

กาวยไม้ไร้สารฟอร์มัลดีไฮด์จากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับน้ำมันชักแห้งธรรมชาติ

สำหรับงานแผ่นพาร์ทิเคิล

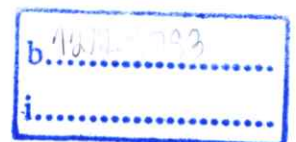
Formaldehyde-free wood adhesive from poly(vinyl alcohol) and natural
drying oil for particle board



ภกพล ลักณาพรวิสิฐ

PHAKAPOL LAKKANAPORNWISIT

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 123726
รับ, เดือน, ปี 27 ม.ค. 2555



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2555

KMITL-2012-SC-M-014-032

**Formaldehyde-free wood adhesive from poly(vinyl alcohol) and natural
drying oil for particle board**

PHAKAPOL LAKKANAPORNWISIT

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN POLYMER TECHNOLOGY**

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2012

KMITL-2012-SC-M-014-032

COPYRIGHT 2012

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์

กาวไม้ไร้สารฟอร์มัลดีไฮด์จากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับน้ำมันชักแห้ง
ธรรมชาติสำหรับงานแผ่นพาร์ทิเคิล
Formaldehyde-free wood adhesive from poly(vinyl alcohol)
and natural drying oil for particle board

นักศึกษา

นายภคพล ลีคนาพรวิสิฐ

รหัสประจำตัว

52651205

ปริญญา

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

เทคโนโลยีพอลิเมอร์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ผศ.ดร.ภัทรารุช มนต์วิเศษ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

นายวรธรรม อุ๋นจิตติชัย

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ชลลดา	ฤตวิรุฬห์	
ผศ.ดร.สุภารัตน์	รักชลธิ์	
รศ.ดร.ทวีชัย	อมรศักดิ์ชัย	
นายวรธรรม	อุ๋นจิตติชัย	
ผศ.ดร.ภัทรารุช	มนต์วิเศษ	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ 25 พฤษภาคม พ.ศ. 2555 เวลา 9.30 - 12.30 น.

สถานที่สอบ ณ ห้อง 316 ชั้น 3 อาคารปฏิบัติการใหม่



(รองศาสตราจารย์ ดร. ตยณีย์ ธนะบริพัตน์)

คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

วันที่ 20 เดือน ก.ค. พ.ศ. 55

หัวข้อวิทยานิพนธ์	กาวไม้ไร้สารฟอร์มาลดีไฮด์จากพอลิไวนิลอัลกอฮอล์กับน้ำมันชักแห้ง ธรรมชาติสำหรับงานแผ่นพาร์ทิเคิล
นักศึกษา	นายภคพล ถักนาพรวิสิฐ
รหัสประจำตัว	52651205
ปริญญา	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีพอลิเมอร์
พ.ศ.	2555
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.ภัทราวุธ มนต์วิเศษ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	นายบรรจธรรม อุ่นจิตติชัย

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเตรียมกาวผสมไม้ปราศจากสารฟอร์มาลดีไฮด์สำหรับงานแผ่นไม้พาร์ทิเคิล โดยใช้สารตั้งต้นเป็นพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ ปรับปรุงสมบัติด้วยน้ำมันชักแห้งธรรมชาติ ได้แก่ น้ำมันทังและน้ำมันลินสีด เพื่อเพิ่มสมบัติเชิงกลและความต้านทานน้ำ โดยมีสารตัวเติมซิลิกา ในอัตราส่วน 0 – 5 phr นำกาวที่เตรียมได้มาทำการขึ้นรูปแผ่นไม้พาร์ทิเคิล โดยใช้ไม้ยูคาลิปตัสและไม้ยางพาราและใช้ปริมาณกาวต่อไม้เป็น 20% โดยน้ำหนัก แผ่นพาร์ทิเคิลที่ได้นำไปทดสอบตามมาตรฐาน มอก.876 และมาตรฐาน JIS A 5908 ของแผ่นพาร์ทิเคิล สมบัติที่ทำการทดสอบ ได้แก่ ความหนาแน่น ความชื้น การพองตัวทางความหนา ความแข็งแรงคด โค้งงอ 3 จุด มอดูลัสยืดหยุ่น และความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า ผลการทดสอบที่ได้ มีค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วง 635 - 801 kg/m^3 ค่าความชื้นอยู่ในช่วง 1.6 - 6.6% ค่าพองตัวทางความหนาอยู่ในช่วง 6.6 - 12% ค่าความแข็งแรงโค้งงอ 3 จุดอยู่ในช่วง 8.4 - 18 MPa ค่ามอดูลัสยืดหยุ่น 1500 - 3200 MPa และค่าแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าอยู่ในช่วง 0.4 - 1.6 MPa โดยพบว่าเมื่อใช้กาวสูตรที่มีปริมาณ พอลิไวนิลอัลกอฮอล์ 85% น้ำมันชักแห้งธรรมชาติ 15% ปริมาณสารตัวเติมซิลิกา 3 phr ขึ้นรูปกับไม้ยางพารา ผลการทดสอบผ่านเกณฑ์มาตรฐาน JIS A5908 และมอก. 876 ได้ทั้งหมด

คำสำคัญ : กาวไม้, กาวไร้สารฟอร์มาลดีไฮด์, น้ำมันชักแห้งธรรมชาติ, แผ่นไม้พาร์ทิเคิล, พอลิไวนิลอัลกอฮอล์

Thesis Title	Formaldehyde-free wood adhesive from poly(vinyl alcohol) and natural drying oil for particle board
Student	Mr. Phakapol Lakkanapornwisit
Student ID	52651205
Degree	Master of Science
Program	Polymer Technology
Year	2012
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr. Pathavuth Monvisade
Thesis Coadvisor	Mr. Woratham Oonjittichai

Abstract

This research aimed to prepare the formaldehyde free adhesive for wood applications. The adhesives were prepared by the modification of poly(vinyl alcohol) with natural drying oil, i.e. tung oil and linseed oil at 20 wt%, using silica as filler in the various amounts of 0 -5 wt% in order to improve mechanical properties and water resistance. The prepared adhesives were applied on eucalyptus flake and rubber tree flake then shaped to particle board. The ratio between adhesive and wood was at 20:80 by weight. The particle boards were tested for some properties, following Thailand Industrial Standard 876 and JIS A 5908 Standard test method including density, moisture content, swelling test, bending strength, bending modulus and internal bonding. The results of density and moisture content were in the ranges of 635 - 801 kg/m³ and 1.6 - 6.6%, respectively. The values of bending strength, bending modulus and internal bonding were in the ranges of 8.4 - 18 MPa, 1500 - 3200 MPa and 0.4 - 16 MPa, respectively. It was found from the results that wood adhesive containing 85% of poly(vinyl alcohol), 15 wt% of natural drying oil and 3 phr of silica gained the properties of particle which were higher than those of Thailand Industrial Standard 876 and JIS A5908 standard.

Keywords: Wood adhesive, Formaldehyde-free adhesive, Natural drying oil, Particle board, Poly(vinyl alcohol)

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ให้ความรู้ คำแนะนำ และความช่วยเหลือในการดำเนินวิทยานิพนธ์นี้ให้สำเร็จ ลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ภัทราวุธ มนต์วิเศษ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ช่วยแนะนำ แก้ไข พร้อมทั้งให้ความช่วยเหลือตลอดการดำเนินวิทยานิพนธ์นี้ ทำให้การจัดทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี คณะผู้ศึกษารูสึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณ คุณวราธรรม อุ๋นจิตติชัย อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ช่วยให้คำแนะนำตลอดจนข้อชี้แนะ และให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างมากในการดำเนินวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ชลลดา ฤตวิรุฬห์ ผศ.ดร.สุภารัตน์ รักชลธิ และ รศ.ดร.ทวีชัย อมรศักดิ์ชัย คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ตรวจทาน และแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ กรมป่าไม้ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ เครื่องมือ เครื่องทดสอบ ซึ้น ไม้ยูคาลิปตัสและซึ้นไม้ ยางพาราในการซึ้นรูปและทดสอบสมบัติแผ่นพาร์ทิเคิล

ขอขอบคุณ พี่ๆ เจ้าหน้าที่งานอุตสาหกรรมวัสดุทดแทนไม้และกาวติดไม้ กรมป่าไม้ที่ให้คำแนะนำ และความช่วยเหลือในการดำเนินวิทยานิพนธ์นี้

ขอขอบคุณนายสืบพงษ์ สืบวงษ์นาท นายสันติย์ สิริปานิชาติ นางสาวปรัชญญาพร เทมะที นางสาวอภิษฐา เจียนประเสริฐ ที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในการดำเนินวิทยานิพนธ์นี้

วิทยานิพนธ์นี้มีอาจสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีถ้าขาดความสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยทุนวิจัยมหบัณชิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีภายใต้โครงการเชื่อมโยงภาคการผลิตกับงานวิจัย ทุน สกว.อุตสาหกรรมระดับปริญญาโท (สกว.) ประจำปี 2553

ท้ายสุดนี้ประ โยชน์และความรู้อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขอมอบแด่บิดา มารดา ครอบครัว ผู้มีพระคุณ และคณาจารย์ทุกท่าน หากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้ศึกษาขอน้อมรับและขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

ภคพล ลักณาพรวิสิฐ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
สัญลักษณ์และคำย่อ.....	XII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 กาว (Adhesive).....	4
2.1.1 ประเภทของกาว.....	4
2.1.2 กาวติดไม้ (Wood adhesive).....	4
2.1.2.1 กาวเรซินชนิดแข็งตัวเมื่อร้อน (Thermosetting resin).....	5
2.1.2.2 กาวเรซินชนิดอ่อนตัวเมื่อร้อน (Hot melt).....	7
2.2 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly(vinyl alcohol)).....	10
2.3 พอลิเมอไรเซชัน (Polymerization).....	11
2.3.1 พอลิเมอไรเซชันแบบลูกโซ่หรือแบบรวมตัว.....	11
2.3.2 พอลิเมอไรเซชันแบบขั้นหรือแบบควบแน่น.....	13
2.4 เทคนิคการสังเคราะห์พอลิเมอร์.....	13
2.5 น้ำมันธรรมชาติ (Natural oil).....	14
2.5.1 องค์ประกอบ.....	15
2.5.2 กรดไขมัน.....	15
2.5.3 ชนิดน้ำมันธรรมชาติ.....	16

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.4 การวิเคราะห์น้ำมัน (Analysis of oils).....	17
2.5.5 น้ำมันลินสีด (Linseed oil).....	19
2.5.5.1 องค์ประกอบในน้ำมันลินสีด.....	22
2.5.5.2 สมบัติและการใช้งาน.....	23
2.5.6 น้ำมันทัง (Tung oil).....	24
2.5.6.1 องค์ประกอบในน้ำมันทัง.....	24
2.5.6.2 สมบัติและการใช้งาน.....	25
2.6 สารลดแรงตึงผิว (Surfactant).....	26
2.6.1 หน้าที่และหลักการทำงาน.....	26
2.6.2 ประเภทของสารลดแรงตึงผิว.....	26
2.7 ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst).....	27
2.7.1 หน้าที่และหลักการทำงาน.....	27
2.8 โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต (Potassium persulfate, KPS).....	27
2.9 สารเพิ่มเนื้อ (Filler).....	28
2.9.1 ซิลิกา หรือ ซิลิกอน ไดออกไซด์.....	28
2.10 ไม้ (Wood).....	32
2.11 แผ่นพาร์ทิเคิล (Particle board).....	33
2.11.1 ประเภทของแผ่นพาร์ทิเคิล.....	33
2.11.2 วัตถุดิบและแหล่งวัตถุดิบแผ่นพาร์ทิเคิล.....	33
2.11.3 กรรมวิธีการผลิตแผ่นพาร์ทิเคิล.....	34
2.11.4 ต้นทุนการผลิตแผ่นพาร์ทิเคิล.....	34
2.11.5 ผลิตภัณฑ์แผ่นพาร์ทิเคิล.....	34
2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	35

