสูง (10 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) เป็นเวลา 30 วินาทีที่จะเกิดการแยกออกเป็นเส้นใยหรือกลุ่มของเส้นใย



รูปที่ 3.4 เส้นใยหุ้มผ้าที่ได้จากเครื่องบดเยื่อหรือกระบวนการความร้อนเชิงกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3.) นำเส้นใยหุ้ญาคาที่ได้ไปล้างน้ำสะอาด ริดน้ำออกแล้วนำไปตากแดดให้แห้ง ประมาณ 1-2 วัน และอบให้แห้งอีกครั้งในตู้อบวัสดุทดแทนไม้ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ประมาณ 1 วัน จะได้หุ้ญาคาที่มีลักษณะเป็นเส้นใยยาวและเป็นก้อนที่แห้งมากขึ้น นำเส้นใยที่ได้ไปชั่งน้ำหนัก (ทศนิยม 2 ตำแหน่ง) คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ผลผลิตโดยสุ่มทำ 5 ครั้ง จากทั้งหมด
- 4.) จากนั้นนำเส้นใยหุ้ญาคาที่แห้งแล้วใส่เครื่องบดย่อยครั้งละประมาณ 450 – 500 กรัม (1-2 กำมือ) จะได้เส้นใยหุ้ญาคาที่มีขนาดสั้นลงมากขึ้น

3.3.1.2 การคัดและวัดขนาดเส้นใยหุ้ญาคา

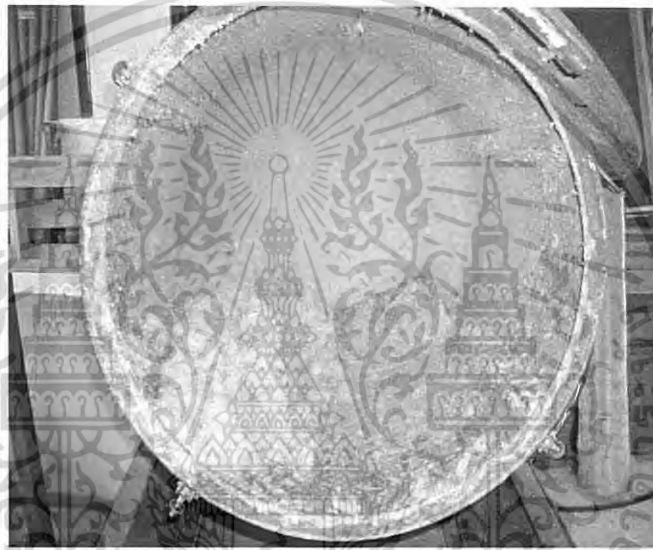
- 1.) นำเส้นใยหุ้ญาคาไปทำการร่อนหยาบเพื่อคัดขนาดด้วยเครื่องตะแกรงร่อนอย่างหยาบ โดยผ่านตะแกรงร่อนทั้งหมด 4 ชั้น ชั้นที่ 1 ตะแกรงมีรูขนาดใหญ่ที่สุด และชั้น 4 ตะแกรงมีรูขนาดเล็กที่สุด (ชั้นบนสุดเป็นเบอร์ 1 และ 2, 3, 4 ตามลำดับ ดังนั้นเส้นใยเบอร์ 1 มีขนาดใหญ่ที่สุด รองลงมาเป็นเบอร์ 2 และ 3 เส้นใยเบอร์ 4 มีขนาดเล็กที่สุด) จากการทดลองได้นำเส้นใยเบอร์ 2 และ 3 ไปใช้งานร่วมกัน ไม่นำเส้นใยเบอร์ 1 และ 4 มาใช้งานร่วมกัน เนื่องจากเส้นใยเบอร์ 1 ลักษณะของเส้นใยหุ้ญาคาจะหยาบและมีขนาดใหญ่ เมื่อนำมาอัดแผ่นจะทำให้บริเวณผิวหน้าไม่เรียบ มีเศษไม้ของเส้นใยที่ใหญ่เกินไปติดอยู่ และเบอร์ 4 เส้นใยหุ้ญาคามีลักษณะเป็นฝุ่น ไม่เกิดการยึดเกาะที่ดี จึงไม่เหมาะที่จะนำมาอัดเป็นแผ่น
- 2.) นำเส้นใยเบอร์ 1 ทำการบดย่อยอีกครั้ง เพื่อให้เส้นใยมีขนาดเล็กลง แล้วนำไปร่อนหยาบเพื่อแยกขนาด จะมีปริมาณเส้นใยเบอร์ 2 และ 3 เพิ่มขึ้น
- 3.) นำเส้นใยหุ้ญาคาเบอร์ 2 และ 3 วัดขนาดโดยใช้เครื่องร่อนคัดขนาดอย่างละเอียด มีขั้นตอนดังนี้
 - 3.1) เรียงลำดับขนาดของตะแกรง โดยให้ขนาดตารางเล็กอยู่ตำแหน่งล่างสุด เรียงจากขนาดเล็กไปหาขนาดใหญ่ โดยแต่ละชั้นมีขนาดดังนี้ 5, 12, 20, 40, 60 และน้อยกว่า 60 เมช
 - 3.2) ชั่งเส้นใยหุ้ญาคาจำนวน 3 ถูง ถูงละ 30 กรัม บันทึกน้ำหนักที่ชั่งได้
 - 3.3) นำเส้นใยที่ชั่งแล้ว 1 ถูง ใส่เครื่องเครื่องร่อนคัดขนาดแบบละเอียด (Sieve - analysis) ชั้นบนสุด จากนั้นปิดฝา แล้วจัดอุปกรณ์โดยวางเครื่องร่อนคัดขนาดแบบละเอียด (Sieve analysis) บนเครื่องเขย่าและลือคให้แน่น
 - 3.4) เปิดสวิทซ์ให้เครื่องทำงานเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นแยกตะแกรงแต่ละชั้นออก
 - 3.5) ชั่งเส้นใยที่มีในแต่ละชั้น บันทึกน้ำหนักที่ชั่งได้
 - 3.6) ทำซ้ำจนครบ 3 ถูง
 - 3.7) คำนวณหาปริมาณของเส้นใยที่มีแต่ละขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.3 การอัดขึ้นรูปแผ่นฉนวนกันความร้อน

1.) นำเส้นใยหุ้มฉนวนที่ได้ไปวัดความชื้นในเครื่องวัดความชื้น โดยเปิดฝา เทียบมาตรฐานเครื่อง จากนั้นใส่หุ้มฉนวนประมาณ 1-2 กรัม ปิดฝาเครื่อง และจดบันทึกค่าที่ได้ ทำการทดลองทั้งหมด 3-5 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ย บันทึกผล

2.) กำหนดน้ำหนักวัสดุต่อแผ่น ของกาวยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ (Urea-formaldehyde, UF) และกาวไดฟีนิลมีเทน ไดไอโซไซยานต (Diphenylmethane diisocyanate, MDI) ตามภาคผนวก ข



รูปที่ 3.5 เครื่องผสมกาว (กรมป่าไม้)

3.) ชั่งเส้นใยหุ้มฉนวนและกาวที่ใช้ ในปริมาณที่เผื่อ 10 % เพื่อป้องกันการสูญเสียเส้นใยหุ้มฉนวนระหว่างการพ่นกาว (สำหรับกาว MDI ไม่ใช่ NH_4Cl) ตามที่คำนวณได้ กำหนดน้ำหนักของวัสดุที่ต้องการได้ดังตารางที่ 3.3-3.4

ตารางที่ 3.3 น้ำหนักของวัสดุเมื่อใช้กาวยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ 10 %

แผ่นที่	ความหนาแน่น (kg/m^3)	น้ำหนักเส้นใยหุ้มฉนวน แห้ง (g)	กาว UF (g)	NH_4Cl (g)
1	270.00	183.76	36.38	3.67
2	310.00	232.50	46.50	4.23
3	350.00	262.50	52.50	4.77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 น้ำหนักของวัสดุเมื่อใช้กาวเอ็มดีไอ 3 %

แผ่นที่	ความหนาแน่น (kg/ m ³)	น้ำหนักเส้นใยหยาบ แห้ง (g)	กาว MDI แห้ง (g)
1	270.00	196.60	5.90
2	310.00	225.73	6.77
3	350.00	254.85	7.64

4.) ผสมในเครื่องผสมกาวโดยใช้แรงลมเป็นตัวช่วยพาให้กาวกระจายไปให้ทั่วมากขึ้น และเปิดเครื่องผสมกาวให้หมุนในขณะที่ทำการผสมด้วย

5.) โรยวัสดุในตะแกรงที่มีขนาด 1.3×1.3 ตารางเซนติเมตร เพื่อไม่ให้หยาบคาติดกันเป็นก้อนหลังจากที่ได้ผสมกาวแล้วลงในแม่แบบ โดยมีแผ่นเหล็กพร้อมด้วยเทฟลอนกันวัสดุติดกับแผ่นเหล็กประกบด้านล่างและด้านบน ควรโรยวัสดุให้สม่ำเสมอทั่วทั้งหมด แล้วกดทับด้วยฝ่าปิดเพื่อให้แน่นมากขึ้น



รูปที่ 3.6 โรยชั้นวัสดุผ่านตะแกรงร้อน



รูปที่ 3.7 วัสดุที่โรยแล้วในแม่แบบ

6.) ใช้แท่งเหล็กตามความหนาที่ต้องการ (1.2 เซนติเมตร) 2 แท่งวางข้างวัสดุเตรียมอัด จากนั้นจึงยกเข้าเครื่องอัดที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส (302 องศาฟาเรนไฮต์) ความดัน 170 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เป็นเวลา 10 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 7.) วางแผ่นฉนวนที่ทำการอัดรีดร้อนเสร็จเรียบร้อยแล้วที่อุณหภูมิห้องอย่างน้อย 3 วัน ตัดขอบแผ่นฉนวนที่ได้ออกด้านละประมาณ 1 เซนติเมตร
- 8.) จะได้แผ่นฉนวนหุ้มาคาและนำไปทำการทดสอบต่อไป

3.3.2 การทดสอบสมบัติของแผ่นฉนวน

ทดสอบแผ่นฉนวนความร้อนจากเส้นใยหุ้มาคาที่ความหนาแน่น 270, 310, 350 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยใช้กาวยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ (Urea-formaldehyde, UF) และไดฟีนิลมีเทนไดไอโซไซยานเนต (Diphenylmethane diisocyanate, MDI) เป็นตัวประสาน ทำการทดสอบตามมาตรฐานต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ

การทดสอบ	มาตรฐาน
การทดสอบสมบัติทางกายภาพ	
1.ความหนาแน่นของแผ่นฉนวน	JIS A 5905
2.การทดสอบความชื้นของแผ่นฉนวน	JIS A 5905
3.การทดสอบค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำ	JIS A 5905
4.การทดสอบค่าการนำความร้อน	***
การทดสอบสมบัติเชิงกล	
1.การทดสอบหาค่าความต้านทานแรงดึงและค่ามอดูลัสยืดหยุ่น	JIS A 5905
2.การทดสอบหาค่าแรงดึงตั้งฉากที่ผิวหน้า	JIS A 5905

*** ค่าการนำความร้อนทดสอบด้วยเทคนิค Thermal Constant Analysis (TCA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.1 ทดสอบหาความหนาแน่นของแผ่นฉนวน

ตามมาตรฐาน JIS A 5905

- 1.) ตัดแผ่นฉนวนความร้อนให้ได้แผ่นชั้นทดสอบขนาด 100x100 ตารางมิลลิเมตร ตามรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แผ่นชั้นทดสอบความหนาแน่น

- 2.) นำชั้นทดสอบแต่ละชั้นมาดำเนินการดังต่อไปนี้
 - 2.1) นำชั้นทดสอบมาชั่งน้ำหนัก โดยให้มีค่าคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.1 กรัม
 - 2.2) นำชั้นทดสอบมาวัดความกว้างและความยาวที่แนวกึ่งกลาง โดยให้มีค่าคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.1 มิลลิเมตร (วัด 4 ตำแหน่งแล้วหาค่าเฉลี่ย)
 - 2.3) วัดความหนาของชั้นทดสอบที่มุมทั้งสี่ ณ ตำแหน่งที่ลึกขอบประมาณ 20 มิลลิเมตร โดยให้มีค่าคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.05 มิลลิเมตร (วัด 4 ตำแหน่งแล้วหาค่าเฉลี่ย)
- 3.) นำค่าที่วัดได้คำนวณหาความหนาแน่นตามสูตร ดังนี้

$$\text{ความหนาแน่น (กก./ม.}^3\text{)} = \frac{\text{น้ำหนักของชั้นทดสอบ (กรัม)} \times 10^6}{\text{กว้าง (มม.)} \times \text{ยาว (มม.)} \times \text{หนา (มม.)}$$

3.3.2.2 ทดสอบความชื้นของแผ่นฉนวน (Moisture content)

ตามมาตรฐาน JIS A 5905

- 1.) นำชั้นทดสอบที่ใช้ทดสอบหาความหนาแน่นในข้อ 3.3.2.1 มาชั่งน้ำหนัก
- 2.) นำชั้นทดสอบเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 103±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.) นำแผ่นทดสอบที่อบได้มาชั่งน้ำหนัก แล้วนำไปคำนวณหาค่าความชื้นของแผ่นทดสอบจากสูตร

$$\text{Moisture content (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนอบ (กรัม)} - \text{น้ำหนักหลังอบ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักหลังอบ (กรัม)}} \times 100$$

3.3.2.3 ทดสอบสมบัติเชิงกล

ทำการทดสอบความแข็งแรงเชิงกล เช่น ค่าความต้านทานแรงดัด (MOR) ค่ามอดูลัสยืดหยุ่น (MOE) และค่าแรงดึงตั้งฉาก และการทดสอบค่าการนำความร้อน เพื่อหาสถานะที่เหมาะสม ดังวิธีการต่อไปนี้ ตามมาตรฐาน JIS A 5905

1. ทดสอบหาค่าความต้านทานแรงดัด (Modulus of rupture) และค่ามอดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of elasticity)

- 1.) ตัดแผ่นฉนวนความร้อนให้ได้แผ่นขึ้นทดสอบขนาด 50 × 200 ตารางมิลลิเมตร
- 2.) วัดขนาดความกว้างและความหนาของแผ่นทดสอบ
- 3.) เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ ใช้โปรแกรม Win Test ตั้งค่าต่างๆ ในเครื่อง
- 4.) วางแผ่นขึ้นทดสอบลงบนเครื่องทดสอบ แล้วทำการทดสอบตามโปรแกรมที่ตั้งไว้ จะได้ค่าความต้านทานแรงดัด และค่ามอดูลัสยืดหยุ่น