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	40
3.1 สารเคมี.....	40
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	41
3.3 การเตรียมสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์(PVA).....	42
3.4 การเตรียมกาวไม้.....	43
3.5 การขึ้นรูปแผ่นพาร์ทิเคิล.....	45
3.6 การทดสอบ.....	47
3.6.1 การทดสอบสมบัติของกาวไม้.....	47
3.6.1.1 การหาค่าความหนืด.....	47
3.6.1.2 การหาค่าปริมาณของแข็ง (solid content%).....	47
3.6.1.3 การหาค่าการบวมตัวของฟิล์มกาว.....	47
3.6.2 การทดสอบสมบัติของแผ่นพาร์ทิเคิลที่ขึ้นรูปโดยใช้กาว PVA ตามมาตรฐาน JIS A 5908 และ มอก.876.....	48
3.6.2.1 ความหนาแน่น (Density).....	48
3.6.2.2 การทดสอบหาความชื้น (Moisture content).....	48
3.6.2.3 การทดสอบการพองตัวทางความหนา (Swelling test).....	49
3.6.2.4 การทดสอบความแข็งแรงดัดโค้งงอ 3 จุดและมอดุลัสยืดหยุ่น (Bending strength and Bending Modulus test).....	50
3.6.2.5 การทดสอบความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า (Internal bond)...	50
บทที่ 4 ผลการทดลอง และการอภิปรายผล.....	52
4.1 การวิเคราะห์สมบัติของกาวผสมสูตร.....	52
4.1.1 ค่าความหนืด.....	56
4.1.2 ปริมาณของแข็ง.....	57
4.1.3 การหาค่าการบวมตัวของฟิล์มกาว.....	59
4.2 การทดสอบสมบัติของแผ่นไม้พาร์ทิเคิลที่ขึ้นรูปโดยใช้กาวผสมสูตรที่ศึกษา.....	61
4.2.1 ความหนาแน่นและความชื้นของแผ่นไม้พาร์ทิเคิล.....	62
4.2.2 สมบัติเชิงกล.....	64

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.2.1 ชนิดของน้ำมันชักแห้งธรรมชาติ.....	64
4.2.2.2 ผลของสารเร่งปฏิกิริยา.....	67
4.2.2.3 ผลของสารตัวเติมซิลิกา.....	69
4.2.2.4 ผลของชนิดไม้.....	71
4.2.2.5 ผลจากชนิดของสารตัวเติมซิลิกา.....	73
4.2.2.6 ผลของขนาดชิ้นไม้.....	76
4.2.2.7 ผลของน้ำมันผสม.....	78
4.2.3 ค่าการพองตัวของความหนาของแผ่นไม้พาร์ทิเคิล.....	79
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	88
ประวัติผู้เขียน.....	90
เอกสารอ้างอิง.....	92
ภาคผนวก.....	96
ภาคผนวก ก (มาตรฐานการทดสอบแผ่นไม้พาร์ทิเคิล).....	97
ภาคผนวก ข (มาตรฐานการทดสอบแผ่นไม้พาร์ทิเคิล).....	98
ภาคผนวก ค (ผลการทดสอบสมบัติของกาว).....	99
ภาคผนวก ง (ผลการทดสอบสมบัติของแผ่นพาร์ทิเคิล).....	108

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สมบัติของพอลิไวนิลอัลกอฮอล์.....	11
2.2 โครงสร้างของกรดไขมันชนิดต่างๆ.....	16
2.3 ส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญของเส้นใยลินิน (Flax fiber).....	20
2.4 กรดไขมันที่สำคัญของน้ำมันลินสีด (Linseed oil).....	21
2.5 สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของน้ำมันลินสีด.....	23
2.6 ปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบหลักของน้ำมันทั้ง.....	24
2.7 สมบัติทางกายภาพของโพสแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต (Potassium persulfate).....	27
2.8 สมบัติทางกายภาพของซิลิกา.....	28
3.1 สมบัติของซิลิกาชนิด A.....	40
3.2 สมบัติของซิลิกาชนิด B.....	40
3.3 อัตราส่วนผสมของกาว.....	44
4.1 สูตรกาวและชนิดไม้ที่ทำการศึกษา.....	53
4.2 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของสูตรกาวโดยปรับเปลี่ยนชนิดและอัตราส่วนของน้ำมันผสม.....	56
4.3 solid content (%) และการบวมตัว (%) ของกาวสูตรต่างๆ.....	58
4.4 ค่าความหนาแน่นและค่าความชื้นของแผ่นไม้พาร์ทิเคิล.....	62
4.5 ผลการทดสอบสมบัติของแผ่นไม้ที่ขึ้นรูปด้วยกาวสูตรน้ำมันผสม.....	78
4.6 ค่าการทดสอบของแผ่นไม้พาร์ทิเคิลจากสูตรกาวที่ดีที่สุด.....	85

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การสังเคราะห์พอลิไวนิลอัลกอฮอล์จากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส และปฏิกิริยาเมทาโนไลซิสจากพอลิไวนิลอะซีเตต.....	10
2.2 โครงสร้างโมเลกุลของกรดลิโนเลอิก (Linoleic acid).....	22
2.3 โครงสร้างโมเลกุลของกรดโอเลอิก (Oleic acid).....	22
2.4 โครงสร้างโมเลกุลของกรดปาล์มมิติก (Palmitic acid).....	22
2.5 โครงสร้างโมเลกุลของกรดไมริสติก (Myristic acid).....	22
2.6 โครงสร้างโมเลกุลของกรดลิโนลินิก (Linoleic acid).....	22
2.7 โครงสร้างโมเลกุลของกรดอีลีโอสเตอริก (Eleostearic acid).....	24
2.8 ผลและน้ำมันจากต้นทัง.....	25
2.9 โครงสร้างโมเลกุลของ PTSA.....	27
2.10 โครงสร้างโมเลกุลของ KPS.....	27
2.11 รูปแบบต่างๆ ของการเชื่อมต่อของ SiO ₄ Tetrahedral ในโครงสร้างพื้นฐานของซิลิกา.....	29
2.12 โครงสร้างของอสัณฐานซิลิกา.....	30
2.13 การเปลี่ยนแปลงวัฏภาคของซิลิกา.....	31
2.14 โครงสร้างของ Crystalline-Silica.....	31
3.1 อุปกรณ์ฟั่นกาว.....	42
3.2 เครื่องผสมขึ้นไม้กับกาว.....	42
3.3 เครื่องตัดแผ่นพาร์ทิเคิล.....	42
3.4 ตู้อบ.....	42
3.5 การเตรียมสารละลายพอลิไวนิลอัลกอฮอล์.....	43
3.6 ขั้นตอนการเตรียมกาว.....	45
3.7 ขั้นตอนการเตรียมแผ่นพาร์ทิเคิล.....	46
3.8 การทดสอบการพองตัวของความหนา.....	49
3.9 การทดสอบความแข็งแรงคัดโค้งงอ 3 จุดและมอดูลัสยืดหยุ่น.....	50
3.10 การทดสอบแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า.....	51
4.1 ลักษณะและขนาดของขึ้นไม้ยาราชขนาดเบอร์ 1-4.....	55
4.2 ปฏิกิริยาการเชื่อมโยงของพันธะคู่ภายในโมเลกุลของน้ำมันทัง.....	59

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.3 ปฏิบัติการเชื่อมโยงของพันธะคู่ระหว่างโมเลกุลของน้ำมันทั้ง.....	60
4.4 ปฏิบัติการทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน (Trans-esterification).....	60
4.5 การเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างน้ำมันซักแห้ง พอลิไวนิลอัลกอฮอล์ เซลลูโลส และพื้นผิวของซิลิกา (Silanol group).....	61
4.6 แผ่นไม้พาร์ทิเคิล.....	62
4.7 ผลของค่าความแข็งแรงดัด โค้งงอ 3 จุด ของแผ่นไม้พาร์ทิเคิล (ชนิดของน้ำมันซักแห้งธรรมชาติ).....	65
4.8 ผลของค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของแผ่นไม้พาร์ทิเคิล (ชนิดของน้ำมันซักแห้งธรรมชาติ).....	65
4.9 ผลของค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นไม้พาร์ทิเคิล (ชนิดของน้ำมันซักแห้งธรรมชาติ).....	66
4.10 ผลของค่าความแข็งแรงดัด โค้งงอ 3 จุด ของแผ่นไม้พาร์ทิเคิล (การเติมและไม่เติมตัวเร่ง- ปฏิกิริยา).....	67
4.11 ของค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของแผ่นไม้พาร์ทิเคิล (การเติมและไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา).....	68
4.12 ผลของค่าความแข็งแรงต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นไม้พาร์ทิเคิล (การเติมและไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา).....	68
4.13 ผลของค่าความแข็งแรงดัด โค้งงอ 3 จุดของแผ่นไม้พาร์ทิเคิลโดยศึกษาปัจจัยปริมาณ ของซิลิกาในสูตรกาว (ปริมาณของสารตัวเติมซิลิกา).....	69
4.14 ค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของแผ่นไม้พาร์ทิเคิล โดยศึกษาปัจจัยปริมาณของซิลิกาใน สูตรกาว (ปริมาณของสารตัวเติมซิลิกา).....	70
4.15 ค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นไม้พาร์ทิเคิล โดยศึกษาปัจจัยปริมาณ ของซิลิกาในสูตรกาว (ปริมาณของสารตัวเติมซิลิกา).....	71
4.16 ค่าความแข็งแรงดัด โค้งงอ 3 จุด ของแผ่นไม้พาร์ทิเคิล (ชนิดของ ไม้ในกรณีน้ำมันทั้ง).....	72
4.17 ค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของแผ่นไม้พาร์ทิเคิล (ชนิดของ ไม้ในกรณีน้ำมันทั้ง).....	73
4.18 ค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นพาร์ทิเคิล (ชนิดของ ไม้ในกรณีน้ำมันทั้ง).....	73
4.19 ค่าความแข็งแรงดัด โค้งงอ 3 จุด ของแผ่นไม้พาร์ทิเคิลที่ใช้ซิลิกาต่างชนิดกัน.....	74

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.20 ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของแผ่นไม้พาร์ทิเคิลที่ใช้ชนิดต่างกัน.....	74
4.21 ค่าค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นไม้พาร์ทิเคิลที่ใช้ชนิดต่างกัน..	75
4.22 ค่าความแข็งแรงดัด โค้งงอ 3 จุด ของแผ่นไม้พาร์ทิเคิลที่ใช้ขนาดของชิ้นไม้ต่างกัน.....	76
4.23 ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของแผ่นไม้พาร์ทิเคิลที่ใช้ขนาดของชิ้นไม้ต่างกัน.....	76
4.24 ค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นไม้พาร์ทิเคิลที่ใช้ขนาดของ ชิ้นไม้ต่างกัน.....	77
4.25 ค่าการพองตัวทางความหนาในกรณีที่ใช้น้ำมันชักแห้งต่างชนิดกัน (มาตรฐาน มอก.876)..	80
4.26 ค่าการพองตัวทางความหนาในกรณีที่ใช้น้ำมันชักแห้งต่างชนิดกัน (มาตรฐาน JIS A 5908).....	80
4.27 ค่าการพองตัวทางความหนาในกรณีที่เติมและไม่เติมสารเร่งปฏิกิริยา (มาตรฐาน มอก.876).....	81
4.28 ค่าการพองตัวทางความหนาในกรณีที่เติมและไม่เติมสารเร่งปฏิกิริยา (มาตรฐาน JIS A 5908).....	81
4.29 ค่าการพองตัวทางความหนาในกรณีใช้ไม้ต่างชนิดกัน (มาตรฐาน มอก.876).....	82
4.30 ค่าการพองตัวทางความหนาในกรณีใช้ไม้ต่างชนิดกัน (มาตรฐาน JIS A 5908).....	82
4.31 ค่าการพองตัวทางความหนาในกรณีใช้สารตัวเติมชนิดต่างกัน (มาตรฐาน มอก.876).....	83
4.32 ค่าการพองตัวทางความหนาในกรณีใช้สารตัวเติมชนิดต่างกัน (มาตรฐาน JIS A5908).....	83
4.33 ค่าการพองตัวทางความหนาในกรณีใช้ชิ้นไม้ต่างขนาดกัน(มาตรฐาน มอก.876).....	84
4.34 ค่าการพองตัวทางความหนาในกรณีใช้ชิ้นไม้ที่ต่างขนาดกัน.....	84

สัญลักษณ์และคำย่อ

PVA	พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly (vinyl alcohol))
PVAc	พอลิไวนิลอะซิเตต (Poly(vinyl acetate))
KPS	โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต (Potassium persulfate)
PTSA	กรดพาราโทลูอินซัลโฟนิก (<i>p</i> -toluene sulfonic acid)
SLS	โซเดียมลอริลซัลเฟต (Sodium lauryl sulfate)
PB	แผ่นพาร์ทิเคิล (Particle board)
MDF	แผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง (Medium density fiber board)
FB	แผ่นเกล็ดไม้อัด (Flake board)
OSB	แผ่นเกล็ดไม้อัดเรียงชั้น (Oriented strand board)
JIS	มาตรฐานอุตสาหกรรมญี่ปุ่น (Japanese Industrial Standard)
มอก.	มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (Thailand Industrial Standard 876)

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาของงานวิจัย [1-3]

อุตสาหกรรมกาวเป็นหน่วยธุรกิจที่ทำหน้าที่ผลิตและขายกาวประเภทต่างๆ เช่น กาวลาเท็กซ์ กาวแห้งเร็ว กาวน้ำ กาวร้อน (Hot melt) เป็นต้น เข้าไปในอุตสาหกรรมต่างๆ ที่มีความต้องการใช้กาว เช่น อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมน้ำอัดลม อุตสาหกรรมเครื่องดื่มชูกำลัง อุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ เป็นต้น จะเห็นได้ว่าเกือบทุกอุตสาหกรรมมีความต้องการกาวเพื่อเป็นส่วนหนึ่งในอุตสาหกรรมของตนเพื่อใช้ในการยึดติดชิ้นงาน เราสามารถนำกาวแต่ละประเภทมาใช้ในงานได้อย่างเหมาะสม สะดวก ปลอดภัย ผู้ใช้ต้องมีความเข้าใจในตัวคุณสมบัติ วิธีการใช้งานของกาวแต่ละชนิด เพื่อช่วยประหยัดต้นทุน

กาวที่ใช้ในอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ไม้ โดยเฉพาะเฟอร์นิเจอร์ไม้พาร์ทิเคิลบอร์ดใช้กาวหลายประเภท แต่ที่นิยมใช้ คือ กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ ซึ่งมีไอรระเหยเป็นอันตรายต่อร่างกาย ปัญหาสำคัญในอุตสาหกรรมงานไม้และเฟอร์นิเจอร์คือสารพิษจากกระบวนการผลิต ปัจจุบันแผ่นไม้พาร์ทิเคิลเป็นวัสดุทดแทนไม้แท้ที่นิยมนำมาทำเฟอร์นิเจอร์มากที่สุด เนื่องจากการใช้แผ่นไม้พาร์ทิเคิลช่วยลดปริมาณการตัดต้นไม้ม และสามารถใช้ไม้คุณภาพต่ำ รวมถึงสามารถนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์และเป็นการเพิ่มมูลค่าอีกด้วย วัสดุสำคัญที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปแผ่นไม้พาร์ทิเคิลคือกาวติดไม้ซึ่งช่วยประสานชิ้นไม้ให้เป็นแผ่นและมีความแข็งแรง กาวติดไม้ในอุตสาหกรรมแผ่นไม้พาร์ทิเคิลส่วนใหญ่จะมีองค์ประกอบของสารฟอร์มัลดีไฮด์ ซึ่งเป็นสารเคมีที่ได้จากกระบวนการผลิตปิโตรเลียม สารฟอร์มัลดีไฮด์มักใช้เป็นส่วนผสมในกาว ผสมในสีบางประเภท หรือแม้แต่ในยาทาเล็บ สำหรับเฟอร์นิเจอร์จะพบฟอร์มัลดีไฮด์ในกาวผสมานไม้แผ่นพาร์ทิเคิลและไม้อัด เฟอร์นิเจอร์จากไม้อัดตามปกตินั้นจะมีการระเหยของฟอร์มัลดีไฮด์ออกมาตลอดเวลาสังเกตได้ว่าเมื่อซื้อเฟอร์นิเจอร์ใหม่ จะเหม็นและแสบจมูกมาก เมื่อเวลาผ่านไปจะจางลงแต่สารฟอร์มัลดีไฮด์ยังคงระเหยออกมาอยู่เรื่อยๆ โดยองค์กรเพื่อการปกป้องสิ่งแวดล้อมของสหรัฐฯ (The U.S. Environmental Protection Agency) และ องค์การนาานาชาติเพื่อการค้นคว้าวิจัยโรคมะเร็ง (The International Agency for Research on Cancer (IARC)) ได้ประกาศถึงพิษภัยของสารฟอร์มัลดีไฮด์ว่าเป็นสารก่อภูมิแพ้ เมื่อสูดดมสารระเหยที่ออกมาจากเฟอร์นิเจอร์ที่มีฟอร์มัลดีไฮด์เป็นส่วนประกอบจะนำไปสู่โรคภูมิแพ้ โรคหอบหืด โรคเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจ ซึ่งอาจนำไปสู่โรคมะเร็งในระบบทางเดินหายใจได้ และถ้าสูดดมไอรระเหยเกิน 100 ppm อาจทำให้ตายได้ โดยอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ไม้พาร์ทิเคิลบอร์ด มีสัดส่วนการส่งออกอยู่ประมาณร้อยละ 60 ของยอดการ

ผลิตทั้งหมด อีกทั้งกลุ่มผู้นำเข้าเฟอร์นิเจอร์ไม้พาร์ทิเคิลบอร์ด ได้แก่ ประเทศสหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น และสหภาพยุโรป ได้มีการกำหนดมาตรฐานการปลดปล่อยสารฟอร์มัลดีไฮด์ในเฟอร์นิเจอร์พาร์ทิเคิลบอร์ด ได้แก่ 1) ประเทศสหรัฐอเมริกา กำหนดให้สินค้าจากไม้พาร์ทิเคิลบอร์ดจะต้องผ่านการรับรองจากคณะกรรมการควบคุมมลพิษทางอากาศของ รัฐแคลิฟอร์เนีย CARB (California Air Resource Board) ซึ่งเป็นกฎหมายควบคุมการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde emission) 2) สหภาพยุโรป (EU) มีมาตรฐานสิ่งแวดล้อมสำหรับสินค้าเฟอร์นิเจอร์ (EU Formaldehyde Emission-Standard) โดยเฟอร์นิเจอร์จะต้องอยู่ในระดับ E0 (ปลดปล่อยสารฟอร์มัลดีไฮด์ ได้ไม่เกิน 0.07 ppm) เริ่มใช้ปี 2554 3) ประเทศญี่ปุ่นใช้มาตรฐาน Japanese F*** (ปลดปล่อยสารฟอร์มัลดีไฮด์ ได้ไม่เกิน 0.09 ppm) ซึ่งระดับดังกล่าวสอดคล้องกับสมบัติของกาวติดไม้จากพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ปรับปรุงด้วยน้ำมันชักแห้งธรรมชาติ

ประเทศไทยส่งออกไม้และผลิตภัณฑ์ไม้ไปจำหน่ายในสหรัฐฯ มีมูลค่าเฉลี่ยปีละ 5,095 ล้านบาท (ปี 2548 - 2550) โดยในปี 2550 มีมูลค่าการส่งออกทั้งสิ้น 4,148 ล้านบาท ลดลงจากช่วงเวลาเดียวกันของปีก่อน ร้อยละ 24 ซึ่งมีมูลค่าส่งออก 5,478 ล้านบาท สำหรับในปี 2551 (ม.ค.-พ.ย.) มีมูลค่าการส่งออกทั้งสิ้น 3,106 ล้านบาท ลดลงจากช่วงเวลาเดียวกันของปีก่อนร้อยละ 18.8% โดยรวม ดังนั้นการศึกษาภาวะเปรียบเทียบดังกล่าวจะช่วยให้ผู้ประกอบการเตรียมความพร้อมในการผลิตไม้ให้สอดคล้องกับระเบียบได้อย่างถูกต้อง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการส่งออกไม้และผลิตภัณฑ์ไม้ไปยังประเทศเหล่านี้ด้วย อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนมาใช้แผ่นไม้พาร์ทิเคิลที่ปราศจากสารฟอร์มัลดีไฮด์ ทำให้ต้นทุนสูงขึ้นเนื่องจากกาวที่ปลอดฟอร์มัลดีไฮด์มีราคาแพงกว่ากาวที่ใช้ฟอร์มัลดีไฮด์ ประมาณ 10 - 20 เท่า ทำให้เฟอร์นิเจอร์ที่ผลิตจากไม้พาร์ทิเคิลที่ปราศจากสารฟอร์มัลดีไฮด์แพงไปด้วย

กลุ่มวิจัยได้มีการศึกษาก่อนหน้านี้ในการเตรียมกาวที่ปราศจากฟอร์มัลดีไฮด์โดยการใช้วัตถุดิบหลักคือ พอลิไวนิลอัลกอฮอล์และน้ำมันชักแห้งธรรมชาติคือน้ำมันลินสีดและน้ำมันทัง ผลที่ได้คือการใช้น้ำมันลินสีดให้ความแข็งแรงในระดับหนึ่ง กาวที่ได้มีสีค่อนข้างขาวและไม่มึกลิ่นเหม็น แต่การใช้น้ำมันทังให้ค่าความแข็งแรงที่มากกว่าแต่กาวจะมีกลิ่นเหม็นของน้ำมันทังและมีสีที่ค่อนข้างเข้มเป็นผลมาจากน้ำมันทัง [4-5]