รูปที่ 3.9 แผ่นทดสอบค่าความต้านทานแรงดัดและค่ามอดูลัสยืดหยุ่น

เครื่องทดสอบ Testometric : (ได้รับความอนุเคราะห์จากกรมป่าไม้)

เครื่องทดสอบประกอบด้วย

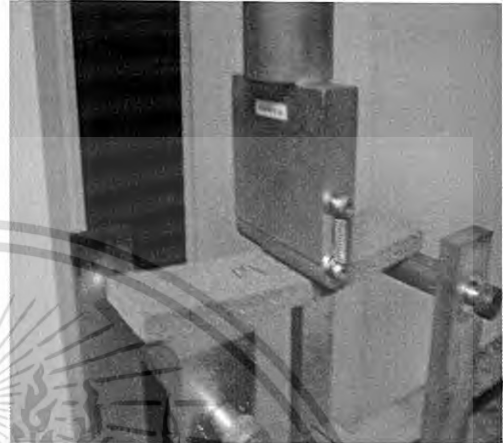
1. ตัวเครื่องทดสอบความแข็งแรงของไม้ มีอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ 2 ชิ้น คือ
 - ตัวกดขึ้นไม้จะต่อเข้ากับด้านบนของเครื่องทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ตัวฐานรองรับชิ้นทดสอบต่อเข้ากับด้านล่างของเครื่องทดสอบ
2. เครื่องคอมพิวเตอร์ โปรแกรม Win Test



รูปที่ 3.10 เครื่องทดสอบแรงเชิงกล



รูปที่ 3.11 ชิ้นงานขณะทดสอบ

2. การทดสอบหาค่าแรงดึงตั้งฉากที่ผิวหน้า (Internal bond)

- 1.) ตัดแผ่นฉนวนความร้อนให้ได้แผ่นชิ้นทดสอบให้ได้ขนาด 50×50 ตารางมิลลิเมตร
- 2.) วัดขนาดความกว้าง ความยาวและความหนาของแผ่นทดสอบ
- 3.) นำแผ่นเหล็กติดแผ่นทดสอบวางบนแท่นให้ความร้อน
- 4.) วางกาวร้อนเหลว (Hot melt) ลงบนแผ่นเหล็กติดแผ่นทดสอบแผ่นละ 6 - 9 เม็ด

รอนกาวหลอมละลาย แล้วนำแผ่นเหล็กติดแผ่นทดสอบออกจากแท่นให้ความร้อน



รูปที่ 3.12 การหลอมกาว



รูปที่ 3.13 ชิ้นงานที่ติดแท่นเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.) นำแผ่นทดสอบที่เตรียมไว้วางติดบนแผ่นเหล็กติดแผ่นทดสอบที่มีกาวแบบประกบกัน แล้วปล่อยให้ชั้นทดสอบเย็น

6.) ตั้งค่าเครื่องทดสอบแรงเชิงกล (Testometric)

อุปกรณ์ที่ใช้กับเครื่องทดสอบ

- ตัวดึงแผ่นทดสอบ ด้านบนและด้านล่าง

7.) นำชิ้นงานที่ทดสอบที่เตรียมไว้เข้าเครื่องทดสอบ ปรับชั้นทดสอบให้ได้ระยะพอดีกับเครื่อง แล้วทำการทดสอบ



รูปที่ 3.14 ชิ้นงานขณะทดสอบ



รูปที่ 3.15 ชิ้นงานหลังทดสอบ

8.) จดบันทึกค่า F ที่ได้ เพื่อคำนวณหาค่าแรงดึงต่งฉากที่ผิวหน้าตามสูตรต่อไปนี้

สูตรคำนวณหาค่าแรงดึงต่งฉากกับผิวหน้า

$$\text{Internal bond} = F / (\text{กว้าง} \times \text{ยาว})$$

F = ค่า F ที่ได้จากเครื่องทดสอบ

กว้าง = ความกว้างของแผ่นชิ้นทดสอบ

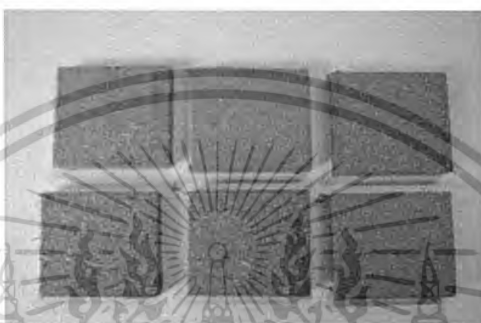
ยาว = ความยาวของแผ่นชิ้นทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.4 ทดสอบสมบัติการดูดซึมน้ำที่พื้นผิวและการพองตัวเมื่อแช่น้ำ

ตามมาตรฐาน JIS A 5905

- 1.) ตัดแผ่นฉนวนความร้อนให้ได้แผ่นขึ้นทดสอบขนาด 50x50 ตารางมิลลิเมตร
- 2.) วัดขนาดความกว้าง ความยาว ความหนา (วัด 4 ตำแหน่งแล้วหาค่าเฉลี่ย) และชั่งน้ำหนักของแผ่นขึ้นทดสอบ



รูปที่ 3.16 แผ่นทดสอบการพองตัวเมื่อแช่น้ำ

- 3.) นำแผ่นขึ้นทดสอบไปแช่น้ำในภาชนะที่บรรจุน้ำที่นิ่งที่อุณหภูมิห้อง โดยวางแผ่นขึ้นทดสอบในระนาบเดียวกับระดับผิวน้ำและขอบบนอยู่ใต้ผิวน้ำประมาณ 20 มิลลิเมตร ขึ้นทดสอบแต่ละชิ้นต้องวางห่างกันและห่างจากผนังภาชนะพอสมควร



รูปที่ 3.17 การแช่แผ่นทดสอบ

- 4.) แช่แผ่นขึ้นทดสอบนาน 2 ชั่วโมง นำแผ่นขึ้นทดสอบขึ้นจากน้ำ วัดความหนาของแผ่นขึ้นทดสอบหลังแช่น้ำ 2 ชั่วโมง ค่าที่ได้นำไปแทนค่าตามสูตรดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตรการหาค่าการพองตัว

$$SW = \{(t_2 - t_1) / t_1\} \times 100$$

เมื่อ SW คือ ค่าการดูดซึมน้ำ (%)

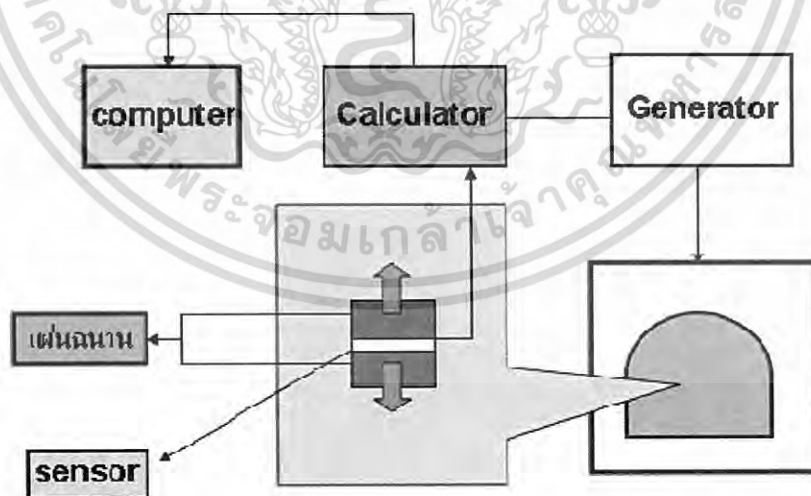
t_1 คือ ความหนาก่อนแช่น้ำ (มิลลิเมตร)

t_2 คือ ความหนาหลังแช่น้ำ (มิลลิเมตร)

3.3.2.5 ทดสอบค่าการนำความร้อน (Thermal conductivity)

ทำการทดสอบ ณ ศูนย์โลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) ด้วยเครื่อง TCA-(Hot Disk Thermal Constant Analyser) โดยมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

- 1.) ทำการทดสอบโดยโปรแกรม Hot disk TCA
- 2.) คัดเลือกหาสถานะที่เหมาะสม คือ cut of power (W), measuring time (s) และส่งข้อมูลไปในส่วนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) เพื่อส่งกำลังไฟฟ้าตามเวลาที่กำหนด จากนั้นเครื่องตรวจจับสัญญาณ (Sensor) จะปล่อยกำลังไฟฟ้าออกไปยังแผ่นจนวนความร้อนทั้งด้านบนและด้านล่าง และผลที่ได้จะส่งไปยังส่วนเครื่องคำนวณผล (Calculator) เพื่อคำนวณผลการทดลอง และข้อมูลที่ได้จะถูกส่งกลับไปยังคอมพิวเตอร์ต่อไป



รูปที่ 3.18 แผนผังแสดงการทำงานของเครื่อง Thermal Constant Analyzer (TCA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการผลิตแผ่นฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยหุ้ญาคา โดยใช้กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ (ยูเอฟ) 10% และกาวไคพีนิลมีเทน ไดไอโซไซยาเนต (เอ็มดีไอ) 3% เป็นตัวประสาน ศึกษาผลของความหนาแน่นที่มีต่อสมบัติเชิงกล การพองตัวเมื่อแช่น้ำ และสมบัติทางความร้อนของแผ่นฉนวน ในการทดสอบหาสมบัติต่างๆของแผ่นฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยหุ้ญาคา ตัวแปรที่มีผลต่อสมบัติของแผ่นฉนวนที่ทำการศึกษา มี 2 ตัวแปร คือ ผลของความหนาแน่น และผลของชนิดกาวที่ใช้ ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตัวแปรที่มีผลต่อสมบัติของแผ่นฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยหุ้ญาคาที่ทำการศึกษา

ตัวอย่างที่	ชนิดกาว	ความหนาแน่น (kg/m ³)
1	ยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์	270
2	ยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์	310
3	ยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์	350
1	เอ็มดีไอ	270
2	เอ็มดีไอ	310
3	เอ็มดีไอ	350

การทดสอบสมบัติของแผ่นฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยหุ้ญาคาที่ทำการศึกษามีดังนี้ คือ ความหนาแน่นของแผ่นฉนวน, ความชื้นของแผ่นฉนวน, ความต้านทานแรงค้ดของแผ่นฉนวน, ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของแผ่นฉนวน, ค่าแรงดึงต้งฉากของแผ่นฉนวน, การพองตัวเมื่อแช่น้ำ และค่าการนำความร้อน ผลการทดลองต่างๆแสดงได้ดังนี้

4.1 เปรอ์เซ็นต์เฉลี่ยของเส้นใยหุ้ญาคาที่ได้จากการนำหุ้ญาคามาบดด้วยกรรมวิธีความร้อนเชิงกล

ในขั้นตอนการเตรียมเส้นใยหุ้ญาคาโดยใช้เครื่องบดเคือความร้อนเชิงกล โดยนำหุ้ญาคาแห้งประมาณ 450-500 กรัม เข้าเครื่องบดเคือความร้อนเชิงกล ด้วยแรงดันไอน้ำภายใต้ความดัน 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที ทำการปั่นบดชิ้นวัสดุคิบภายใต้อุณหภูมิและความดันสูง 30 วินาที นำเส้นใยที่ได้ไปตากแดดให้แห้งและนำมาชั่งน้ำหนัก ซึ่งสามารถคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ผลผลิตได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 เปอร์เซนต์ผลผลิตของเส้นใยหญ้าคา

ครั้งที่	น้ำหนักหญ้าคาก่อนบดเยื่อ (กรัม)	น้ำหนักหญ้าคาล้างบดเยื่อ (กรัม)	เปอร์เซนต์ผลผลิต (%)
1	493.7	285.9	57.91
2	465.9	343.6	73.75
3	479.5	319.0	66.53
4	452.8	297.4	65.68
5	489.5	278.7	56.94
เฉลี่ย	476.3	304.9	64.16

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.2 พบว่า เมื่อหญ้าคาผ่านการทำเยื่อด้วยกรรมวิธีความร้อนเชิงกล จะได้เปอร์เซนต์ผลผลิตเฉลี่ยของเส้นใยหญ้าคาเท่ากับ 64.16% จะเห็นได้ว่ามีน้ำหนักลดลงคิดเป็น 35.84 % น้ำหนักที่ลดลงเกิดจากการที่ใช้อุณหภูมิและความดันที่สูง ทำให้สารเช่น ลิกนิน โอลิโกเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส หลุดออกจากหญ้าคา และสามารถทำให้สารบางชนิดถูกย่อยสลายไป

4.2 ปริมาณของเส้นใยหญ้าคาในแต่ละขนาด

ในขั้นตอนการคัดขนาดเส้นใยหลังจากการร่อนหญ้า นำเส้นใยเบอร์ 2 และ 3 ทำการวัดขนาดร่วมกัน เพื่อหาช่วงขนาดของเส้นใยที่มีปริมาณมากที่สุด ปริมาณของเส้นใยหญ้าคาในแต่ละขนาดแสดงได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณของเส้นใยหยาบคายแต่ละขนาด

ตัวอย่าง	ตะแกรง (เมช)	ขนาดรูตะแกรงเฉลี่ย (มม.)	ปริมาณเส้นใย หยาบคาย (%)
เส้นใยหยาบคาย	ใหญ่กว่า 5	4.000	6.88
	5-12	2.840	0.44
	12-20	1.275	24.03
	20-40	0.638	37.98
	40-60	0.337	17.48
	เล็กกว่า 60	0.250	13.20

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.3 พบว่า ช่วงขนาดของเส้นใยที่มีปริมาณเส้นใยหยาบคายมากที่สุดคือ ช่วง 20-40 เมช แสดงว่า ใยเบอร์ 2 และ 3 ที่นำมาใช้งานส่วนใหญ่จะมีขนาดอยู่ในช่วง 20-40 เมช

4.3 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยหยาบคาย

การทดสอบหาองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยหยาบคาย ทำการทดสอบโดยนำใยหยาบคายเบอร์ 4 จากเครื่องตะแกรงร่อนอย่างหยาบประมาณ 1 กิโลกรัม ทำการทดสอบ ณ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร ได้ผลดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยหยาบคาย

องค์ประกอบทางเคมี	ผล	มาตรฐาน	หน่วย
1. การละลายในแอลกอฮอล์ – เบนซิน	2.79	TAPPI-T204-cm-97	% โดยน้ำหนัก อบแห้ง
2. การละลายในแอลกอฮอล์	0.31	TAPPI-T264-cm-97	% โดยน้ำหนัก อบแห้ง
3. การละลายในน้ำร้อน	7.01	TAPPI-T207-om-93	% โดยน้ำหนัก อบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยหูก้าคา (ต่อ)