งานวิจัยนี้จึงศึกษาการเตรียมกาวติดไม้ที่ปราศจากสารฟอร์มัลดีไฮด์ โดยมีองค์ประกอบหลักเป็นพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ และน้ำมันชักแห้งธรรมชาติ และเติมสารตัวเติมเสริมแรงประเภทซิลิกา ซึ่งกาวที่ผลิตได้มีองค์ประกอบหลักเป็นน้ำไม่มีตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีความเป็นพิษ ไม่มีการปลดปล่อยสารพิษที่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้งาน จึงมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม รวมทั้งจะเป็นพื้นฐานสำหรับการผลิตในอุตสาหกรรมส่งออกเฟอร์นิเจอร์ต่อไปในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เตรียมกาวปราศจากสารฟอร์มาลดีไฮด์ โดยเลือกใช้พอลิไวนิลอัลกอฮอล์และน้ำมันชักแห้งธรรมชาติเป็นสารตั้งต้น
2. ศึกษาผลของสารตัวเติมอนินทรีย์ชนิดซิลิกา

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. เตรียมกาวติดไม้ PVA ที่ทำการปรับปรุงสมบัติด้วยน้ำมันชักแห้งธรรมชาติ ได้แก่ น้ำมันลินสีด และ น้ำมันถั่ว
2. ทดสอบสมบัติกาว
3. หาสถานะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปแผ่นไม้พาร์ทิเคิล ได้แก่ อัตราส่วนกาวต่อเนื้อไม้
4. ศึกษาผลของการเติมสารตัวเติมอนินทรีย์ซิลิกา : เกรดและปริมาณที่ต่างกัน
5. ศึกษาสมบัติของแผ่นไม้พาร์ทิเคิลที่ขึ้นรูปด้วยกาวสูตรต่างๆ ขนาดขึ้นไม้ที่ต่างกัน
6. ทดสอบสมบัติของแผ่นไม้พาร์ทิเคิลตามมาตรฐานแผ่นไม้พาร์ทิเคิล JIS A 5908 และ มอก.876

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. สามารถเตรียมกาวติดไม้สำหรับแผ่นพาร์ทิเคิล ที่ใช้พอลิไวนิลอัลกอฮอล์ปรับปรุงสมบัติโดยใช้ น้ำมันชักแห้งธรรมชาติ ซึ่งสามารถนำมาทดแทนกาวที่มีองค์ประกอบของสารฟอร์มาลดีไฮด์ที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมและมนุษย์
2. กาวที่เตรียมได้สามารถนำไปขึ้นแผ่นไม้พาร์ทิเคิลได้ และผ่านการทดสอบตามมาตรฐาน คือ JIS A 5908 และ มอก.876
3. นำไปใช้ในงานอุตสาหกรรมงานไม้แผ่นพาร์ทิเคิลที่ปราศจากสารฟอร์มาลดีไฮด์ ซึ่งเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมในอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ของประเทศไทย และสามารถส่งผลิตภัณฑ์ออกไปยังต่างประเทศได้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กาว (Adhesive) [4]

กาวหมายถึงสารที่ใช้สำหรับยึดติดผิวหน้าของวัสดุสองชิ้นให้สามารถยึดติดกันได้โดยมีความแข็งแรงของวัสดุที่เชื่อมยึดกันเพียงพอต่อการนำไปใช้ประโยชน์ในงานต่างๆ ตามต้องการ แม้ว่าในบางครั้งเราอาจจะไม่ได้เป็นผู้ที่ต้องใช้กาวในการปฏิบัติงานโดยตรง แต่ก็เป็นผู้ใช้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่เป็นผลผลิตจากความจำเป็นในการใช้กาวเป็นสารเชื่อมติดประกอบขึ้นมา ได้แก่ เครื่องใช้ในสำนักงาน เครื่องเรือน วัสดุตกแต่งบ้าน เป็นต้น

ผลิตภัณฑ์ไม้ต่างๆ เป็นผลิตภัณฑ์อีกชนิดหนึ่งที่ต้องใช้กาวในการยึดติดเป็นส่วนใหญ่ เช่น เครื่องเรือนไม้ ทั้งประเภทเครื่องเรือนจากไม้จริง (Solid wood) และจากไม้ประกอบ (Wood composites) โดยเฉพาะอย่างยิ่งไม้ประกอบ เช่น แผ่นซีเอ็มเอ็ล (MDF) แผ่นใยไม้อัด (Fiberboard) แผ่นไม้บางประสาน และไม้ประสาน เป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องใช้กาวมากที่สุด

2.1.1 ประเภทของกาว

กาวแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ คือ

ก. กาวธรรมชาติ (Natural adhesive)

กาวธรรมชาติส่วนใหญ่ได้จากพืช เช่น ยางเหนียวของต้นไม้ แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวโพด และแป้งมันฝรั่ง หรือจากสัตว์ เช่น กาวที่ผลิตขึ้นจากหนังและกระดูกสัตว์ ซึ่งโดยปกติกาวที่ได้จากธรรมชาติจะมีความแข็งแรงและความต้านทานน้ำต่ำกว่ากาวที่ได้จากการสังเคราะห์

ข. กาวสังเคราะห์ (Synthetic adhesive)

กาวสังเคราะห์เป็นกาวที่ผลิตจากพลาสติกประเภทเทอร์โมเซตและเทอร์โมพลาสติก ซึ่งกาวประเภทเทอร์โมเซตจะไม่สามารถทำให้อ่อนตัวหรือละลายได้อีก หลังจากได้รับการอบด้วยความร้อนแล้ว แต่กาวประเภทเทอร์โมพลาสติกสามารถทำให้อ่อนได้อีก โดยการให้ความร้อนอีกครั้ง หรือด้วยตัวทำละลาย

2.1.2 กาวติดไม้ (Wood adhesive)

ประเภทกาวติดไม้แบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลักๆ ดังนี้

2.1.2.1 แข็งตัวเมื่อร้อน (Thermosetting resins)

กาวเรซินชนิดแข็งตัวเมื่อร้อนเป็นกาวที่เมื่อได้รับความร้อนจะแปรสภาพเป็นแผ่นแข็งที่ไม่สามารถหลอมละลายได้อีก เป็นกาวเรซินที่แข็งตัวโดยการทำปฏิกิริยาทางเคมีเกิดเป็น โมเลกุลที่มีโครงสร้างสามมิติ กลายสภาพเป็นของแข็งในเวลาเดียวกันกับเกิดการยึดติดกับไม้ กาวชนิดนี้แบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่ม

- ก. กาวเรซินชนิดที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างฟอร์มัลดีไฮด์กับยูเรีย เมลามีน ฟีนอลหรือสารอื่น
- ข. กาวชนิดที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาแทนนินกับฟีนอลหรือฟอร์มัลดีไฮด์
- ค. กาวเรซินชนิดไอโซไซยานต
- ง. กาวอีพอกซี

ก.1 กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ (UF, Urea Formaldehyde)

กาวชนิดแรกที่ได้รับการพัฒนาอย่างกว้างขวาง ซึ่งมีการใช้กันมาร่วม 60 กว่าปีแล้ว เป็นกาวที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เริ่มจากใช้ฟอร์มัลดีไฮด์ผสมกับยูเรียให้ความร้อนในส่วนผสมที่เป็นค่าทำให้เกิดเมทิลอลยูเรีย แต่ยังไม่เป็นกาว แล้วทำปฏิกิริยาในส่วนผสมที่เป็นกรด จึงหยุดปฏิกิริยาโดยเติมด่างให้มีสภาพเป็นกลาง จากนั้นทำการกำจัดน้ำออกจากส่วนผสมที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาควบน้ำจนได้ส่วนผสมกาวที่เข้มข้นหรือจะระเหยน้ำต่อไปจนได้เป็นผงโดยนำกาวเข้มข้นไปพ่นผ่านรูเล็กๆ ในปล่องความร้อนที่ให้ความร้อนสูงถึง 200°C กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ มีการจำหน่ายทั้งในสภาพของเหลว และเป็นผง ชนิดผงมีทั้ง ประเภทถุงเดี่ยวและชนิด 2 ถุง โดยถุงเดี่ยวจะมีการผสมสารเร่งแข็งด้วย หากชนิด 2 ถุง ก็จะแยกเป็นถุงกาวผงยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ 1 ถุง อีกถุงหนึ่งก็จะ เป็นสารเร่งแข็งที่อาจจะผสมสารอื่นได้ด้วย เช่น แป้งสาลี แป้งอื่นๆ ผงดินขาว (Kaolin) แคลเซียมซัลเฟต การเตรียมกาวโดยนำกาวผงหลักหรือกาวน้ำ มาผสมกับน้ำแล้วผสมกับสารช่วยให้กาวแข็งตัว (Hardener) เมื่อเข้ากันได้ดีแล้ว จึงนำไปทาบนผิวไม้ที่จะทำการยึดติด สารช่วยให้กาวแข็งตัวจะมีสภาพเป็นกรด ซึ่งจะปรีเริ่มให้เกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยง โดยมีการให้ความร้อนกับแนว กาวเป็นตัวเร่งให้แข็งตัวยิ่งขึ้น สารช่วยให้กาวแข็งตัวที่ใช้กับกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ควรเป็นชนิด กรดอ่อนมากๆ เนื่องจากหากใช้กรดแก่จะทำให้ผิวไม้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเป็นผลให้แนว กาวเสียหาย การลดการปลดปล่อยสารฟอร์มัลดีไฮด์จากผลิตภัณฑ์ไม้ที่ใช้กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ ควรลด สัดส่วนโมล F:U ในการสังเคราะห์กาวเรซินจาก 1.8:1 หรือ 2.0:1 ให้ต่ำกว่า 1.6:1 หรือในบางกรณีต่ำถึง 1.2:1 การใช้สัดส่วนโมลของฟอร์มัลดีไฮด์ต่อยูเรีย (F:U) ต่ำๆ นอกจากจะทำให้ต้องเพิ่ม ระยะเวลาในการสังเคราะห์เรซินแล้ว กาวที่ได้จะต้องใช้ระยะเวลาในการทำให้แข็งตัวนานขึ้นด้วย และยังทำให้ความแข็งแรงของการยึดติดมีแนวโน้มต่ำลง ความต้านทานความชื้นลดลง ระยะเวลา การเก็บรักษา (ความเสถียร) ลดลง การลดสารฟอร์มัลดีไฮด์ของกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ในการ ปฏิบัติงานนั้นสามารถทำได้โดยเติมสารอื่น เช่น ยูเรีย เมลามีน แทนนิน โซเดียมไดซัลไฟด์ และ กรดอินทรีย์อ่อนๆ แต่ก็จะทำให้การคงทนต่อน้ำและอุณหภูมิสูงลดต่ำลง ซึ่งก็จะไม่แนะนำให้ใช้