องค์ประกอบทางเคมี	ผล	มาตรฐาน	หน่วย
4. การละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์	32.53	TAPPI-T212-om-98	% โดยน้ำหนัก อบแห้ง
5. ปริมาณจีเถ้า	4.81	TAPPI-T211-om-93	% โดยน้ำหนัก อบแห้ง
6. ปริมาณไฮโดรเซลลูโลส	81.25	Acid chlorite Method of Browing	% โดยน้ำหนัก อบแห้ง
7. ปริมาณลิกนิน	20.04	TAPPI-T222-cm-98	% โดยน้ำหนัก อบแห้ง
8. ปริมาณแอลฟาเซลลูโลส	61.40	TAPPI-T203-cm-93	% โดยน้ำหนัก อบแห้ง
9. ปริมาณเพนโตแซน	27.36	TAPPI-T223-cm-84	% โดยน้ำหนัก อบแห้ง

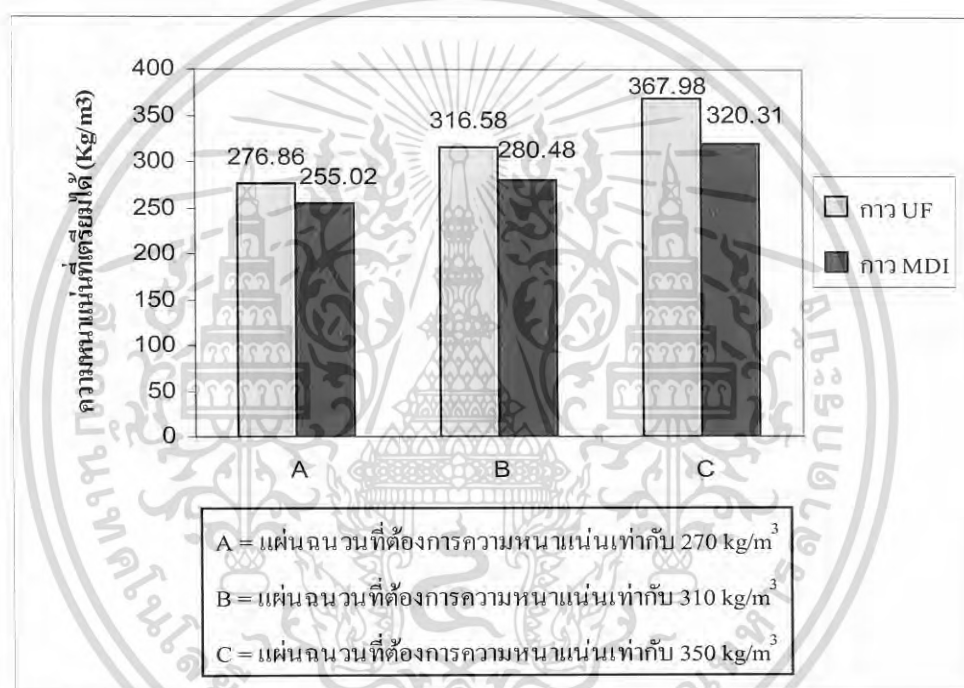
จากผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 4.4 พบว่า เส้นใยหูก้าคา มีปริมาณไฮโดรเซลลูโลสเท่ากับ 81.25% และมีลิกนินเท่ากับ 20.04% โดยไฮโดรเซลลูโลสจะประกอบด้วย แอลฟาเซลลูโลส 61.40% และเพนโตแซน 27.36% ในส่วนของการละลายในแอลกอฮอล์-เบนซิน และแอลกอฮอล์ ทำการทดสอบด้วยเครื่อง Extraction System (รุ่น B-811 บริษัท BUCHI) แอลกอฮอล์ที่ใช้คือ เอทานอลบริสุทธิ์ โดยสารที่ละลายออกมากับแอลกอฮอล์-เบนซิน ได้แก่ จีเถ้า ไขมัน บางส่วนของชั้น และกัม สารที่ละลายออกมากับแอลกอฮอล์และน้ำร้อน ได้แก่ แทนนิน กัม แป้ง และสารมีสี สารที่ละลายออกมากับโซเดียมไฮดรอกไซด์ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรตที่มีมวลโมเลกุลต่ำ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารประเภทเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลสที่ถูกทำลายโดยการไฮโดรไลซ์ ซึ่งการละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จะเป็นค่าสำหรับวัดปริมาณการผูกของไม้ อันเนื่องมาจากการทำลายของธรรมชาติ และสุดท้ายปริมาณจีเถ้า ส่วนใหญ่จะประกอบด้วยสารอนินทรีย์จากเยื่อ เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม เป็นต้น [21]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การทดสอบหาความหนาแน่นและความชื้นของแผ่นฉนวนกันความร้อนที่เตรียมได้

4.4.1 การทดสอบหาความหนาแน่นของแผ่นฉนวนกันความร้อนที่เตรียมได้

ทดสอบหาความหนาแน่นของแผ่นฉนวนที่เตรียมได้จากการเตรียมแผ่นฉนวนความร้อนที่ใช้กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ 10 % และกาวยเอ็มดีไอ 3 % เพื่อให้ได้ความหนาแน่น 270, 310, 350 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยตัดชิ้นงานทดสอบขนาด 10x10 ตารางเซนติเมตร ซึ่งมีความหนาแน่นที่เท่ากับ 12 เซนติเมตร ชั่งน้ำหนัก และคำนวณหาความหนาแน่น ได้ผลดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ค่าความหนาแน่นของแผ่นฉนวนกันความร้อนที่เตรียมได้

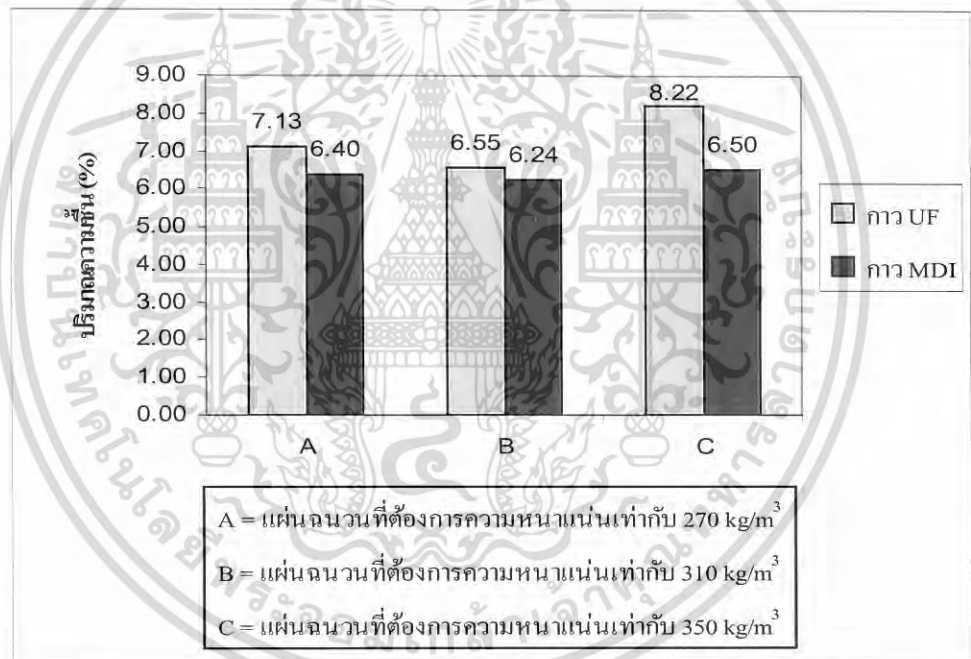
จากผลการทดลองดังรูปที่ 4.1 พบว่า ความหนาแน่นของแผ่นฉนวนที่ใช้กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์เป็นตัวประสาน มีค่าใกล้เคียงกับความหนาแน่นที่ต้องการ ส่วนความหนาแน่นของแผ่นฉนวนที่ใช้กาวยเอ็มดีไอเป็นตัวประสาน มีค่าน้อยกว่าความหนาแน่นที่ต้องการ โดยสามารถอธิบายได้ว่า เป็นผลเนื่องมาจากปริมาณกาวยที่ใช้ โดยแผ่นฉนวนที่ใช้กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ ใช้ปริมาณกาวย 10% ซึ่งมีปริมาณเนื้อกาวยมากพอที่จะทำให้เกิดการกระจายตัวได้ทั่วถึงและเกิดการยึดติดกันได้ดี จึงทำให้ได้แผ่นฉนวนที่มีความหนาแน่นใกล้เคียงกับค่าที่ต้องการ ส่วนแผ่นฉนวนที่ใช้กาวยเอ็มดีไอ ใช้ปริมาณกาวย 3% ซึ่งคาดว่าเนื้อกาวยไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดการจับยึดกับเส้นใยได้ทั่วบริเวณ เนื่องจากเส้นใยชนิดเยื่อความร้อนแข็งกล มีขนาดเล็ก พื้นที่ผิวมาก ดังนั้นต้องใช้กาวยอกสารนี้เป็นอกสารที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปริมาณมาก เพื่อให้เกิดการยึดติดที่ดี อย่างไรก็ตามจากการทดลองแผ่นฉนวนที่ใช้กาวเอ็มดีไอ 3% ทำให้เกิดการยึดติดน้อย มีช่องว่างมาก ดังนั้นเมื่อทำการอัดเป็นแผ่นฉนวนแล้วทิ้งไว้ แผ่นฉนวนจะเกิดการคืนตัว จึงส่งผลให้แผ่นฉนวนที่ใช้กาวเอ็มดีไอเป็นตัวประสาน เตรียมได้ความหนาแน่นน้อยกว่าที่ต้องการ

4.4.2 การทดสอบหาความชื้นของแผ่นฉนวนกันความร้อนที่เตรียมได้

การทดสอบหาความชื้นโดยนำตัวอย่างทดสอบที่ใช้ทดสอบหาความหนาแน่นมาอบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส นำน้ำหนักก่อนอบและหลังอบมาคำนวณหาความชื้นได้ผลดังรูปที่

4.2



รูปที่ 4.2 ปริมาณความชื้นของแผ่นฉนวนกันความร้อนที่เตรียมได้

จากการทดลองพบว่า แผ่นฉนวนกันความร้อนที่ผลิตได้มีปริมาณความชื้น เนื่องจากเส้นใยเซลลูโลสสามารถดูดน้ำได้ และชนิดกาวที่ใช้ คือ กาวยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์และกาวเอ็มดีไอ สามารถดูดน้ำได้เช่นกัน จากผลการทดลองดังรูปที่ 4.2 พบว่า แผ่นฉนวนกันความร้อนที่ใช้กาวยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์เป็นตัวประสาน มีปริมาณความชื้นมากกว่าแผ่นฉนวนที่ใช้กาวเอ็มดีไอเป็นตัวประสานที่ทุกๆความหนาแน่น ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากปริมาณกาวยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ที่ใช้ในปริมาณที่มากกว่า อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาปริมาณความชื้นที่ค่าความหนาแน่นต่างๆกัน พบว่ามีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณความชื้นไม่เท่ากัน คาดว่าเป็นผลจากการใช้ระยะเวลาในการเก็บแผ่นตัวอย่างก่อนนำมาทดสอบไม่เท่ากัน แผ่นฉนวนที่ใช้เวลาในการเก็บนานกว่าจะดูดความชื้นได้มากกว่า

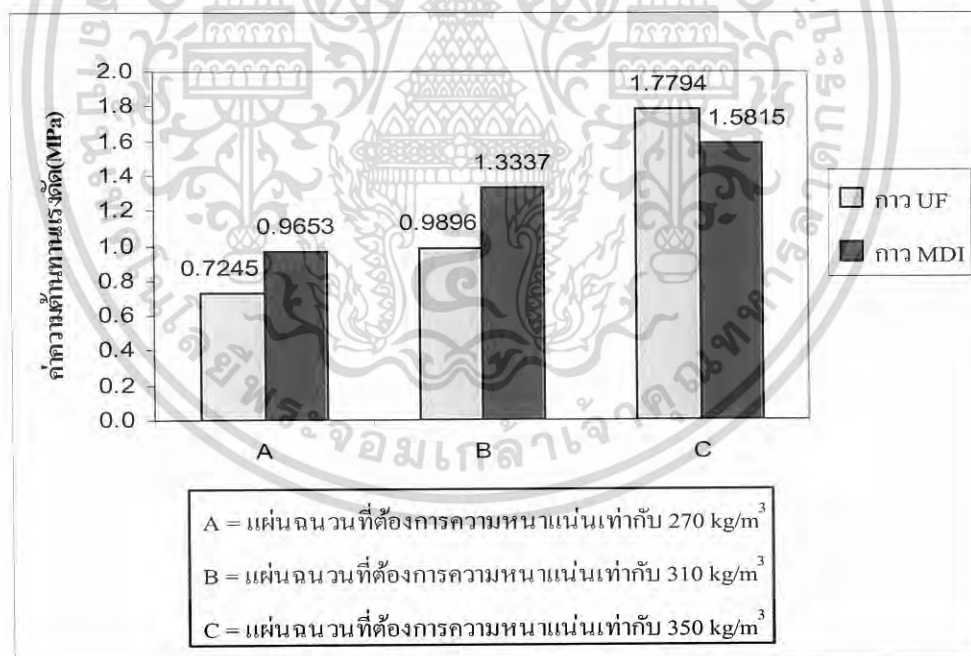
เมื่อนำค่าปริมาณความชื้นที่ได้จากการทดลองเทียบกับค่ามาตรฐานของ JIS A 5905 มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ระบุ คืออยู่ระหว่าง 5 – 13 %

4.5 การศึกษาผลการทดสอบสมบัติเชิงกล

การทดสอบสมบัติเชิงกล โดยทำการทดสอบ ค่าความต้านทานแรงดัด โมดูลัสยืดหยุ่นและค่าแรงดัดดึงจาก ซึ่งได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

4.5.1 ผลของความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นของแผ่นฉนวนกันความร้อนที่มีต่อค่าความต้านทานแรงดัด

การทดสอบหาค่าความต้านทานแรงดัดของแผ่นฉนวนความร้อนที่ใช้กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ 10 % และกาวเอ็มดีไอ 3 % เป็นตัวประสาน ที่ความหนาแน่น 270, 310, 350 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยตัดชิ้นทดสอบขนาด 5x20 ตารางเซนติเมตร จากนั้นนำไปทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงเชิงกล (Testometric) ได้ผลดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ผลของความหนาแน่นต่อค่าความต้านทานแรงดัดเมื่อใช้กาว UF10% และกาว MDI 3%

จากผลการทดลองดังรูปที่ 4.3 เมื่อพิจารณาถึงผลของความหนาแน่นของแผ่นฉนวนกันความร้อนที่เพิ่มขึ้น ที่มีผลต่อค่าความต้านทานแรงดัด พบว่า เมื่อความหนาแน่นของแผ่นฉนวนกันความร้อนเพิ่มขึ้นจาก 270 ถึง 350 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร พบว่าค่าความต้านทานแรงดัดมีค่ามาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

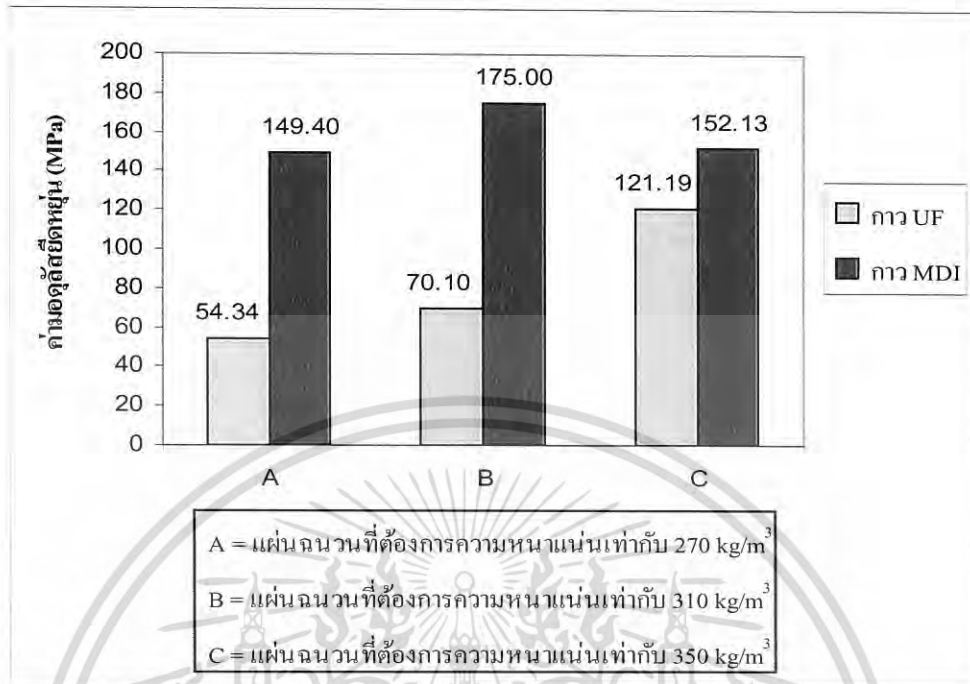
ขึ้น โดยสามารถอธิบายได้ว่า แผ่นฉนวนกันความร้อนมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น จากการเตรียมโดยใช้ปริมาณเส้นใยหุ้ค่าที่มากขึ้น ทำให้ช่องว่างภายในแผ่นฉนวนลดลงและเกิดการส่งผ่านของแรงกระทำได้ดีขึ้น อีกทั้งปริมาณเส้นใยหุ้ค่าที่มากขึ้น จะทำให้แผ่นฉนวนกันความร้อนมีการยึดเกาะที่ดีขึ้น จึงสามารถต้านทานแรงดัดได้มากขึ้น สอดคล้องกับผลงานวิจัยของ พิทยา ศรีพันธุ์ [17], วรธรรม อุ๋นจิตติชัย [19], และจงจิต หิริญฎลาภและคณะ [20] ซึ่งพบว่าเมื่อความหนาแน่นของแผ่น ไม้้อดมีค่ามากขึ้น ค่าความต้านทานแรงดัดมีค่ามากขึ้นเช่นกัน

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแผ่นฉนวนที่ใช้กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์กับแผ่นฉนวนที่ใช้กาวยเอ็มดีไอเป็นตัวประสาน พบว่า ค่าความต้านทานแรงดัดของแผ่นฉนวนที่ใช้กาวยเอ็มดีไอ จะมีค่ามากกว่าแผ่นฉนวนที่ใช้กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ เนื่องจากกาวยเอ็มดีไอมีกลไกการยึดติดของกาวยแบบเกิดพันธะโคเวเลนต์กับหมู่ไฮดรอกซิลของเส้นใยหุ้ค่า จึงมีความแข็งแรงมากกว่ากลไกการยึดติดของกาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ซึ่งเป็นกลไกการยึดติดเชิงกล อย่างไรก็ตาม จากรูปที่ 4.3 เมื่อพิจารณาเฉพาะแผ่นฉนวนที่ความหนาแน่น 350 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร พบว่า แผ่นฉนวนที่ใช้กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์มีค่าความต้านทานแรงดัดมากกว่าแผ่นฉนวนที่ใช้กาวยเอ็มดีไอ ที่เป็นเช่นนี้ คาดว่า อาจเกิดจากการที่ใช้กาวยเอ็มดีไอในปริมาณที่น้อยเกินไป คือใช้ปริมาณเพียง 3% เมื่อแผ่นฉนวนมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นทำให้กาวยไม่เพียงพอต่อการจับยึดกับเส้นใยได้ทั่วถึง ทำให้แผ่นฉนวนมีความแข็งแรงลดลง ประกอบกับแผ่นฉนวนที่ใช้กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ใช้ปริมาณกาวยที่มากกว่า เมื่อความหนาแน่นเพิ่มขึ้นจึงมีปริมาณกาวยเพียงพอทำให้เกิดการยึดติดเชิงกลได้ทั่วบริเวณมากกว่า จึงทำให้ค่าความต้านทานแรงดัดของแผ่นฉนวนที่ใช้กาวยเอ็มดีไอมีค่าน้อยกว่าแผ่นฉนวนที่ใช้กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบกับมาตรฐานของ JIS A 5905 พบว่าแผ่นฉนวนกันความร้อนมีค่าความต้านทานแรงดัดไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดไว้ คือ ถ้าแผ่นฉนวนกันความร้อนมีความหนาแน่นของแผ่นน้อยกว่า 350 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าความต้านทานแรงดัดต้องมีค่ามากกว่า 2 MPa

4.5.2 ผลของความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นของแผ่นฉนวนกันความร้อนที่มีต่อค่ามอดูลัสยืดหยุ่น

การทดสอบหาค่ามอดูลัสยืดหยุ่น โดยใช้ชิ้นทดสอบเดียวกับที่ใช้ทดสอบหาความต้านทานแรงดัด โดยเครื่องทดสอบแรงเชิงกล (Testometric) ได้ผลดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ผลของความหนาแน่นต่อค่ามอดูลัสยืดหยุ่น เมื่อใช้กาว UF 10% และกาว MDI 3%

จากผลการทดลองดังรูปที่ 4.4 เมื่อพิจารณาถึงผลของความหนาแน่นของแผ่นฉนวนกันความร้อนที่เพิ่มขึ้น ที่มีต่อค่ามอดูลัสยืดหยุ่น พบว่าเมื่อความหนาแน่นของแผ่นฉนวนกันความร้อนเพิ่มขึ้นจาก 270 ถึง 350 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นมีแนวโน้มมากขึ้น โดยสามารถอธิบายได้เช่นเดียวกับผลของความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นที่มีต่อค่าความต้านทานแรงดัด ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยของพิทยา ศรีพันธุ์ [17], วรธรรม อุ่นจิตติชัย [19], และจงจิต หิรัญลาภ และคณะ [20] ซึ่งพบว่าเมื่อความหนาแน่นของแผ่นไม้อัดมีค่ามากขึ้น ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นมีค่ามากขึ้นเช่นกัน

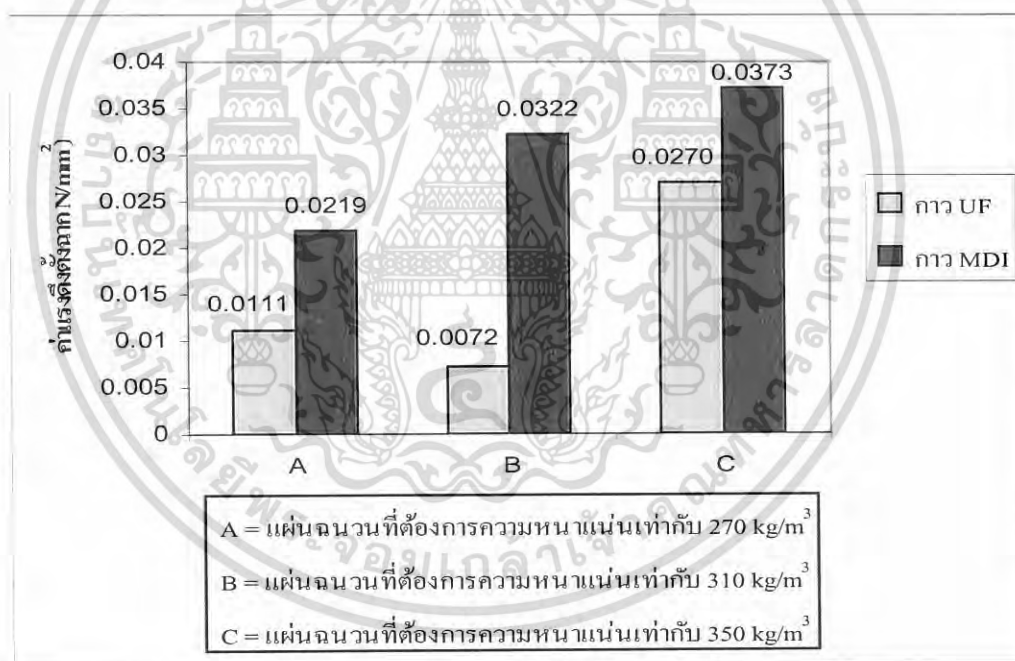
เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแผ่นฉนวนที่ใช้กาวยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์กับแผ่นฉนวนที่ใช้กาวเอ็มดีไอเป็นตัวประสาน พบว่า ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของแผ่นฉนวนที่ใช้กาวเอ็มดีไอ จะมีค่ามากกว่าแผ่นฉนวนที่ใช้กาวยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ เนื่องจากกาวเอ็มดีไอมีกลไกการยึดติดของกาวแบบเกิดพันธะ โควาเลนต์กับหมู่ไฮดรอกซิลของเส้นใยหยาบๆ จึงมีความแข็งแรงมากกว่ากลไกการยึดติดของกาวยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ซึ่งเป็นกลไกการยึดติดเชิงกล ดังที่ได้อธิบายไว้ในผลของความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นต่อค่าความต้านทานแรงดัดเมื่อใช้กาวยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ 10% และกาวเอ็มดีไอ 3%

เมื่อพิจารณาเฉพาะแผ่นฉนวนที่ใช้กาวเอ็มดีไอ พบว่า แผ่นฉนวนที่ความหนาแน่น 350 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีค่ามอดูลัสยืดหยุ่นต่ำกว่าแผ่นฉนวนที่ความหนาแน่น 310 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลูกบาศก์เมตร ซึ่งโดยปกติ เมื่อความหนาแน่นของแผ่นฉนวนเพิ่มขึ้นค่ามอดุลัสยืดหยุ่นจะมีค่าเพิ่มขึ้น ที่เป็นเช่นนี้คาดว่าอาจเกิดจากการที่ใช้กาวในปริมาณที่น้อยเกินไป คือ ใช้ปริมาณเพียง 3% เมื่อแผ่นฉนวนมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นทำให้กาวไม่เพียงพอต่อการจับยึดกับเส้นใยได้ทั่ว ทำให้แผ่นฉนวนมีความแข็งแรงลดลง จึงทำให้มอดุลัสยืดหยุ่นของแผ่นฉนวนที่ความหนาแน่น 350 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีค่าลดลง

4.5.3 ผลของความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นของแผ่นฉนวนกับความร้อนที่มีต่อค่าแรงดึงตั้งฉาก

การทดสอบค่าแรงดึงตั้งฉากของแผ่นฉนวนความร้อนที่ใช้กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ 10% และกาวเอ็มดีไอ 3% เป็นตัวประสาน ที่ความหนาแน่น 270, 310, 350 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยตัดชิ้นตัวอย่างทดสอบขนาด 5x5 ตารางเซนติเมตร แล้วนำไปทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงเชิงกล (Testometric) ได้ผลดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ผลของความหนาแน่นต่อค่าแรงดึงตั้งฉาก (MPa) เมื่อใช้กาว UF 10% และกาว MDI 3%

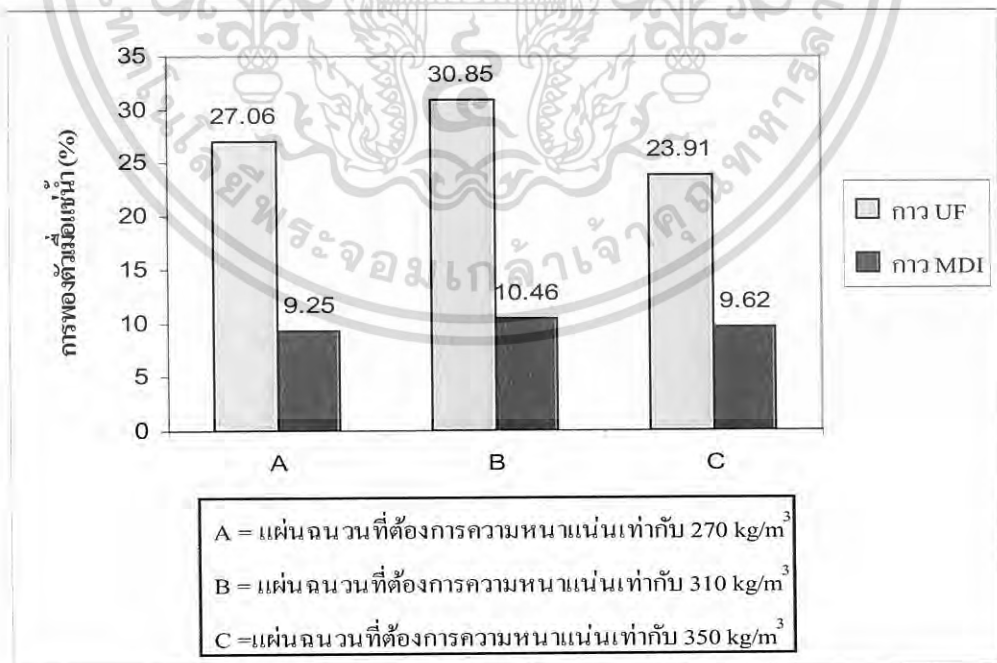
ค่าแรงดึงตั้งฉาก (Internal bond) เป็นค่าที่บอกถึงการยึดเกาะของเส้นใยของแผ่นฉนวนกันความร้อน จากรูปที่ 4.5 เมื่อพิจารณาถึงผลของความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นของแผ่นฉนวนกันความร้อน ที่มีต่อค่าแรงดึงตั้งฉาก พบว่าเมื่อความหนาแน่นของแผ่นฉนวนกันความร้อนเพิ่มขึ้น ค่าแรงดึงตั้งฉากมีแนวโน้มมากขึ้น โดยสามารถอธิบายได้เช่นเดียวกับผลของความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นที่มีต่อค่าความต้านทานแรงตัดและค่ามอดุลัสยืดหยุ่น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ วรรณม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุ้นจิตติชัย [19], และจงจิต หิรัญลาภและคณะ [20] ซึ่งพบว่าเมื่อความหนาแน่นของแผ่นไม้อัดมีค่ามากขึ้น ค่าแรงดึงตั้งฉากมีค่ามากขึ้นเช่นกัน