ในการต่อไม้ที่ต้องใช้ในที่ที่มีความชื้นและมีความร้อน กาวเรซินยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์มีการใช้โดยทั่วไปในการผลิตแผ่นไม้อัด แผ่นพาร์ทิเคิล แผ่น MDF แผ่นไม้ไผ่ระแนง และนิยมใช้กันมากในการปิดผิวไม้บางบนงานเครื่องเรือน แต่ก็ต้องระมัดระวังว่าเป็นกาวที่เหมาะสมต่อการใช้งานเพียงพอนทนทานต่อความชื้นแต่ไม่ต้านทานน้ำ

ก.2 กาวเมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์ (MF, Melamine Formaldehyde)

กาวชนิดนี้เป็นกาวที่คล้ายคลึงกับกาว UF มีการนำมาใช้หลังกาว UF ประมาณ 20 กว่าปี กาว UF และ MF เกิดจากการทำปฏิกิริยาของส่วนอะมิโนกับสารฟอร์มาลดีไฮด์ ภายใต้อุณหภูมิและความร้อนกับสารละลายผสมที่เหมือนกัน แต่ฟอร์มาลดีไฮด์ใน MF จะทำปฏิกิริยารวดเร็วกว่าใน UF ด้วยเหตุนี้การทำกาว MF จึงมีการปลดปล่อยสารระเหยฟอร์มาลดีไฮด์ที่น้อยกว่ากาว UF กาว UF และ MF ใช้สารช่วยให้แข็งเหมือนกัน ลักษณะของกาว จะเป็นกาวขาวใสเหมือนกัน ซึ่งก็จะทำให้ได้แนวกาวที่ใส กาว MF จำเป็นต้องใช้อุณหภูมิที่ทำให้แข็งตัวที่สูงกว่า UF แต่มีความต้านทานน้ำและอุณหภูมิสูงได้ดีกว่า ข้อเสียคือราคา MF ซึ่งสูงกว่าราคา UF ถึง 4 – 5 เท่า จึงมีการนำมาผสมกับกาว UF เพื่อลดต้นทุนลง เรียกว่า MUF glues ซึ่งคุณสมบัติของกาว MUF ขึ้นอยู่กับสัดส่วนของการผสมระหว่าง MF และ UF ยกตัวอย่างเช่น สัดส่วนการผสมของกาว MF ต่อ UF เท่ากับ 40:60 จะช่วยปรับปรุงความต้านทานต่อสถานะแรงในการบ่มรุนแรงได้อย่างเห็นได้ชัด กาวเมลามีนมักนิยมใช้ในการผลิตแผ่น (Particle board) ที่มีคุณสมบัติพิเศษ โดยเฉพาะการต้านทานต่อความชื้นและสภาพพื้นฟ้าอากาศร้อนของแผ่น MDF กาวเมลามีน ยังมีการใช้ในการต่อไม้ที่ต้องการใช้ชิ้นงานในสภาพที่เปียกชื้นด้วย

ก.3 กาวฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์ (PF, Phenol Formaldehyde)

กาวเรซิน PF มีการผลิตใช้ก่อน UF และ MF เรซิน แต่กลับนำเข้ามาใช้ในงานไม้ในราว ปี ค.ศ. 1930 มีการใช้กันมากในการผลิตแผ่นไม้อัดชนิดใช้งานในทะเล Marine plywood, Particle board และ OSB สำหรับใช้งานในการก่อสร้าง กาว PF มี 2 ชนิด คือ รีโซล (Resoles) และ โนวอลแลค (Novolacs) ชนิดรีโซลเป็นชนิดที่ใช้ในการผลิตแผ่นบอร์ดเช่น ไม้อัด PB, MDF, เป็นต้น รีโซลเกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างฟอร์มาลดีไฮด์กับ ฟีนอล ในสารละลายต่างรีโซลต้องใช้อุณหภูมิในการแข็งตัวที่สูงและได้แนวกาวที่มีความต้านทานน้ำความร้อนและเชื้อรา สำหรับกาว PF ชนิดโนวอลแลค สังกะหร่าขึ้นในสถานะที่เป็นกรดและมีสัดส่วนของฟอร์มาลดีไฮด์ที่ต่ำ หากจะต้องทำให้เป็นกาวอัดร้อนจะใช้ เฮกซะเมทิลีน เตตระเอมีนผสม ส่วนใหญ่ใช้ในงานประดิษฐ์กรรมไม้เพื่อผลิตชิ้นงานที่พิเศษ ใช้ผลิต Wafer board ชนิดพิเศษโดยใช้โนวอลแลค และใช้ในการผลิต Densified-wood ซึ่งผลิตโดยการนำไม้บางคล้ายกับการทำไม้อัด แต่แทนที่จะตากอบนไม้บางระหว่างชั้นไม้บางก็ใช้ไม้บางแช่ (Impregnate) อัดกาวในสารละลายกาว แล้วปล่อยให้กาวไหลออก แล้วนำมาเรียงประกบกันตามความหนาที่ต้องการ แล้วอัดด้วยแรงดันสูงมาก เพื่อลดความหนาและได้ไม้เพิ่มความแน่นที่มีสมบัติทนทานต่อการสึกหรอได้ดีมาก

ก.4 กาวฟีนอล-เรซอซินอล ฟอร์มัลดีไฮด์ (P-RF, Phenol-Resorcinol Formaldehyde)

P-RF resins ผลิตโดยการเติมเรซอซินอลผสมในกาวเรซอลที่ระยะสุดท้ายของการสังเคราะห์ เป็นกาวสีน้ำตาลเข้มใช้ในการผลิตคานไม้ประสาน (Laminated beams) โดยมีข้อดี 2 ลักษณะ คือ มีความต้านทานน้ำ และมีความไวในการทำปฏิกิริยาสามารถใช้เป็นกาวที่อุณหภูมิต่ำมากๆ ซึ่งบางครั้งต่ำถึง 5°C ใช้พาราฟอร์มัลดีไฮด์เป็นสารเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) และรอยต่อไม้จะแข็งตัวที่อุณหภูมิ 70°C มักนิยมใช้ผงไม้ผสมในกาวเพื่อปรับปรุงสมบัติและเป็นการอุดช่องว่างไม้ในการติดไม้แปรรูป

ข. กาวแทนนิน (Tannin resins)

สารแทนนินเป็นสารฟีนอลประเภทหนึ่งตามธรรมชาติพบอยู่ในเนื้อไม้และเปลือกไม้ในปริมาณมาก โดยเฉพาะในเปลือกไม้โอ๊ก และวอตเดิล แทนนินหลังจากกำจัดสารอื่นแล้ว เช่น น้ำตาลและกำมะถัน โดยการสกัด แล้วนำมาทำปฏิกิริยากับ PF resin การใช้งานกาวแทนนินยังไม่แพร่หลายนัก แต่ก็มีกานำไปใช้ในบางประเทศเพื่อผลิต PB และ MDF ซึ่งจะทำให้มีความต้านทานความชื้นได้ดี

ค. กาวไอโซไซยาเนต (Isocyanate resins)

กาวไอโซไซยาเนตถูกใช้เป็น Casting resins และตัวกลางของสี (Paint media) ตั้งแต่ราวปี ค.ศ. 1950 แต่ทางด้านงานไม้กลับมีการใช้กันน้อยหรือไม่ได้รับความสนใจในการนำมาใช้เลย จนถึงปี ค.ศ. 1975 ปัจจุบันถูกใช้ในการผลิต PB, MDF และ OSB เมื่อต้องการชิ้นงานที่มีความทนทานสูง โดยจะเกิดการยึดเหนี่ยวทางเคมีกับ ลิกนิน และเซลลูโลสในไม้ มีราคาสูงแต่เมื่อเทียบปริมาณการใช้ในการผลิต PB แล้วใช้ในปริมาณที่ต่ำ เนื่องจากการยึดเหนี่ยวแบบธรรมชาตินี้จะช่วยลดการใช้ไม้วัตถุดิบได้ถึง 15% โดยจะให้ความแข็งแรงเชิงกลที่ระดับเดียวกัน

ง. กาวเรซินอีพอกซี (Epoxy resins)

อีพอกซี เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างบิสฟีนอลเอกับอีพิกลอโรไฮดรินได้เป็นเรซินที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างๆกัน จะมีคุณสมบัติต่างกันไป สารหลายชนิดสามารถนำมาใช้เป็นสารเร่งแข็ง แต่ที่ใช้กันมากแพร่หลายในขณะนี้คือ พอลิเอไมด์ อีพอกซีเรซิน จะแข็งตัวที่อุณหภูมิห้องโดยใช้แรงดันอัดข้อต่อไม้เล็กน้อย มีสมบัติในการอุดช่องว่างได้ดี หากใช้ในงานไม้จะใช้อีพอกซี ที่เป็นของเหลวมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ และไม่ใส่ตัวทำละลายอื่นซึ่งจะแข็งตัวโดยปฏิกิริยาแบบรวมตัว (Addition reaction)

2.1.2.2 กาวเรซินชนิดอ่อนตัวเมื่อร้อน (Hot melt)

กาวเรซินชนิดอ่อนตัวเมื่อให้ความร้อน (Hot melt) ต้องให้ความร้อน และจะกลายเป็นสารยึดติดเมื่อเย็น

ก. กาวเรซินพอลิไวนิลอะซิเตด (PVAc resin)

กาวเรซินพอลิไวนิลอะซิเตด โดยปกติให้อยู่ในรูปอิมัลชัน แม้ว่าจะแข็งตัวโดยการใช้ความร้อนบ้าง แต่จะยังคงอ่อนตัวที่อุณหภูมิสูงๆ สามารถถูกปรับปรุงให้มีความหนืดสูงหรือต่ำ แข็งหรือยืดหยุ่นได้ (Rigidity or flexibility) และยืดหรือไ้แรงกว่าเพื่อให้เกิดสีได้ กาวชนิดนี้มี 2 แบบที่ใช้ในงานไม้คือ

ก.1 แบบโฮโมพอลิเมอร์ ซึ่งจะอ่อนตัวทันทีเมื่อได้รับความร้อน

ก.2 แบบโคพอลิเมอร์ ซึ่งจะมีการใช้สารเร่ง (Catalyst) เพื่อการยึดเหนี่ยวทำให้มีความต้านทานน้ำและความร้อนดีขึ้น แป้งข้าวโพดหรือแป้งชนิดอื่น สามารถเติมลงไปผสมเพื่อเพิ่มความหนืดและป้องกันไม่ให้ออกซิเจนออกจากรูขี้ผึ้งหรือผ่านทะลุช่องว่างของไม้บางออกมา สารเติมจำพวกแร่ธาตุ (Mineral fillers) ก็มีการนำมาใช้แต่ต้องระมัดระวังอย่าให้โดนหรือใช้กับวัสดุที่มีฤทธิ์เป็นด่าง ซึ่งจะลดการแข็งตัวของกาวลง การผสมเกลือโลหะ (Metallic salts) เช่น โครเมียมหรือลูมิเนียมไนเตรด จะปรับปรุงให้การต้านทานน้ำดีขึ้น แต่ก็จะทำให้อายุการใช้งานของกาว (Pot life) สั้นลง การเติมเรซิน UF, MF หรือไอโซไซยานเนต ช่วยปรับปรุงสมบัติของกาวได้ กาว PVAc ใช้กันแพร่หลายสำหรับการติดไม้บาง การติดกระดาษ PVC และแผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์ กับแผ่น PB, Hardboard และ MDF สำหรับการประกอบตู้โต๊ะ เป็นต้น