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแผ่นฉนวนที่ใช้กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์กับแผ่นฉนวนที่ใช้กาวยเอ็มดีไอเป็นตัวประสาน พบว่า ค่าแรงดึงตั้งฉากของแผ่นฉนวนที่ใช้กาวยเอ็มดีไอ มีค่ามากกว่าแผ่นฉนวนที่ใช้กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ ซึ่งอธิบายได้เช่นเดียวกับผลของความหนาแน่นต่อค่าความต้านทานแรงคด และค่ามอดุลัสยืดหยุ่นเมื่อใช้กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ 10% และกาวยเอ็มดีไอ 3 % ว่า เนื่องจากกาวยเอ็มดีไอมีกลไกการยึดติดของกาวยแบบเกิดพันธะโคเวเลนต์กับหมู่ไฮดรอกซิลของเส้นใยหยาบๆ จึงมีความแข็งแรงมากกว่ากลไกการยึดติดของกาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ซึ่งเป็นกลไกการยึดติดเชิงกล

4.6 การศึกษาผลการทดสอบการพองตัวเมื่อแช่น้ำ (%Thickness swell)

การทดสอบหาค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำของแผ่นฉนวนความร้อนที่ใช้กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ 10 % และกาวยเอ็มดีไอ 3 % ที่ความหนาแน่น 270, 310, 350 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยตัดชิ้นตัวอย่างทดสอบขนาด 5x5 ตารางเซนติเมตร จากนั้นนำไปแช่น้ำเป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำความหนาของชิ้นทดสอบก่อนแช่น้ำและหลังแช่น้ำมาคำนวณหาค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำ ได้ผลดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ผลของความหนาแน่นต่อค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำเมื่อใช้กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ 10% และกาวยเอ็มดีไอ 3%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองดังรูปที่ 4.6 เมื่อพิจารณาผลของความหนาแน่นของแผ่นฉนวนกันความร้อนที่เพิ่มขึ้น ที่มีต่อการพองตัวเมื่อแช่น้ำ พบว่าเมื่อความหนาแน่นเพิ่มขึ้น การพองตัวเมื่อแช่น้ำมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งไม่สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาของ วรรณม อุจน์จิตติชัย [19], และจงจิต หิรัญลาภและคณะ [20] โดยงานวิจัยเหล่านี้ พบว่า เมื่อแผ่นไม้อัดมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำจะมีค่าเพิ่มขึ้น โดยอธิบายได้ว่า ความหนาแน่นของแผ่นฉนวนที่เพิ่มขึ้นเป็นผลจากการมีปริมาณเนื้อเส้นใยเพิ่มขึ้น โดยธรรมชาติของเส้นใยเซลลูโลสสามารถดูดน้ำได้ดี ดังนั้นเมื่อมีเนื้อเส้นใยมากขึ้น จึงเป็นการเพิ่มพื้นที่การดูดซับน้ำ (Absorption area) ทำให้เกิดการพองตัวเมื่อแช่น้ำมากขึ้น

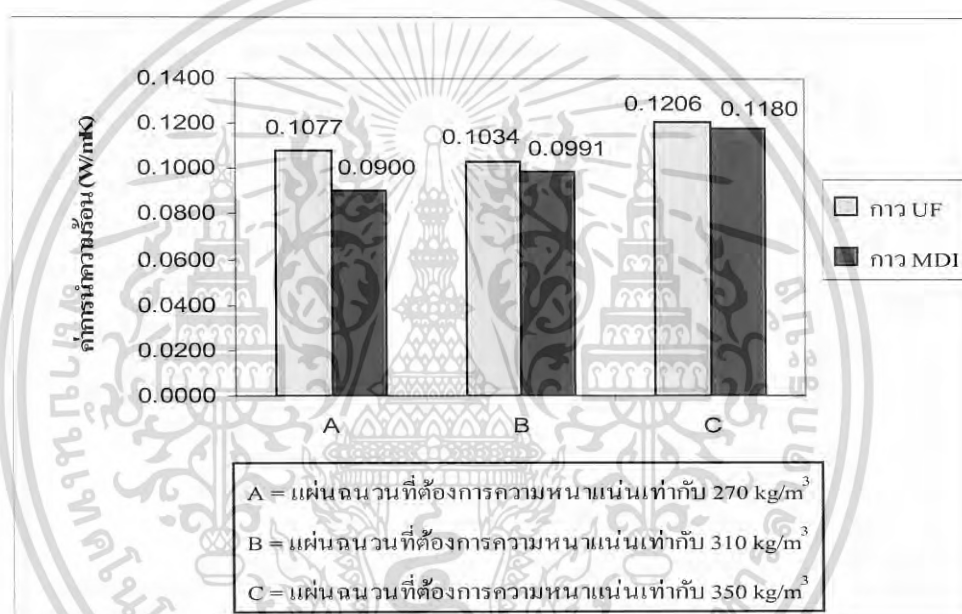
อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองที่ได้ พบว่าเมื่อความหนาแน่นของแผ่นฉนวนกันความร้อนเพิ่มขึ้น ค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำมีค่าใกล้เคียงกัน ที่เป็นเช่นนี้ คาดว่าในขั้นตอนการขึ้นรูปอัดแผ่นฉนวนความร้อน สภาพความดันที่ใช้ในการอัดร้อนขึ้นรูป (170 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) และขนาดของแผ่นฉนวนมีค่าคงที่ ดังนั้นเมื่อความหนาแน่นของแผ่นฉนวนมากขึ้น ปริมาณเส้นใยหลักจะเพิ่มขึ้น ทำให้เส้นใยอยู่ชิดกันมากขึ้น ส่งผลให้น้ำเข้าไปแทรกภายในแผ่นฉนวนได้ยาก

เมื่อเปรียบเทียบการพองตัวเมื่อแช่น้ำของแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ใช้กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์กับกาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ พบว่าแผ่นฉนวนที่ใช้กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์มีการพองตัวเมื่อแช่น้ำมากกว่า อธิบายได้จากกลไกการยึดติดของกาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์เป็นการยึดติดเชิงกล จึงมีการยึดติดได้ไม่ดีเท่ากับการใช้กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ที่เป็นกลไกการยึดติดด้วยพันธะโควาเลนต์ซึ่งมีความแข็งแรงมากกว่า ดังนั้นน้ำจึงแทรกเข้าไปในแผ่นฉนวนที่ใช้กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ได้ง่ายกว่า นอกจากนี้ ยังมีปัจจัยจากปริมาณกาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ที่ใช้ โดยแผ่นฉนวนที่ใช้กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ใช้ปริมาณกาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ที่มากกว่า จึงดูดซับน้ำได้ดีกว่า ดังนั้นแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ใช้กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์จึงเกิดการพองตัวเมื่อแช่น้ำมากกว่าแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ใช้กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์

เมื่อทำการเทียบกับมาตรฐาน JIS A 5905 พบว่าแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ใช้กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์เป็นตัวประสาน มีค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ ส่วนแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ใช้กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์เป็นตัวประสาน มีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐาน คือ ถ้าแผ่นฉนวนกันความร้อนมีความหนาแน่นของแผ่นน้อยกว่า 350 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ต้องมีค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำน้อยกว่า 10%

4.7 การศึกษาผลการทดสอบค่าการนำความร้อน

ทดสอบหาค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนความร้อนที่ใช้กาวยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ 10 % และกาวยเอ็มดีไอ 3 % เป็นตัวประสาน ที่ความหนาแน่น 270, 310, 350 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยตัดชิ้นตัวอย่างทดสอบขนาด 4x4 ตารางเซนติเมตร ทดสอบ ณ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) ด้วยเทคนิค Thermal Constant Analysis (TCA) โดยใช้เครื่อง Hot Disk Thermal Constant Analyser ได้ผลดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ผลของความหนาแน่นต่อค่าการนำความร้อนเมื่อใช้กาวยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ 10% และกาวยเอ็มดีไอ 3%

จากผลการทดลองดังรูปที่ 4.7 เมื่อพิจารณาผลของความหนาแน่นของแผ่นฉนวนกันความร้อนที่เพิ่มขึ้น ที่มีต่อการนำความร้อน พบว่าเมื่อแผ่นฉนวนกันความร้อนมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น แผ่นฉนวนมีค่าการนำความร้อนเพิ่มขึ้น นั่นคือ มีความเป็นฉนวนกันความร้อนลดลง สามารถอธิบายได้ว่า เมื่อแผ่นฉนวนมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น มีปริมาณเส้นใยหยาบมากขึ้น จึงเป็นการเพิ่มตัวกลางในการนำความร้อนของแผ่นฉนวนทำให้แผ่นฉนวนกันความร้อนมีสมบัติความเป็นฉนวนลดลง โดยเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.7 พบว่าแผ่นฉนวนที่ใช้กาวยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์มีค่าการนำความร้อนสูงกว่าแผ่นฉนวนที่ใช้กาวยเอ็มดีไอ อธิบายได้ว่าเป็นผลเนื่องมาจากปริมาณกาวยที่ใช้เป็นตัวประสาน โดยแผ่นฉนวนที่ใช้กาวยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ใช้ปริมาณกาวย 10 % ในขณะที่แผ่นฉนวนเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ใช้กาวยเอ็มดีไอ ใช้ปริมาณกาวย 3 % ดังนั้น แผ่นฉนวนที่ใช้กาวยยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์จะมีปริมาณกาวยเข้าไปแทรกตัวในช่องว่างของแผ่นฉนวนมากกว่า ส่งผลให้ช่องว่างมีขนาดเล็กลง เส้นใยมีความสามารถในการยึดเกาะที่ดีขึ้นจึงส่งผ่านความร้อนได้ดีขึ้น แผ่นฉนวนกันความร้อนที่ใช้กาวยยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์จึงมีความเป็นฉนวนกันความร้อนต่ำกว่าแผ่นฉนวนที่ใช้กาวยเอ็มดีไอ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการทำแผ่นฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยหูก้า โดยใช้กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ และกาวไคฟิโนลมีเทน ไคโอโซไซยานเนตเป็นตัวประสาน โดยทำการเตรียมเส้นใยหูก้าได้ด้วยวิธีความร้อนเชิงกล (Thermo-mechanical) และทำแผ่นด้วยกรรมวิธีการทำแผ่นแบบแห้ง จากนั้นขึ้นรูปอัดแผ่นด้วยเครื่องอัดรีดร้อน ทำการศึกษาผลของความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นของแผ่นฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยหูก้าที่มีต่อสมบัติเชิงกล สมบัติการพองตัวเมื่อแช่น้ำ และสมบัติทางความร้อน

จากการทดสอบพบว่า แผ่นฉนวนกันความร้อนที่ผลิตได้จากการทำเส้นใยด้วยวิธีความร้อนเชิงกล และทำแผ่นด้วยกรรมวิธีแบบแห้งอัดรีดขึ้นรูป มีสมบัติโดยรวมต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของ JIS A 5905 ที่กำหนดไว้

จากการศึกษาผลของความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นที่มีต่อสมบัติต่างๆ สามารถสรุปผลงานวิจัยได้ดังนี้

1. การศึกษาผลของความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นที่มีต่อสมบัติเชิงกล

จากสมบัติเชิงกลที่ทำการศึกษา คือ ค่าความต้านทานแรงดึง ค่ามอดูลัสยืดหยุ่น และค่าแรงดึงตั้งฉาก เมื่อความหนาแน่นของแผ่นฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยหูก้าเพิ่มขึ้น ทำให้สมบัติเชิงกลดังกล่าวของแผ่นฉนวนดีขึ้น เนื่องจากเมื่อแผ่นฉนวนกันความร้อนมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น จะมีปริมาณเส้นใยหูก้าต่อปริมาตรเพิ่มขึ้นและมีช่องว่างภายในแผ่นลดลง ทำให้แผ่นฉนวนกันความร้อนมีเนื้อเส้นใยที่ก่อให้เกิดการยึดเกาะกันได้มากขึ้น และทำให้เกิดการส่งผ่านของแรงกระทำได้มากขึ้นเมื่อให้แรงกระทำในการทดสอบสมบัติเชิงกล ดังนั้นเมื่อแผ่นฉนวนมีความหนาแน่นมากขึ้น จะมีความสามารถในการรับแรงได้มากขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ใช้กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ 10% กับแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ใช้กาวเอ็มดีไอ 3% พบว่าแผ่นฉนวนที่ใช้กาวเอ็มดีไอมีสมบัติเชิงกลที่ดีกว่า เพราะกาวเอ็มดีไอมีกลไกการยึดติดของกาวแบบเกิดพันธะโคเวเลนต์กับหมู่ไฮดรอกซิลของเส้นใยหูก้า จึงมีความแข็งแรงมากกว่ากลไกการยึดติดของกาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ซึ่งเป็นกลไกการยึดติดเชิงกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การศึกษาผลของความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นที่มีต่อการพองตัวเมื่อแช่น้ำ