ข. กาวร้อนเหลวชนิด EVA (EVA hot melt)

กาวเอทิลีนไวนิลอะซิเตดเป็นส่วนผสมของ EVA เรซินซึ่งเป็นตัวหลักในการเกิดการยึดติด (Adhesion) และการแตะติด (Tack) และตัวอุดพวกแร่ธาตุ (Mineral filler) เพื่อเป็นตัวเสริมการยึดจับ (Cohesion) และอุดรูของกาวและยังช่วยลดต้นทุนด้วย นอกจากนี้ยังมีส่วนผสมของซีฟี่งเล็กน้อยเพื่อควบคุมอัตราเร่งการแข็งตัว และยังมีแอนติออกซิแดนต์เพื่อใช้ลดแนวโน้มการเกิดปฏิกิริยาออกซิไดซ์ในหม้อต้มกาวที่ร้อน การผลิตเริ่มโดยการใช้เรซิน, สารเติม (Filler), สารแอนติออกซิแดนต์ ลงในเครื่องผสมแบบ Z-blade ที่ร้อน ซึ่งเป็นเครื่องที่ใช้บดและตัดเรซินร้อน ทันทีที่ส่วนผสมเข้ากันได้ดี ส่วนผสมอื่นที่เหลือถูกเติมและผสมคลุกต่อไปอีก 30 นาที หลังจากนั้นส่วนผสมทั้งหมดจะถูกเทสู่โต๊ะเย็นที่จัดทำขึ้นให้กาวแข็งตัวก่อนจะทำการตัดเป็นเม็ดๆหรืออัดรีด (Extrude) ออกมาเป็นเม็ดหรือรูปร่าง ขนาดต่างๆ ตามต้องการ รูปร่างของกาวเป็นสิ่งสำคัญมากในการนำไปใช้เพื่อให้แน่ใจว่าได้รับความร้อนที่เร็วในการทา กาว สำหรับการติดขอบ (Edge-bander) โดยปราศจากการเกิดการเสื่อมสภาพของกาวจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน เม็ดกาวมักจะถูกเคลือบด้วยแป้ง Talc เพื่อป้องกันการจับเป็นก้อนในถุง เครื่องอัดรีด (Extruders) มีการใช้สำหรับการผสมด้วยเหมือนกัน และสามารถผลิตกาวในลักษณะต่อเนื่อง ซึ่งช่วยให้สามารถทำเป็นเม็ด ได้ง่ายขึ้น อย่างไรก็ตาม เครื่องอัดรีดมีข้อด้อยในเรื่องประสิทธิภาพของการผสมของส่วนผสมต่างๆ ซึ่งไม่ละเอียดเท่ากับเครื่อง Z-blade mixer แต่เหมาะสำหรับการผสมในขั้นต้นก่อนผสมในเครื่อง Z-blade หรือ Blender อันต่อไป โครงสร้างพื้นฐานของ EVA polymer อาจจะมีปริมาณไวนิลอะซิเตดสูง-

ปานกลาง และต่ำ หากมีอะซิเตดในปริมาณสูงจะทำให้มีคุณสมบัติการยึดเหนี่ยวเข้ากันได้ดีกับสารเติมอื่น มีระยะเวลาก่อนประกบ (Open time) ได้นานขึ้น มีความต้านทานความร้อนต่ำลง ละลายในตัวทำละลายได้มากขึ้น กาวร้อนเหลว EVA นี้ นิยมใช้กันมากถึง 80% ในการติดแถบขอบของแผ่นไม้ และก็มีการใช้กันบ้างในการประกบติดไม้ โดยเฉพาะในการใช้ระบบกาวคู่ ร่วมกับกาว PVAc ในระบบนี้กาวร้อนเหลวจะใช้เพื่อยึดข้อต่อหรือส่วนที่ต้องการเชื่อมยึด ในขณะที่กาว PVAc แข็งตัวและเป็นแรงยึดเหนี่ยวหลัก

ค. กาวพอลิเอไมด์ (Polyamide resins)

กาวพอลิเอไมด์มีการใช้ในปริมาณน้อย ส่วนใหญ่สำหรับการติดขอบที่ต้องการความต้านทานต่ออุณหภูมิที่สูงขึ้น กาวชนิดนี้คล้ายไนลอนและเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างกรดไขมันพอลิเมอร์ (Fatty acid polymers) กับ ไดอะมีน (Diamine) ยกต่อการนำมาใช้งาน เนื่องจากจุดหลอมเหลวสูงมากและง่ายต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งอาจทำให้สมบัติการยึดติดเสียไป ดังนั้นในบางครั้งจึงมีการใช้เครื่องทาภายนอกภายใต้สภาวะของก๊าซไนโตรเจน กาวพอลิเอไมด์ มีการใช้ใน USA สำหรับการติดขอบ แต่ไม่เป็นที่แพร่หลายในที่อื่น เนื่องจากมีราคาแพงกว่า EVA และ พอลิยูรีเทนหลายเท่าตัว

ง. กาวพอลิโอลิฟินส์ (Polyolefines)

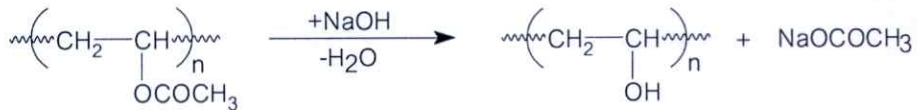
กาวพอลิโอลิฟินส์ใช้งานน้อยในอุตสาหกรรมไม้ เนื่องจากมีสมบัติการยึดติดไม่ดี กาวชนิดนี้เป็นส่วนผสมของพอลิพรอพิลีน พอลิเอทิลีน และเรซินอื่นๆ อาจใช้สำหรับงานติดขอบไม้ มีสมบัติที่ดีน้อยกว่ากาวพอลิเอไมด์ แต่ราคาถูกกว่า

จ. กาวเรซินพอลิยูรีเทน (Polyurethane resins)

กาวเรซินร้อนเหลวพอลิยูรีเทน (Polyurethane hot melt resins) ที่ใช้ในการติดแถบขอบจะมีลักษณะการใช้งานและผลิตภัณฑ์คล้ายกับกาวร้อนเหลวเดิม แต่จะทำปฏิกิริยากับความชื้นในอากาศ และวัสดุที่ต้องการติดเกิดเป็นแนวกาวที่มีสมบัติคล้ายกับการเกิดจากกาวชนิดแข็งตัวเมื่อร้อน (Thermosetting resins) กาวเรซินพอลิยูรีเทน เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างไดออล (Diol) กับ ไดไอโซไซยานเนต (Diisocyanate) เกิดเป็นโครงสร้างร่างแหที่มีหมู่วงไวสูงที่จะทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลต่อไป การใช้งานจะใช้งานที่อุณหภูมิต่ำกว่า EVA เรซิน คือประมาณ 100-140°C ต้องป้องกันความชื้นในการเก็บและระหว่างการใช้ ซึ่งอาจจะต้องใช้อุปกรณ์ปิดภายใต้บรรยากาศก๊าซไนโตรเจน การใช้กาวนี้จะใช้เฉพาะที่ต้องการใช้งานที่มีการยึดเหนี่ยวสูง เช่น เมื่อต้องการติดกาวตรงรอยแตกของประตูกันไฟ มีราคาสูงประมาณมากกว่า 6 เท่าของ EVA แต่คุ้มค่าหากใช้งานที่มีประสิทธิภาพสูง ในบางกรณีใช้ติดแถบขอบโดยไม่ใช้อุปกรณ์ปิดภายใต้บรรยากาศก๊าซไนโตรเจน โดยเครื่องจ่ายกาวจะร้อนเหลวบนผิวที่จะติดกาว ทันทีที่แผ่นถูกทาแล้ว ด้านหน้าของเครื่องจ่ายกาวจะปิดโดยมีแผ่นเลื่อนมาปิดเพื่อป้องกันกาวสัมผัสกับอากาศหรือความชื้น

2.2 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol) [5-7]

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์โดยเตรียมจากพอลิไวนิลอะซิเตต เนื่องจากไวนิลแอลกอฮอล์มอนอเมอร์ ($\text{CH}_2=\text{CHOH}$) ไม่เสถียรจึงสามารถเกิด Tautomerize ไปเป็นอะเซตัลดีไฮด์ (CH_3CHO) ได้ง่าย ดังนั้นจึงไม่นิยมเตรียมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ด้วยวิธีการพอลิเมอไรเซชันของไวนิลแอลกอฮอล์มอนอเมอร์โดยตรง โดยจะเตรียมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส หรือปฏิกิริยามะทาโนไลซิสของพอลิไวนิลอะซิเตต ดังสมการที่ 1 และ 2



รูปที่ 2.1 การสังเคราะห์พอลิไวนิลแอลกอฮอล์จากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (1) และปฏิกิริยามะทาโนไลซิส (2) จากพอลิไวนิลอะซิเตต

สมบัติและการนำไปใช้ประโยชน์

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นเทอร์โมพลาสติกประเภทพอลิโอเลฟินส์ เป็นผงสีขาวจนถึงครีมซึ่งมีสมบัติทั่วไปดังแสดงในตารางที่ 2.1 โดยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีสมบัติพิเศษคือ สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ติดไฟได้คล้ายกระดาษ และยังสามารถละลายน้ำได้ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีหลายเกรดโดยแบ่งตามความหนืดโดยค่าความหนืดที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับองศาการพอลิเมอไรเซชันและเปอร์เซ็นต์ของปฏิกิริยาแอลกอฮอล์ไลซิส โดยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จะสามารถละลายน้ำได้มากขึ้นเมื่อน้ำหนักโมเลกุลลดลง แต่ความแข็งแรงดึงยืด ความทนทานต่อการฉีกขาด และความแข็งแรงโค้งงอดีขึ้นเมื่อน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้น

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ สามารถนำมาใช้งานได้ 2 ลักษณะดังนี้

1) อาศัยสมบัติการละลายน้ำ เช่น ใช้เป็นสารข้น (Thickening agent) ในระบบอิมัลชัน และระบบแขวนลอยต่างๆ และใช้ทำแผ่นฟิล์มเคลือบกระดาษซึ่งมีความใสเหนียว และทนต่อการขีดข่วน

2) นำพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ไปทำปฏิกิริยาเคมีแบบเชื่อมโยงซึ่งจะไม่สามารถละลายได้ในน้ำแล้วจึงนำมาใช้งาน โดยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ไม่ละลายในน้ำนี้สามารถดูดน้ำและความชื้นได้เป็นอย่างดี (ประมาณ 30% โดยน้ำหนัก) จึงใช้เป็นเส้นใยแทนฝ้ายได้ ผ้าที่ทำด้วยเส้นใยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์สวมใส่สบาย ซักง่าย ทนทานต่อการสึกหรอ และสามารถคงรูปได้เป็นอย่างดีที่อุณหภูมิ 230°C

ตารางที่ 2.1 สมบัติของพอลิไวนิลอัลกอฮอล์

ชื่ออื่นๆ	Polyviol, Vinol, Alvy, Alkotex, Covol, Gelvatol, Lemol, Mowiol
ลักษณะภายนอก	เม็ดสีขาวจนถึงครีม
ความหนาแน่น	1.19 - 1.31 g/cm ³
อุณหภูมิหลอมเหลว	228°C
จุดเดือด	230°C
จุดวาบไฟ	79°C

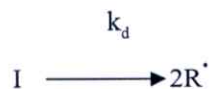
2.3 พอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) [8]

พอลิเมอไรเซชัน คือ ปฏิกิริยาการเตรียมพอลิเมอร์จากมอนอเมอร์ ซึ่งปฏิกิริยาหลักมีสองประเภท คือ พอลิเมอไรเซชันแบบลูกโซ่ หรือ แบบรวมตัว (Chain or addition polymerization) และ พอลิเมอไรเซชันแบบขั้น หรือ แบบควบแน่น (Step or condensation polymerization)

2.3.1 พอลิเมอไรเซชันแบบลูกโซ่หรือแบบรวมตัว

กลไกของการเกิดปฏิกิริยาอาจเป็นแบบอนุมูลอิสระ (Free radical คือ อะตอมหรือกลุ่มอะตอมที่มีอิเล็กตรอนเดี่ยว) หรือ แบบไอออนิก (Ionic) ก็ได้ กลไกแบบปฏิกิริยาลูกโซ่ทุกชนิดมี 3 ขั้นตอน คือ ขั้นริเริ่มปฏิกิริยา (Initiation) ขั้นแผ่ขยายสายโซ่ (Propagation) และขั้นสิ้นสุดสายโซ่ (Termination) สำหรับปฏิกิริยาอนุมูลอิสระ สารที่ใช้เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยาส่วนใหญ่เป็นพวกเปอร์ออกไซด์อินทรีย์ (Organic peroxide) เช่น เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ (Benzoyl peroxide) และเปอร์ออกไซด์อนินทรีย์ (Inorganic peroxide) เช่น โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต เมื่อให้ความร้อนหรือแสงพันธะ -O-O- ของเปอร์ออกไซด์อินทรีย์ จะสลายให้อนุมูลอิสระซึ่งทำหน้าที่ริเริ่มปฏิกิริยาลูกโซ่ โดยขั้นตอนทั้งสามของปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบอนุมูลอิสระมีดังนี้

ในขั้นเริ่มต้นประกอบไปด้วย 2 ปฏิกิริยา ปฏิกิริยาแรกเป็นการสร้างอนุมูลอิสระโดยการแตกตัวของตัวริเริ่ม I เป็นอนุมูลอิสระหนึ่งคู่



โดยที่ k_d เป็นค่าคงที่ของอัตราเร็วสำหรับการแตกตัวของตัวริเริ่ม

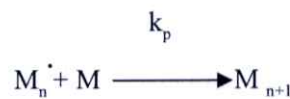
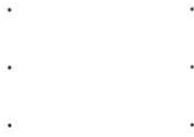
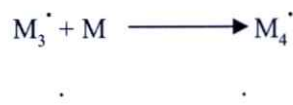
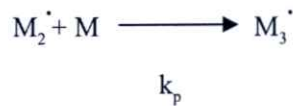
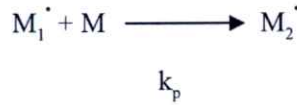
ในปฏิกิริยาส่วนที่ 2 คือการเติมของอนุมูลอิสระไปยังโมเลกุลของมอนอเมอร์ตัวแรกทำให้เกิดตัวริเริ่มสายโซ่ M_1'

k_i

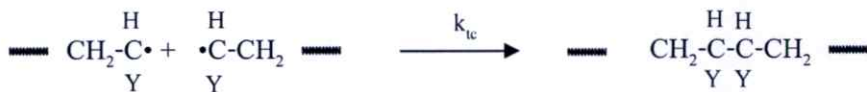


โดย M เป็น โมเลกุลของมอนอเมอร์ และ k_i คือ ค่าคงที่ของอัตราเร็วสำหรับขั้นการเริ่มต้น

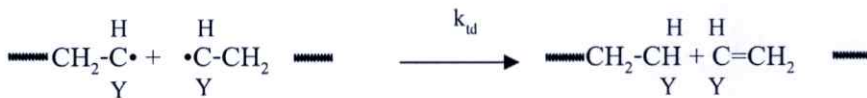
ขั้นขยายสายโซ่ (Propagation step) ประกอบไปด้วยมอนอเมอร์ที่กำลังเจริญเติบโต M_1^{\cdot} เติบโตโมเลกุลมอนอเมอร์ในปริมาณมาก



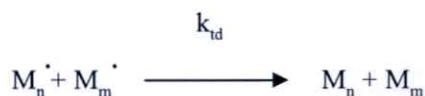
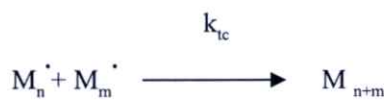
พอลิเมอร์ที่กำลังขยายตัวจะหยุดเจริญเติบโตและสิ้นสุด การสิ้นสุดเกิดจากความว่องไวของอนุมูลอิสระหมดไป โดยปฏิกิริยาระหว่างสองโมเลกุลของอนุมูลอิสระ อนุมูลอิสระสองตัวจะทำปฏิกิริยากันโดยการรวมตัวกัน (Combination coupling)



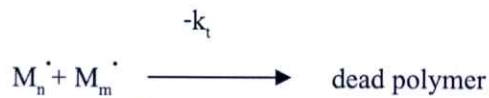
หรือเกิดการแลกเปลี่ยนอนุมูลอิสระไฮโดรเจน โดยการถ่ายโอนไปยังอนุมูลอิสระตัวอื่น เป็นผลมาจากการเกิดโมเลกุลพอลิเมอร์สองตัว และได้ส่วนที่ไม่อิ่มตัวหนึ่งส่วน



การสิ้นสุดเกิดขึ้นได้โดยการรวมตัวกัน (Combination) หรือการแลกเปลี่ยนอนุมูลอิสระ โดยอาจจะเขียนทั้งสองแบบนี้ให้อยู่ในรูปอย่างง่ายดังนี้



โดย k_c และ k_d เป็นค่าคงที่อัตราในการสิ้นสุดปฏิกิริยาโดยการรวมตัวกัน และการแลกเปลี่ยนอนุมูลอิสระตามลำดับ หรืออาจเขียนปฏิกิริยาสิ้นสุดอย่างง่ายได้ดังนี้



โดย k_t เป็นค่าคงที่ของอัตราเร็วในการสิ้นสุดปฏิกิริยา

2.3.2 พอลิเมอร์เซชันแบบขั้นหรือแบบควบแน่น

พอลิเมอร์เซชันประเภทนี้โดยทั่วไปใช้มอนอเมอร์ 2 ชนิด ซึ่งต่างมีหมู่แสดงสมบัติเฉพาะตัว 2 หมู่ในโมเลกุล เนื่องจากมีหมู่แสดงสมบัติเฉพาะตัวสองหมู่หลังเกิดปฏิกิริยาควบแน่นแล้วยังมีหมู่แสดงสมบัติเฉพาะตัวเหลือที่จะทำปฏิกิริยาต่อไปเรื่อยๆ จนได้โมเลกุลที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงหรือพอลิเมอร์

พอลิเมอร์แบบควบแน่นที่เตรียมจากมอนอเมอร์ที่มีหมู่แสดงสมบัติเฉพาะตัว 2 หมู่ ได้โครงสร้างเชิงเส้นหรือโซ่ยาวเป็นเส้นตรง แต่ถ้ามอนอเมอร์มีหมู่แสดงสมบัติเฉพาะตัว 3 หมู่ หรือมากกว่า หลังเกิดปฏิกิริยาจะได้โครงสร้างของพอลิเมอร์แบบกิ่งสาขา และบางครั้งกิ่งสาขาเหล่านี้ อาจเกิดการเชื่อมโยงกันภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์อื่นๆ เกิดเป็นพอลิเมอร์แบบเชื่อมโยง (Cross-linked polymer) หรือพอลิเมอร์แบบร่างแห (Network polymer) ซึ่งพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแบบร่างแหนี้ มีความแข็งแรงมาก ทนต่อความร้อนได้ดี โดยปกติจะไม่หลอมตัว (สลายตัวก่อนหลอม) และยากที่จะละลายในตัวทำละลายปกติ

2.4 เทคนิคการสังเคราะห์พอลิเมอร์ [8-9]

เทคนิคที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์โดยทั่วไปแบ่งเป็น 4 เทคนิคด้วยกัน คือ

1) เทคนิคพอลิเมอร์เซชันแบบบัลค์ (Bulk polymerization)

เทคนิคพอลิเมอร์เซชันแบบบัลค์เป็นกระบวนการที่ง่ายที่สุด โดยการสังเคราะห์พอลิเมอร์มีเพียงมอนอเมอร์และสารริเริ่มปฏิกิริยา (Initiator) หรือสารเร่งการเกิดปฏิกิริยา (Catalyst) เท่านั้น ผลผลิตที่ได้จึงมีสิ่งเจือปนอยู่น้อย แต่ปัญหาของกระบวนการนี้คือ เมื่อปฏิกิริยาดำเนินไปความหนืดของระบบอาจเพิ่มขึ้นถึง 10^4 เท่า เมื่อเทียบกับความหนืดของมอนอเมอร์ และเกิดการคายความร้อนสูง ทำให้เกิดการย่อยสลายของสายโซ่ได้

2) เทคนิคพอลิเมอร์เซชันแบบสารละลาย (Solution polymerization)

เทคนิคนี้เป็นเทคนิคที่สามารถใช้แก้ปัญหาเกี่ยวกับความหนืดและการเกิดความร้อนระหว่างการสังเคราะห์แบบบัลค์ โดยใช้ตัวทำละลาย เช่น คลอโรฟอร์ม โทลูอิน หรืออื่นๆ ร่วมในระบบ ซึ่งตัวทำละลายที่เลือกใช้นี้ต้องสามารถละลายส่วนผสมทุกชนิดในระบบได้ รวมทั้งพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการสังเคราะห์ด้วย โดยความหนืดของระบบเมื่อเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์เซชันจะไม่สูง

เท่ากับกรณีการสังเคราะห์แบบบัลค์ การควบคุมความหนืดทำได้โดยการเพิ่มปริมาณตัวทำละลาย แต่การใช้ตัวทำละลายทำให้เกิดปัญหาการถ่ายโอนสายโซ่และการตกค้างของตัวทำละลายในเนื้อพอลิเมอร์ (Polymer matrix) ซึ่งปริมาณปนเปื้อนของตัวทำละลายในการสังเคราะห์พอลิเมอร์จะส่งผลกระทบต่อสมบัติของพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้

3) เทคนิคพอลิเมอไรเซชันแบบแขวนลอย (Suspension polymerization)

เทคนิคพอลิเมอไรเซชันแบบแขวนลอยทำได้โดยการให้มอนอเมอร์แขวนลอยเป็นหยดเล็กๆ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 - 500 μm (ขนาดใหญ่กว่าเทคนิคอิมัลชัน) ในของเหลวที่ไม่ว่องไวต่อปฏิกิริยา เช่น น้ำ หยดของพอลิเมอร์จะถูกปั่นกววยอย่างรวดเร็ว เพื่อป้องกันการเกาะกันเป็นก้อน และอาจมีการเติมสารคงสภาพ (Dispersants) ด้วย ซึ่งสารคงสภาพจะละลายปนอยู่ในชั้นน้ำ เพื่อป้องกันการเกิดเป็นเจลของพอลิเมอร์ มอนอเมอร์ที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้ควรเกิดผ่านกลไกอนุมูลอิสระและละลายในน้ำได้น้อยมาก พอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะเป็นเม็ดกลมๆ คล้ายไข่มุกบางครั้งจึงเรียกเทคนิคนี้ว่า Pear polymerization