เมื่อความหนาแน่นของแผ่นฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยหยาบคาเพิ่มขึ้น ค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำควรมีค่ามากขึ้น เนื่องจากความหนาแน่นของแผ่นฉนวนที่เพิ่มขึ้นเป็นผลจากการมีปริมาณเนื้อเส้นใยเพิ่มขึ้น ซึ่งเส้นใยเซลลูโลสสามารถดูดซับน้ำได้ดี ดังนั้น จึงเป็นการเพิ่มพื้นที่การดูดซับน้ำ ทำให้เกิดการพองตัวเมื่อแช่น้ำมากขึ้น อย่างไรก็ตามจากงานวิจัยนี้ พบว่าเมื่อความหนาแน่นของแผ่นฉนวนกันความร้อนเพิ่มขึ้น ค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำมีค่าใกล้เคียงกัน โดยค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำของแผ่นฉนวนที่ความหนาแน่น 350 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรมีค่าลดลง ซึ่งคาดว่าอาจเกิดจากการที่เส้นใยอยู่ชิดกันมากขึ้น ทำให้น้ำแทรกตัวได้ยากขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบการพองตัวเมื่อแช่น้ำของแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ใช้กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ 10% กับแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ใช้กาวยเอ็มดีไอ 3% เป็นตัวประสาน พบว่าแผ่นฉนวนที่ใช้กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์มีการพองตัวเมื่อแช่น้ำมากกว่าแผ่นฉนวนที่ใช้กาวยเอ็มดีไอ เนื่องจากกลไกการยึดติดของกาว โดยกาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์เป็นการยึดติดเชิงกล ส่วนกาวยเอ็มดีไอเป็นกลไกการยึดติดด้วยพันธะโควาเลนต์ซึ่งมีความแข็งแรงมากกว่า ดังนั้นน้ำจึงแทรกเข้าไปในแผ่นฉนวนที่ใช้กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ได้ง่ายกว่า นอกจากนี้ แผ่นฉนวนที่ใช้กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ยังใช้ปริมาณกาวมากกว่า จึงดูดซับน้ำได้ดีกว่า ดังนั้นค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำจึงมากกว่า

3. การศึกษาผลของความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นที่มีต่อการนำความร้อนของแผ่นฉนวน

เมื่อความหนาแน่นของแผ่นฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยหยาบคาเพิ่มขึ้น ค่าการนำความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากความหนาแน่นของแผ่นฉนวนที่เพิ่มขึ้นเป็นผลจากการมีปริมาณเนื้อเส้นใยเพิ่มขึ้น จึงเป็นการเพิ่มปริมาณของตัวกลางในการนำความร้อน ทำให้สมบัติความเป็นฉนวนของแผ่นฉนวนกันความร้อนลดลง

เมื่อเปรียบเทียบการนำความร้อนของแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ใช้กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ 10% กับแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ใช้กาวยเอ็มดีไอ 3% พบว่าแผ่นฉนวนที่ใช้กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์มีค่าการนำความร้อนที่สูงกว่าแผ่นฉนวนที่ใช้กาวยเอ็มดีไอ ซึ่งเป็นผลจากแผ่นฉนวนที่ใช้กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ใช้ปริมาณกาวมากกว่าแผ่นฉนวนที่ใช้กาวยเอ็มดีไอ มีปริมาณกาวเข้าไปแทรกตัวในช่องว่างของแผ่นฉนวนมากกว่า ทำให้ช่องว่างมีขนาดเล็กกลง แผ่นฉนวนกันความร้อนที่ใช้กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์จึงมีความเป็นฉนวนกันความร้อนต่ำกว่าแผ่นฉนวนที่ใช้กาวยเอ็มดีไอ

จากการเปรียบเทียบแผ่นฉนวนกันความร้อนที่เตรียมได้กับแผ่นฉนวนกันความร้อนทางการค้าคือแผ่นไม้อัด (จากตารางที่ 2.1) แสดงผลดังตารางที่ 5.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนที่เตรียมได้กับแผ่นไม้อัด

ชนิดของแผ่นฉนวน	ความหนา (mm)	ค่าความหนาแน่น (Kg/m ³)	ค่าการนำความร้อน (W/m ² K)
UFA	12	270	0.1077
UFB	12	310	0.1034
UFC	12	350	0.1206
MDI A	12	270	0.0900
MDI B	12	310	0.0991
MDI C	12	350	0.1180
แผ่นไม้อัด	10.05	907	0.2209
ใยแก้ว	11.25	69	0.0410
พอลิยูรีเทนโฟม	26	55	0.0303

จากการเปรียบเทียบแผ่นฉนวนกันความร้อนที่มีค่าความหนาแน่นที่ 270, 310, 350 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร กับแผ่นไม้อัดที่ความหนาแน่น 907 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีการนำความร้อน 0.2209 วัตต์ต่อเมตรองศาเซลเซียส แผ่นใยแก้วที่ความหนาแน่น 69 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีค่าการนำความร้อน 0.0410 วัตต์ต่อเมตรองศาเซลเซียส พอลิยูรีเทน โฟมที่ความหนาแน่น 55 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีค่าการนำความร้อน 0.0303 วัตต์ต่อเมตรองศาเซลเซียส จากผลการวิจัย ฉนวนกันความร้อนที่เตรียมได้มีค่าการนำความร้อนอยู่ระหว่าง 0.1077-0.1206 วัตต์ต่อเมตรองศาเซลเซียส สำหรับกาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ และค่าการนำความร้อนระหว่าง 0.0900-0.1180 วัตต์ต่อเมตรองศาเซลเซียส สำหรับกาวเอ็มดีไอ ดังนั้นแผ่นฉนวนกันความร้อนที่เตรียมได้มีความเป็นฉนวนมากกว่าแผ่นไม้อัด แต่น้อยกว่าแผ่นใยแก้วและพอลิยูรีเทน โฟมที่ใช้งานทั่วไปในเชิงพาณิชย์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากงานวิจัยนี้ แผ่นฉนวนกันความร้อนที่เตรียมได้ ยังมีสมบัติโดยรวมที่ไม่เหมาะสม ต้องมีการปรับปรุงสมบัติเพิ่มเติมในหลายๆด้าน ทั้งความต้านทานแรงดัด โมดูลัสยืดหยุ่น แรงดึงตึงฉาก และการพองตัวเมื่อแช่น้ำ เพื่อให้มีแผ่นฉนวนมีสมบัติที่ดีขึ้น สามารถนำไปใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการทำการศึกษาเพิ่มเติมถึงผลของปริมาณกาที่ใช้ที่มีต่อสมบัติเชิงกล สมบัติการพองตัวเมื่อแช่น้ำ และสมบัติทางความร้อน
2. ในขั้นตอนการทำแผ่นควรมีการโรยเส้นใยอย่างสม่ำเสมอเพื่อให้สมบัติโดยรวมของแผ่นฉนวนมีค่าเท่า กันหรือใกล้เคียงกันที่สุด
3. ควรทำการหาสภาวะที่เหมาะสมในการอัดร้อนขึ้นรูปสำหรับวัสดุเส้นใยหยาบๆ ทั้งอุณหภูมิ เวลา และสภาวะความดันที่ใช้ เนื่องจากมีผลต่อสมบัติของแผ่นฉนวน
4. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มความสามารถในการต้านทานการซึมผ่านของน้ำของแผ่นฉนวนกันความร้อน
5. ควรมีการศึกษาการใช้กาวชนิดอื่นเป็นตัวประสานเพิ่มเติม
6. ควรศึกษาการเคลือบผิวหน้าของแผ่นฉนวนด้วยวัสดุต่างๆ เพื่อป้องกันการหลุดที่ผิวหน้าของแผ่นฉนวน

เอกสารอ้างอิง

1. นาวาอากาศตรี ตระการ ก้าวกสิกรรม, **คู่มือฉนวนความร้อน**, สำนักพิมพ์เอ็มแอนดี จำกัดครั้งที่ 1, 2537
2. ประยูร สุรินทร์, การศึกษากระบวนการผลิตและสมบัติของแผ่นฉนวนกันความร้อนจากชานอ้อย, วิทยานิพนธ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2540.
3. <http://www.eri.chula.ac.th/>
4. ชารทิพย์ เขมะศิริ , ตุภาวดี ขาวนวลและอมรา ขวดเบา, วัสดุประกอบพอลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยหญ้าแฝกและพอลิโอสตีรีนส์ : พีพีและเอชดีพีอี, โครงการพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2545
5. รุ่งอรุณ วัฒนวงศ์, ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับกระดาษ, กองการวิจัย กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2547
6. http://dev.uru.ac.th/Botanical/detail.php?botany_id=7-53000-001-0329&field=4&value=หญ้าคา&page=1
7. <http://www.pclprauma.com/plant/yakha03.jpg>
8. <http://www.samunpai.com/samunpai/show.php?cat=1&id=124>
9. www.dnp.go.th/forestfire/eng/grass.htm
10. http://www.tungsong.com/samunpai/drug/63_Yakra/Index_Yakra.html
11. สิรินันท์ วิริยะสุนทร และสุพรรณษา ออกสุข, แผ่นกระดาษดูดซับเสียงจากพอลิสไตรีน/ชานอ้อย โครงการพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2545
12. รัตติยา มณีศรี ,เป็ยวัฒน์ ช่างเพชรและปิติ อมรศิลป์, การพัฒนาการใช้วัชพืชเพื่อทดแทนไฟเบอร์บอร์ด โครงการพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2539
13. <http://www.forest.go.th/forprod>
14. <http://www.inchem.org/documents/cicads/cicads/cicad27.htm>
15. วรธรรม อุณจิตติชัย, ศัญญา โชคดีพาณิชย์ และพัฒน์ เฉชาวิจิตร, การผลิตแผ่นเอ็มดีเอฟ

จากวัชพืช ต้นหญ้าสลาบลหวง, อนุสาร ไม้อัดบางนาเล่มที่ 1, ปีที่ 26, ฉบับที่ 144, 2540.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

16. ขวัญเรือน กันทวัง, พงศ์พันธ์ ตั้งไพบุลย์วรรณ และสุชาติ บุญดำรงธรรม, ฉนวนใย เซลลูโลสที่อัดโดยเครื่องอัดแผ่นแบบไฮดรอลิกส์, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมและอุตสาหกรรม เกษตร, 2545.
17. พิทยา ศรีพันธ์, การผลิตแผ่นใยไม้อัดแข็งจากไม้กระถินเทพาโดยกรรมวิธีเปียก, อนุสารไม้ อัดบางนาเล่มที่ 3, ปีที่ 25, ฉบับที่ 140, 2539
18. พิทยา ศรีพันธ์, วรพรรณ อุดมชัย และสุรัช มีฤกษ์กิจ, การทำแผ่นไม้อัดจากชนบัตร์ไทย, อนุสารไม้อัดบางนาเล่มที่ 4, ปีที่ 25, ฉบับที่ 141, 2539.
19. วรธรรม อุ่นจิตติชัย, การวิจัยใช้ประโยชน์ไม้สะเดาเทียมเพื่ออุตสาหกรรมการผลิตแผ่น ปรกติเกลบอร์ค, อนุสารไม้อัดบางนาเล่มที่ 5, ปีที่ 25, ฉบับที่ 142, 2539.
20. จองจิต หิรัญธาก, ศโรชา เจริญวัย และ Joseph Khedari, การทำแผ่นฉนวนจากเปลือก ทุเรียนและกาบมะพร้าว, วิทยานิพนธ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2546
21. ผศ.ดร. วิทยา ปั่นสุวรรณ, วิษัณฑ์ อรรถพานูรักษ์, คู่มือการวิเคราะห์ห้องค้ประกอบทางเคมี ของวัสดุคืบและเยื่อกระดาษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ก 1 ค่ามาตรฐานของแผ่นฉนวนกันความร้อนของ JIS A 5905

Quality of insulation board

Type	Thickness	Density (g/ cm ³)	Moisture content (%)	Bending strength (MPa)	Swelling in thickness after immersion in water (%)
Class A insulation board A-IB	12	Under 0.35	5 or over up to and incl.13	2.0 or over	10 or under

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างที่ ข 1 การคำนวณของแผ่นฉนวนความหนาแน่น 0.27 g/cm^3 ที่ใช้กาว UF 10%

แผ่นวัสดุหนาแน่น	0.27	กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร
แผ่นวัสดุมีขนาด	25×25	เซนติเมตร
แผ่นวัสดุมีความหนา	1.2	เซนติเมตร
ปริมาณน้ำหนักรก 10% ของน้ำหนักเส้นใยหุ้มผ้ากาแห้ง		
ปริมาณน้ำหนักรก NH_4Cl 2% ของปริมาณกาวแห้ง		

วิธีทำ

$$D = m/v$$

$$m (\text{เส้นใย} + \text{กาว} + \text{NH}_4\text{Cl}) = v \times D$$

$$= (\text{กว้าง} \times \text{ยาว} \times \text{หนา}) \times \text{ความหนาแน่น}$$

$$= (25 \times 25 \times 1.2) \times 0.27$$

$$= 202.50 \text{ กรัม}$$

ให้ x คือ น้ำหนักเส้นใยหุ้มผ้ากา

ดังนั้น น้ำหนักรก = $0.1x$ กรัม

และ น้ำหนักรก NH_4Cl = 0.1×0.02 กรัม

จะได้ว่า $x + 0.1x + (0.1 \times 0.02) = 202.50$ กรัม

$$x = 183.76 \text{ กรัม}$$

ปริมาณเส้นใยหุ้มผ้ากาที่ใช้ที่ความชื้น 6.83 % = $183.76 \times (1 + 6.83/100) = 196.26$ กรัม

ปริมาณกาว 10% = $183.76 \times 0.10 = 18.38$ กรัม

ปริมาณกาว ที่ 10 % (solⁿ.50%) = $18.38 \times 100/50 = 36.75$ กรัม

ปริมาณ NH_4Cl 2% ของปริมาณกาวแห้ง = $18.38 \times 0.02 = 0.38$ กรัม

ปริมาณ NH_4Cl 2% ของ สารละลาย NH_4Cl 10% = $100 \times 0.367/10 = 3.68$ กรัม

ดังนั้นใช้ปริมาณวัสดุโรยแผ่น = $196.26 + 36.75 + 3.68 = 236.69$ กรัม

ปริมาณ เพื่อ 10%

ปริมาณเส้นใยหุ้มผ้ากาที่ความชื้น 6.83 % = $196.26 \times 1.10 = 215.89$ กรัม

ปริมาณกาว 10% = $36.75 \times 1.10 = 40.43$ กรัม

ปริมาณ NH_4Cl = $3.68 \times 1.10 = 4.04$ กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข 1 น้ำหนักวัสดุตามจริงของแผ่นฉนวนที่ใช้กาว UF 10% ความหนาแน่น 0.27 g/cm³

แผ่นที่	ความชื้นของ เส้นใย (%)	น้ำหนักเส้นใย เพื่อ10% (กรัม)	น้ำหนัก กาว UF (กรัม)	น้ำหนัก NH ₄ Cl (กรัม)	น้ำหนักวัสดุ โรยแผ่น (กรัม)
1	5.01	212.51	40.48	4.18	233.4
2	5.01	212.31	40.82	4.22	233.4
3	6.83	215.89	40.54	4.04	237.4

ตารางที่ ข 2 น้ำหนักวัสดุตามจริงของแผ่นฉนวนที่ใช้กาว UF 10% ความหนาแน่น 0.31 g/cm³

แผ่นที่	ความชื้นของ เส้นใย (%)	น้ำหนักเส้นใย เพื่อ10% (กรัม)	น้ำหนัก กาว UF (กรัม)	น้ำหนัก NH ₄ Cl (กรัม)	น้ำหนักวัสดุ โรยแผ่น (กรัม)
1	5.01	243.71	46.77	4.40	266.7
2	5.01	243.71	46.24	4.77	266.7
3	5.01	245.00	46.42	4.35	270.2

ตารางที่ ข 3 น้ำหนักวัสดุตามจริงของแผ่นฉนวนที่ใช้กาว UF 10% ความหนาแน่น 0.35 g/cm³

แผ่นที่	ความชื้นของ เส้นใย (%)	น้ำหนักเส้นใย เพื่อ10% (กรัม)	น้ำหนัก กาว UF (กรัม)	น้ำหนัก NH ₄ Cl (กรัม)	น้ำหนักวัสดุ โรยแผ่น (กรัม)
1	6.83	280.60	53.64	5.21	307.1
2	6.83	280.91	52.01	5.69	307.4
3	6.83	279.80	52.47	5.44	307.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างที่ ข 2 การคำนวณของแผ่นฉนวนความหนาแน่น 0.27 g/cm^3 ที่ใช้กาว MDI 3 %

แผ่นวัสดุหนาแน่น	0.27	กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร
แผ่นวัสดุมีขนาด	25×25	ตารางเซนติเมตร
แผ่นวัสดุมีความหนา	1.2	เซนติเมตร

ปริมาณน้ำหนักรก 3% ของน้ำหนักเส้นใยหุ้มฉนวน

<u>วิธีทำ</u>	D	=	m/v	
	m (เส้นใย + กาว)	=	v×D	
		=	(กว้าง×ยาว×หนา) ×ความหนาแน่น	
		=	(25×25×1.2) ×0.27	
		=	202.50	กรัม
	ให้ x	คือ	น้ำหนักเส้นใยหุ้มฉนวน	
	ดังนั้น น้ำหนักรก	=	0.03x	กรัม
	จะได้ว่า x+0.03x	=	202.50	
	x	=	196.60	กรัม
ปริมาณเส้นใยหุ้มฉนวนที่ใช้ที่ความชื้น 8.00%	=	196.60×(1+8.0/100)	= 212.33	กรัม
ปริมาณกาว 3%	=	196.60×0.03	= 5.90	กรัม
ปริมาณสารเร่งแข็ง	=	0		
ดังนั้นใช้ปริมาณวัสดุโรยแผ่น	=	212.33+5.90	= 218.23	กรัม
<u>ปริมาณ เพื่อ 10%</u>				
ปริมาณเส้นใยหุ้มฉนวนที่ความชื้น 8.00%	=	212.33×1.1	= 233.56	กรัม
ปริมาณกาว 3%	=	5.90×1.10	= 6.49	กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข 4 น้ำหนักวัสดุตามจริงของแผ่นฉนวนที่ใช้กาว MDI 3% ความหนาแน่น 0.27 g/cm^3

แผ่น ที่	ความชื้นของ เส้นใย (%)	น้ำหนักเส้นใย เพื่อ 10% (กรัม)	น้ำหนักกาว MDI (กรัม)	น้ำหนักวัสดุ โรยแผ่น (กรัม)
1	8.00	233.20	6.52	219.4
2	8.00	233.70	6.55	219.6
3	8.00	233.40	6.55	219.6

ตารางที่ ข 5 น้ำหนักวัสดุตามจริงของแผ่นฉนวนที่ใช้กาว MDI 3% ความหนาแน่น 0.31 g/cm^3

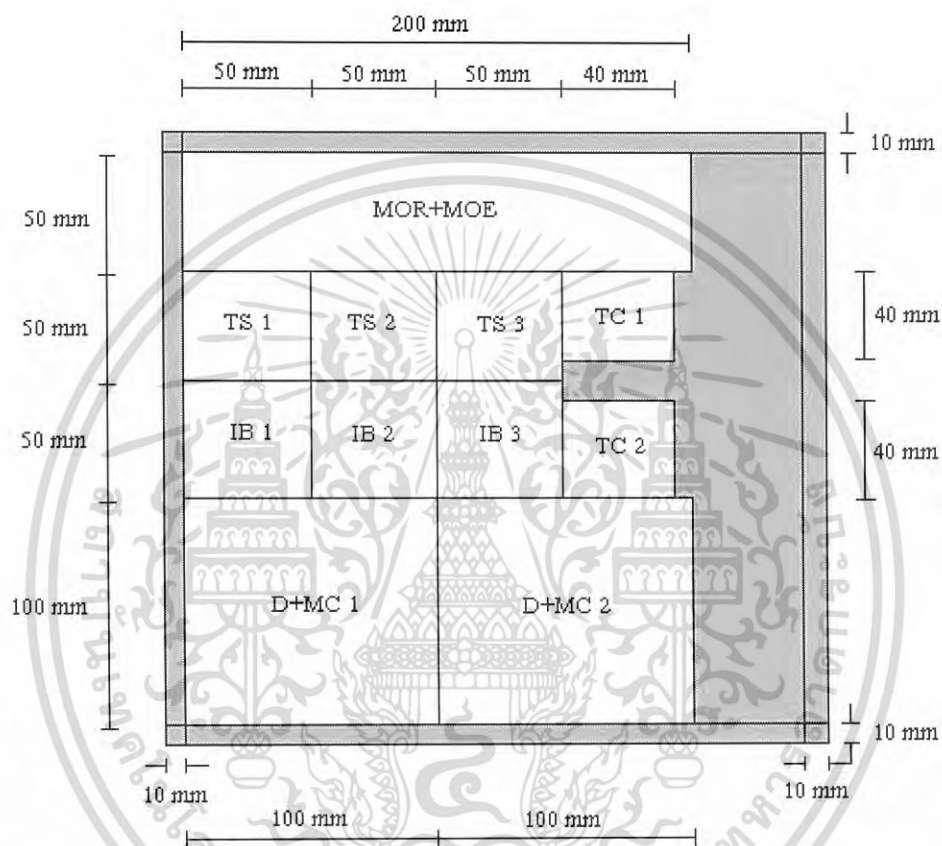
แผ่น ที่	ความชื้นของ เส้นใย (%)	น้ำหนักเส้นใย เพื่อ 10% (กรัม)	น้ำหนักกาว MDI (กรัม)	น้ำหนักวัสดุ โรยแผ่น (กรัม)
1	8.00	268.40	7.51	252.0
2	8.00	267.20	7.50	251.1
3	8.00	267.00	7.51	250.1

ตารางที่ ข 6 น้ำหนักวัสดุตามจริงของแผ่นฉนวนที่ใช้กาว MDI 3% ความหนาแน่น 0.35 g/cm^3

แผ่น ที่	ความชื้นของ เส้นใย (%)	น้ำหนักเส้นใย เพื่อ 10% (กรัม)	น้ำหนักกาว MDI (กรัม)	น้ำหนักวัสดุ โรยแผ่น (กรัม)
1	8.00	300.70	8.56	283.8
2	8.00	299.00	8.63	283.4
3	8.54	304.27	8.56	285.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก



รูปที่ ก 1 การตัดชิ้นงานทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง1 ผลการทดสอบหาความหนาแน่นและปริมาณความชื้นของชิ้นงาน (ทาว UF 10%)

ชั้นที่	กว้าง(มม)	ยาว(มม)	หนา(มม)	ปริมาตร (มม) ³	น้ำหนักก้อนอบ (กรัม)	ความหนาแน่น (กก/ม ³)	ความหนาแน่น เฉลี่ย(กก/ม ³)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	ปริมาณความชื้น (%)	ปริมาณความชื้น เฉลี่ย (%)
u 1.1/1	99.680	100.205	11.38	113668.38	31.70	278.88		29.33	8.08	
u 1.1/2	100.213	100.220	11.29	113389.39	32.12	283.27		29.73	8.04	
u 1.2/1	100.200	100.150	11.43	114700.39	33.14	288.93		31.04	6.77	
u 1.2/2	100.400	100.150	11.39	114527.13	29.28	255.66		27.41	6.82	
u 1.3/1	100.400	100.350	11.23	113143.82	30.02	265.33		28.13	6.72	
u 1.3/2	100.150	100.400	11.19	112516.12	32.53	289.11	276.86	30.59	6.34	7.13
u 2.1/1	99.975	99.965	11.56	115530.65	35.48	307.10		33.54	5.78	
u 2.1/2	99.980	99.975	11.01	110050.46	35.38	321.49		33.54	5.49	
u 2.2/1	100.200	100.150	11.49	115302.49	36.00	312.22		33.54	7.33	
u 2.2/2	99.985	100.005	11.44	114388.56	36.13	315.85		33.84	6.77	
u 2.3/1	100.750	100.300	11.55	116715.35	38.72	331.75		36.16	7.08	
u 2.3/2	100.250	100.400	11.77	118466.23	36.85	311.06	316.58	34.49	6.84	6.55
u 3.1/1	100.210	100.205	11.48	115276.91	44.08	382.38		40.57	8.65	
u 3.1/2	100.205	100.220	11.45	114987.14	40.74	354.30		37.55	8.50	
u 3.2/1	100.232	100.209	11.42	114704.18	42.81	373.22		39.58	8.16	
u 3.2/2	100.238	100.215	11.41	114617.46	42.56	371.32		39.37	8.10	
u 3.3/1	100.215	100.218	11.35	113991.99	40.39	354.32		37.32	8.23	
u 3.3/2	100.218	100.235	11.40	114517.00	42.64	372.35	367.98	39.59	7.70	8.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบหาความหนาแน่นและปริมาณความชื้นของซีเมนต์งาน (ค่า MDI 3%)

ชั้นที่	กว้าง(มม)	ยาว(มม)	หนา(มม)	ปริมาตร (มม) ³	นน.ก่อนอบ (กรัม)	ความหนาแน่น (กก/ม ³)	ความหนาแน่น เฉลี่ย(กก/ม ³)	น้ำหนักหลังอบ (กรัม)	ปริมาณความชื้น (%)	ปริมาณความชื้น เฉลี่ย (%)
m 1.2/1	100.300	100.100	11.53	115761.55	29.17	251.98		27.46	6.23	
m 1.2/2	100.300	100.450	11.30	113849.03	31.76	278.97		29.83	6.47	
m 1.3/1	100.350	100.000	11.53	115703.55	28.02	242.17		26.38	6.22	
m 1.3/2	100.250	100.100	11.35	113897.53	29.83	261.90		28.04	6.38	
m 1.4/1	100.050	99.995	11.44	114451.48	28.78	251.46		27.06	6.36	
m 1.4/2	99.980	99.980	11.55	115453.80	28.13	243.65	255.02	26.36	6.71	6.40
m 2.1/1	99.930	100.050	11.62	116176.72	30.41	261.76		28.76	5.74	
m 2.1/2	100.350	99.960	11.61	116459.75	28.90	248.15		27.19	6.29	
m 2.2/1	100.200	100.300	11.43	114872.19	36.19	315.05		33.99	6.47	
m 2.2/2	99.975	100.250	11.51	115358.90	31.83	275.92		29.9	6.45	
m 2.3/1	100.100	99.985	11.38	113896.71	35.28	309.75		33.22	6.20	
m 2.3/2	100.050	99.980	11.46	114634.37	31.21	272.26	280.48	29.37	6.26	6.24
m 3.1/1	100.300	100.400	11.33	114094.46	33.21	291.07		31.39	5.80	
m 3.1/2	100.100	100.400	11.39	114469.96	34.86	304.53		32.82	6.22	
m 3.2/1	100.600	100.700	11.67	118222.00	36.54	309.08		34.39	6.25	
m 3.2/2	100.400	100.650	11.54	116614.70	38.92	333.75		36.6	6.34	
m 3.3/1	100.240	100.230	11.43	114837.84	39.88	347.27		37.19	7.23	
m 3.3/2	99.673	100.201	11.42	114055.36	38.34	336.15	320.31	35.78	7.15	6.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึง (MOR) และค่ามอดุลัสยืดหยุ่น (MOE)

ตัวอย่างที่	ความกว้าง (มม)	ความยาว (มม)	ความหนาเฉลี่ย (มม)	น้ำหนัก (กรัม)	ความหนาแน่น (กก/ม ³)	ความหนาแน่นเฉลี่ย (กก/ม ³)	MOR (MPa)	MOR (MPa) av	MOE (MPa)	MOE (MPa) av
u.1.1	50.235	201.305	11.23	35.16	309.61		0.6222		52.950	
u.1.2	49.575	200.150	11.067	32.05	291.86		0.7407		52.641	
u.1.3	49.575	200.655	11.28	33.71	300.43	300.63	0.8106	0.7245	57.438	54.343
u.2.1	50.135	199.580	11.21	37.32	332.72		0.7946		53.879	
u.2.2	50.145	200.140	11.32	39.29	345.84		1.2184		79.171	
u.2.3	50.135	200.115	11.38	38.54	337.56	338.71	0.9557	0.9896	77.250	70.100
u.3.1	50.255	200.250	11.28	43.87	386.46		2.0055		128.470	
u.3.2	50.245	201.778	11.32	43.97	383.13		1.9040		132.540	
u.3.3	50.260	202.970	11.19	42.24	370.03	379.87	1.4286	1.7794	102.540	121.190
m.1.1	50.140	200.125	11.24	33.15	293.92		1.1026		163.090	
m.1.2	50.120	200.110	11.4	32.61	285.21		0.9062		157.120	
m.1.3	49.030	199.565	11.39	32.15	288.48		0.8872	0.9653	127.990	149.400
m.2.1	49.040	199.555	11.47	31.60	281.52		0.6821		124.200	
m.2.2	49.580	200.125	11.46	35.38	311.15		1.6462		194.240	
m.2.3	50.105	200.115	11.28	36.95	326.70	306.45	1.6727	1.3337	209.310	175.920
m.3.1	50.110	200.115	11.38	36.79	322.39		1.1383		155.790	
m.3.2	50.100	200.095	11.54	38.97	336.86		1.7218		163.730	
m.3.3	50.230	200.245	11.48	39.25	339.92	333.06	1.8843	1.5815	162.810	152.130

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงดึงจาก (Internal Bond Strength Test) ความหนาแน่นของหินเคลือบประมาณ 270 กก/ม³ เมื่อใช้กาว UF 10%, MDI 3%

ตัวอย่างที่	ความกว้าง (มม)	ความยาว (มม)	ความหนาเฉลี่ย (มม)	น้ำหนัก (กรัม)	ความหนาแน่น (กก/ม ³)	ความกว้าง x ความยาว (มม ²)	F (N)	IB(MPa)	ความหนาแน่นเฉลี่ย (กก/มม ³)	IB(MPa) av
u-1.1/1	50.235	50.240	11.21	8.22	290.54	2523.81	26.4	0.010460		
u-1.2/1	50.675	50.690	10.98	7.61	269.82	2568.72	24.8	0.009655		
u-1.3/1	49.580	50.155	10.97	7.74	283.74	2486.68	15.9	0.006394		
u-1.1/2	50.260	50.258	11.23	8.65	304.94	2525.97	29.8	0.011797		
u-1.2/2	50.690	51.125	11.04	8.18	285.91	2591.53	47.7	0.018406		
u-1.3/2	50.100	50.670	10.99	8.14	291.77	2538.57	28.7	0.011306		
u-1.1/3	50.200	50.252	11.21	8.03	283.96	2522.65	19.0	0.007532		
u-1.2/3	50.675	51.215	11.03	8.50	296.93	2595.32	41.1	0.015836		
u-1.3/3	50.140	50.675	11.16	8.19	288.83	2540.84	21.8	0.008580	288.49	0.011107
m-1.1/1	50.165	50.685	11.16	7.28	256.56	2542.61	39.9	0.015693		
m-1.2/1	50.150	50.100	11.19	7.27	258.58	2512.52	59.5	0.023681		
m-1.3/1	49.570	50.125	11.21	6.53	234.44	2484.70	24.8	0.009981		
m-1.1/2	50.665	50.690	11.07	8.04	282.80	2568.21	69.1	0.026906		
m-1.2/2	50.310	50.150	11.44	7.12	246.68	2523.05	38.6	0.015299		
m-1.3/2	49.585	50.140	11.28	7.39	263.51	2486.19	80.1	0.032218		
m-1.1/3	50.670	51.215	11.18	8.05	277.46	2595.06	59.7	0.023005		
m-1.2/3	50.120	50.145	11.33	7.29	256.01	2513.27	53.7	0.021367		
m-1.3/3	50.140	50.120	11.19	7.56	268.84	2513.02	72.0	0.028651	260.54	0.021867

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงดึงฉาก (Internal Bond Strength Test) ความหนาแน่นของหินเฉลี่ยประมาณ 310 กก/ม³ เมื่อใช้กาว UF 10%, MDI 3%

ตัวอย่างที่	ความกว้าง (มม)	ความยาว (มม)	ความหนา เฉลี่ย (มม)	น้ำหนัก (กรัม)	ความหนาแน่น (กก/ม ³)	ความกว้าง x ความยาว (มม ²)	F (N)	IB(MPa)	ความหนาแน่น เฉลี่ย (กก/มม ³)	IB(MPa) av
u 2.1/1	50.140	50.685	11.40	9.18	316.86	2541.35	21.2	0.008342		
u 2.2/1	50.125	51.205	11.19	8.31	289.34	2566.65	5.0	0.001948		
u 2.3/1	50.180	50.140	11.28	9.85	347.07	2516.03	21.2	0.008426		
u 2.1/2	51.215	50.135	11.04	9.38	330.90	2567.66	25.1	0.009775		
u 2.2/2	50.685	50.140	11.06	9.22	328.03	2541.35	15.4	0.006060		
u 2.3/2	50.670	50.680	11.28	9.81	338.67	2567.96	19.6	0.007633		
u 2.1/3	51.225	50.155	11.28	8.34	287.78	2569.19	28.4	0.011054		
u 2.2/3	50.670	51.200	11.15	9.94	343.63	2594.30	9.1	0.003508		
u 2.3/3	50.670	50.665	11.20	10.47	364.14	2567.20	20.6	0.008024	327.38	0.007197
m 2.1/1	49.560	50.115	11.48	6.94	243.40	2483.70	17.1	0.006885		
m 2.2/1	50.115	50.130	11.42	9.15	318.93	2512.26	150.1	0.059747		
m 2.3/1	50.120	50.130	11.24	7.73	273.72	2512.52	89.5	0.035622		
m 2.1/2	50.120	50.145	11.42	7.07	246.33	2513.27	19.3	0.007679		
m 2.2/2	50.125	50.150	11.32	9.74	342.28	2513.77	126.3	0.050243		
m 2.3/2	50.135	50.160	11.27	8.69	306.62	2514.77	94.5	0.037578		
m 2.1/3	50.155	50.120	11.46	8.19	284.30	2513.77	22.1	0.008792		
m 2.2/3	50.150	50.110	11.49	7.91	273.94	2513.02	66.4	0.026422		
m 2.3/3	50.115	50.670	11.36	9.38	325.17	2539.33	143.2	0.056393	290.52	0.032151

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงดึงจาก (Internal Bond Strength Test) ความหนาแน่นของเงินเคลือบประมาณ 350 กก/ม³ เมื่อใช้กาว UF 10%, MDI 3%

ตัวอย่างที่	ความกว้าง (มม)	ความยาว (มม)	ความหนาเคลือบ (มม)	น้ำหนัก (กรัม)	ความหนาแน่น (กก/ม ³)	ความกว้าง x ความยาว (มม ²)	F (N)	IB(MPa)	ความหนาแน่นเคลือบ (กก/มม ³)	IB(MPa) av
u.3.1/1	50.235	50.230	11.32	10.47	366.55	2523.30	69.7	0.027623		
u.3.2/1	50.245	50.235	11.32	10.36	362.59	2524.06	90.5	0.035855		
u.3.3/1	50.255	50.255	11.14	10.31	366.45	2525.57	52.7	0.020867		
u.3.1/2	50.215	50.225	11.25	9.80	345.40	2522.05	51.8	0.020539		
u.3.2/2	50.240	50.225	11.31	9.85	345.15	2523.30	85.8	0.034003		
u.3.3/2	50.245	50.245	11.15	9.57	339.98	2524.56	43.6	0.017270		
u.3.1/3	50.240	50.248	11.22	10.82	382.00	2524.46	80.6	0.031928		
u.3.2/3	50.240	50.248	11.27	10.29	361.68	2524.46	74.4	0.029472		
u.3.3/3	50.240	50.250	11.16	10.32	366.29	2524.56	63.1	0.024994	359.57	0.026950
m.3.1/1	50.310	50.110	11.48	10.47	361.76	2521.03	40.1	0.015906		
m.3.2/1	50.160	50.140	11.36	10.36	362.61	2515.02	102.8	0.040874		
m.3.3/1	50.255	50.255	11.36	10.31	359.35	2525.57	103.4	0.040941		
m.3.1/2	50.150	50.140	11.36	9.04	316.47	2514.52	50.4	0.020044		
m.3.2/2	50.140	50.665	11.26	9.97	348.55	2540.34	151.1	0.059480		
m.3.3/2	50.258	50.270	11.38	10.50	365.20	2526.47	149.8	0.059292		
m.3.1/3	50.125	50.140	11.46	8.50	295.12	2513.27	37.6	0.014961		
m.3.2/3	50.130	50.100	11.30	8.52	300.21	2511.51	74.3	0.029584		
m.3.3/3	50.270	50.270	11.48	10.52	362.62	2527.07	137.2	0.054292	341.32	0.037264

ตารางที่ 7 ผลการทดสอบการพองตัวเมื่อแช่น้ำ (Test for swelling in thickness after immersion in water, %)

ความหนาแน่นของชิ้นงานเคลือบประมาณ 270 กก/ม³ เมื่อใช้กาว UF 10%, MDI 3%

ตัวอย่างที่	ความกว้าง (มม)	ความยาว (มม)	ความหนาแน่นก่อนแช่น้ำ เฉลี่ย(มม)	น้ำหนัก (กรัม)	ความหนาแน่น (กก/ม ³)	ความหนาแน่นหลังแช่น้ำ เฉลี่ย(มม)	Thickess Swell	ความหนาแน่น เฉลี่ย (กก/มม ³)	Thickess Swell
u.1.1/1	50.235	50.200	11.26	7.760	273.283	15.13	34.37%		
u.1.2/1	50.695	50.130	11.08	8.140	289.083	14.04	26.71%		
u.1.3/2	50.140	50.130	11.44	7.930	275.781	14.26	24.65%		
u.1.1/2	50.210	50.245	11.27	8.16	287.001	15.54	37.89%		
u.1.2/2	50.130	50.685	11.94	7.83	258.095	13.89	16.33%		
u.1.3/2	49.570	50.670	10.98	7.48	271.225	13.62	24.04%		
u.1.1/3	49.675	50.220	11.32	7.57	268.062	14.96	32.16%		
u.1.2/3	50.150	50.670	11.18	7.62	268.220	14.11	26.21%		
u.1.3/3	49.040	50.685	11.08	6.65	241.464	13.43	21.21%	270.25	27.06%
m.1.1/1	50.135	50.675	11.32	7.500	260.783	12.43	9.81%		
m.1.2/1	50.140	50.115	11.34	7.520	263.908	12.41	9.44%		
m.1.3/1	50.085	50.125	11.57	7.600	261.648	12.57	8.64%		
m.1.1/2	50.145	50.145	11.55	7.15	246.189	12.81	10.91%		
m.1.2/2	50.130	50.160	11.34	7.21	252.852	12.3	8.47%		
m.1.3/2	50.135	50.150	11.39	7.64	266.783	12.43	9.13%		
m.1.1/3	50.675	49.020	11.34	7	248.495	12.36	8.99%		
m.1.2/3	50.115	50.135	11.36	6.34	222.127	12.37	8.89%		
m.1.3/3	50.099	50.145	11.37	7.82	273.775	12.39	8.97%	255.17	9.25%

ตารางที่ ๘ ผลการทดสอบการพองตัวของตัวอย่าง (Test for swelling in thickness after immersion in water, %)

ความหนาแน่นของชิ้นงานเฉลี่ยประมาณ 310 กก/ม³ เมื่อใช้กาว UF 10%, MDI 3%

ตัวอย่างที่	ความกว้าง (มม)	ความยาว (มม)	ความหนาแน่นก่อนแช่น้ำ เฉลี่ย (กก/ม ³)	น้ำหนัก (กรัม)	ความหนาแน่น (กก/ม ³)	ความหนาแน่นหลังแช่น้ำ เฉลี่ย(มม)	Thickness Swell	ความหนาแน่น เฉลี่ย (กก/ม ³)	Thickness Swell av
u 2.1/1	50.130	50.095	11.04	7.870	283.866	15.26	38.22%		
u 2.2/1	50.680	50.140	11.32	9.650	335.475	14.37	26.94%		
u 2.3/1	50.660	50.125	11.22	8.510	298.688	14.43	28.61%		
u 2.1/2	50.125	49.040	11.24	7.27	263.126	15.08	34.16%		
u 2.2/2	50.665	50.145	11.24	8.77	307.113	14.16	25.98%		
u 2.3/2	50.135	50.155	11.66	9.05	308.670	15.24	30.70%		
u 2.1/3	50.138	49.600	11.15	8.32	300.054	15.23	36.59%		
u 2.2/3	50.140	50.670	11.12	8.5	300.870	13.92	25.18%		
u 2.3/3	50.665	50.110	11.17	8.76	308.900	14.66	31.24%	300.75	30.85%
m 2.1/1	50.675	50.150	11.56	7.140	243.039	12.81	10.81%		
m 2.2/1	50.115	50.095	11.34	8.790	308.755	12.33	8.73%		
m 2.3/1	50.665	50.110	11.38	8.170	282.779	12.37	8.70%		
m 2.1/2	50.110	51.210	11.54	7.96	268.799	12.98	12.48%		
m 2.2/2	50.140	50.145	11.33	8.76	307.512	12.42	9.62%		
m 2.3/2	50.145	50.145	11.22	8.61	305.179	12.31	9.71%		
m 2.1/3	49.020	50.678	11.54	7.62	265.801	13.17	14.12%		
m 2.2/3	50.150	50.150	11.31	9.34	328.354	12.47	10.26%		
m 2.3/3	50.100	50.155	11.43	9.33	324.850	12.54	9.71%	292.79	10.46%

ตารางที่ 9 ผลการทดสอบการพองตัวของเนื้อเส้นใย (Test for swelling in thickness after immersion in water, %)

ความหนาแน่นของชิ้นงานเฉลี่ยประมาณ 350 กก/ม³ เมื่อใช้ทาก UF 10%, MDI 3%

ตัวอย่างที่	ความกว้าง (มม)	ความยาว (มม)	ความหนาแน่นก่อนแช่น้ำ เฉลี่ย(มม)	น้ำหนัก (กรัม)	ความหนาแน่น (กก/ม ³)	ความหนาแน่นแห้งแช่น้ำ เฉลี่ย(มม)	Thickens Swell	ความหนาแน่น เฉลี่ย (กก/มม ³)	Thickens Swell av
u 3.1/1	50.232	50.215	11.29	9.940	349.043	14.04	24.36%		
u 3.2/1	50.243	50.235	11.32	10.490	367.153	13.92	22.97%		
u 3.3/1	50.240	50.245	11.17	10.430	369.904	13.93	24.71%		
u 3.1/2	50.215	49.692	11.22	8.68	310.032	13.79	22.91%		
u 3.2/2	50.223	50.243	11.26	10.1	355.471	14.2	26.11%		
u 3.3/2	50.243	50.250	11.17	10.25	363.462	13.76	23.19%		
u 3.1/3	50.225	50.219	11.23	9.98	352.341	14.14	25.91%		
u 3.2/3	50.245	50.245	11.24	10.81	380.955	13.71	21.98%		
u 3.3/3	50.235	50.235	11.25	9.43	332.159	13.84	23.02%	353.39	23.91%
m 3.1/1	50.140	50.140	11.24	8.230	291.249	12.47	10.94%		
m 3.2/1	50.140	50.675	11.36	10.790	373.822	12.55	10.48%		
m 3.3/1	50.263	50.270	11.43	10.520	364.261	12.36	8.14%		
m 3.1/2	50.145	50.100	11.19	8.08	287.419	12.34	10.28%		
m 3.2/2	50.665	50.670	11.68	9.79	326.498	12.79	9.50%		
m 3.3/2	50.255	50.268	11.44	10.29	356.056	12.34	7.87%		
m 3.1/3	50.145	50.135	11.34	8.08	283.419	12.52	10.41%		
m 3.2/3	50.665	50.670	11.45	10.8	367.417	12.76	11.44%		
m 3.3/3	50.265	50.283	11.40	9.8	340.122	12.26	7.54%	332.25	9.62%