4) เทคนิคพอลิเมอไรเซชันแบบอิมัลชัน (Emulsion polymerization)

เทคนิคพอลิเมอไรเซชันแบบอิมัลชันเป็นเทคนิคที่พัฒนามาจากวิธีแบบแขวนลอยใช้มากในอุตสาหกรรม โดยเฉพาะพอลิเมอร์ที่เกิดผ่านกลไกอนุมูลอิสระ วิธีนี้ต่างจากแบบแขวนลอยตรงที่ตัวเริ่มต้นไม่ละลายในมอนอเมอร์แต่ละลายในตัวกลาง ซึ่งโดยส่วนใหญ่คือ น้ำ แล้วแพร่เข้าไปในหยดมอนอเมอร์ ขนาดของหยดมอนอเมอร์จะมีขนาดเล็กกว่าแบบแขวนลอย คืออยู่ในช่วง 0.05 - 0.5 μm ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นของระบบจะคล้ายน้ำนม อนุภาคในระบบอิมัลชันจะไม่ตกตะกอนทันทีที่หยุดปั่นกววย เพราะสารลดแรงตึงผิวที่อยู่บนผิวอนุภาคของพอลิเมอร์ถูกล้อมรอบด้วยโมเลกุลของน้ำ จึงเรียกลักษณะของพอลิเมอร์ที่ได้ว่า ลาเท็กซ์ (Latex)

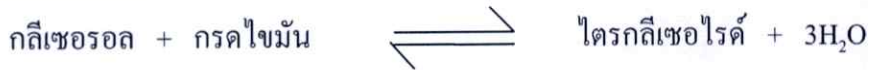
2.5 น้ำมันธรรมชาติ (Natural oils) [10-14]

น้ำมันธรรมชาติถูกนำมาใช้เป็นสารเคลือบผิวมานานแล้ว แต่ในปัจจุบันการนำน้ำมันธรรมชาติเพียงอย่างเดียวมาใช้เป็นสารยึดติดมีอยู่น้อยมาก อย่างไรก็ตาม ยังมีการใช้น้ำมันธรรมชาติเป็นส่วนผสมของสารเคลือบผิวบางชนิดเพื่อจุดประสงค์อย่างอื่น เช่น เพื่อเพิ่มความอ่อนตัวของฟิล์มทำให้ไม่เปราะ หรือเพื่อช่วยปรับปรุงสมบัติการละลาย เป็นต้น

น้ำมันธรรมชาติที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมเคลือบผิวได้มาจาก 2 แหล่งใหญ่ๆ คือ น้ำมันพืชและน้ำมันจากทะเลซึ่งส่วนใหญ่ได้แก่ น้ำมันปลา

2.5.1 องค์ประกอบ

น้ำมันธรรมชาติเป็นสารประกอบไตรกลีเซอไรด์กล่าวคือ เป็นไตรเอสเทอร์ของกลีเซอรอลกับกรดไขมันดังนี้



ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาผันกลับได้ ดังนั้น ถ้าไฮโดรไลซ์น้ำมันธรรมชาติ จะได้กลีเซอรอลและกรดไขมัน

ไขมันก็จัดเป็นสารประกอบไตรกลีเซอไรด์เหมือนกัน แต่ไขมันต่างจากน้ำมันตรงที่ว่า อุณหภูมิห้องไขมันมีสถานะเป็นของแข็ง แต่น้ำมันมีสถานะเป็นของเหลว

2.5.2 กรดไขมัน

สมบัติของน้ำมันทั้งหลายขึ้นอยู่กับธรรมชาติของกรดไขมันที่มีอยู่ในโครงสร้างโดยกรดไขมันจะมีผลต่อสมบัติการแข็งตัวของน้ำมัน กรดไขมันเป็นสารที่ประกอบด้วยหมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl group) ต่ออยู่กับสายโซ่ไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon chain) ซึ่งประกอบด้วยคาร์บอนตั้งแต่ 9 ถึง 22 อะตอม แต่ส่วนใหญ่ประกอบด้วยคาร์บอน 18 อะตอม

กรดไขมันแบ่งได้ 2 ชนิด คือ

1) *กรดไขมันอิ่มตัว* คือ กรดไขมันที่ไม่มีพันธะคู่ในโครงสร้าง คาร์บอนแต่ละตัวบนสายโซ่จะต่ออยู่กับไฮโดรเจนอย่างน้อย 2 ตัว เนื่องจากไม่มีพันธะคู่ ดังนั้นน้ำมันที่มีแต่กรดไขมันอิ่มตัวอยู่ในโครงสร้างจะมีสมบัติไม่แข็งตัว ตัวอย่างของกรดไขมันอิ่มตัว ได้แก่ กรดสเตียริก กรดปาล์มมิก เป็นต้น โครงสร้างของกรดไขมันเหล่านี้แสดงไว้ในตารางที่ 2.2

2) *กรดไขมันไม่อิ่มตัว* สายโซ่ไฮโดรคาร์บอนประกอบด้วยพันธะคู่ตั้งแต่ 1 พันธะขึ้นไป และตำแหน่งของพันธะคู่ของกรดไขมันแต่ละชนิดก็จะแตกต่างกันออกไป พันธะคู่ที่มีอยู่ในกรดไขมันมีผลต่อสมบัติการแข็งตัวของน้ำมัน เพราะปฏิกิริยาการแข็งตัวของน้ำมันเป็นปฏิกิริยาระหว่างออกซิเจนกับพันธะคู่ของโมเลกุลน้ำมัน ยังมีพันธะคู่มากเท่าไร การแข็งตัวของน้ำมันก็จะยิ่งเร็วขึ้น นอกจากนี้ตำแหน่งพันธะคู่ก็มีผลต่อสมบัติการแข็งตัวของน้ำมัน ถ้ามีพันธะคู่สลับเตี่ยวจะเกิดปฏิกิริยาและแข็งตัวได้เร็วกว่าพันธะคู่ที่อยู่ห่างกัน

ตารางที่ 2.2 โครงสร้างของกรดไขมันชนิดต่างๆ [10]

กรดไขมัน	ชื่อเคมี	โครงสร้าง
ปาล์มมิดิก	Hexadecanoic	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$
สเตียริก	Octadecanoic	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$
โอเลอิก	9-Octadecanoic	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
ริซินโอเลอิก	12-hydroxyl-cis-9-Octadecanoic	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4(\text{CH}_2)\underset{\text{OH}}{\text{C}}\text{HCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
ลินโอเลอิก	cis-cis-9,12-Octadecadienoic	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
ลินโอลินิก	cis-cis-9,12,15-Octadecadienoic	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
อีลีโอสเตียริก	9,11,13-Octadecatrienoic	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{CH}=\text{CHCH}=\text{CHCH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
ลิกานิก	4-keto-9,11,13-Octadecatrienoic	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{CH}=\text{CHCH}=\text{CHCH}=(\text{CH}_2)_4\text{CO}(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$
พารินาริก	9,11,13,15-Octadecatetraenoic	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}=\text{CHCH}=\text{CHCH}=\text{CHCH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$

2.5.3 ชนิดของน้ำมันธรรมชาติ

อาจแบ่งน้ำมันตามสมบัติในการแห้งตัว ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณความไม่อิ่มตัวของกรดไขมันที่มีอยู่ในน้ำมันนั้นๆ และแบ่งได้เป็น 3 ชนิด คือ

1. น้ำมันแห้งเร็ว (*Drying oil*) แห้งตัวได้เร็วที่สุด คือ สามารถดูดออกซิเจนในอากาศเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เปลี่ยนสภาพจากของเหลวเป็นฟิล์มที่แห้งแข็ง ไม่ละลายในตัวทำละลายที่สามารถละลายน้ำมันได้ และไม่ยอมให้ความชื้นซึมผ่านได้ และมีความทนทานต่อสารเคมีด้วย น้ำมันชนิดนี้ส่วนใหญ่ประกอบด้วยกรดไขมันที่มีพันธะคู่อยู่ 3 พันธะ ตัวอย่างเช่น น้ำมันลินสีด น้ำมันทัง เป็นต้น

2. น้ำมันแห้งช้า (*Semi-drying oil*) จะดูดออกซิเจนจากอากาศได้น้อย และเกิดเป็นฟิล์มที่แห้งช้ากว่าน้ำมันแห้งเร็ว กรดไขมันที่มีอยู่ในน้ำมันชนิดนี้ จะมีพันธะคู่อยู่ 2 พันธะ น้ำมันชนิดนี้ส่วนใหญ่นำมาใช้เป็นสารประกอบในอัลคิเดรชันที่ไม่ขึ้นเหลือง (*Non-yellowing alkyd*) ตัวอย่างของน้ำมันแห้งช้าได้แก่ น้ำมันถั่วเหลือง (*Soy bean oil*) น้ำมันคำฝอย เป็นต้น

3. น้ำมันไม่แห้ง (*Non-drying oil*) ไม่สามารถแห้งตัวได้ น้ำมันชนิดนี้ประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัวเป็นส่วนใหญ่ มักใช้ประโยชน์เป็นพลาสติกไซเซออร์สำหรับเรซิน ที่ใช้เป็นสารยึดในแลกเกอร์ ตัวอย่างของน้ำมันไม่แห้งได้แก่ น้ำมันละหุ่ง เป็นต้น

2.5.4 การวิเคราะห์น้ำมัน (Analysis of oils)

การตรวจสอบคุณภาพของน้ำมันก่อนใช้งานมีมาตรฐานที่กำหนดไว้หลายมาตรฐาน เช่น มาตรฐาน B.S. (British Standards) มาตรฐาน ASTM (American Society for Testing and Materials) และมาตรฐาน AOCS (American Oil Chemists Society) เป็นต้น สำหรับประเทศไทยใช้มาตรฐาน มอก. (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม) นำมาใช้ในการรับรองคุณภาพของผลิตภัณฑ์ประเภทต่างๆ

1. ค่าความเป็นกรด (*Acid value*) นิยามไว้ว่าเป็นจำนวนมิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ต้องใช้ในการทำให้กรดอิสระเป็นกลางในน้ำ 1 กรัม

ค่าความเป็นกรด เป็นค่าที่บอกถึงปริมาณความเป็นกรดอิสระที่มีในน้ำมัน มีวิธีการหา ดังนี้ ชั่งน้ำมันให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน ละลายในตัวกลางที่เป็นกลาง (ไอโซโพรพานอล:โทลูอิน อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก) แล้วไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ที่มีความเข้มข้น 0.1 N ใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ คำนวณหาค่าความเป็นกรดโดยใช้สูตร

$$\text{ค่าความเป็นกรด} = \frac{56.1 \times \text{ความเข้มข้นของ KOH} \times \text{มิลลิกรัมของ KOH ที่ใช้}}{\text{น้ำหนักเป็นกรัมของน้ำมันที่ใช้}}$$

* สำหรับรายละเอียดดูได้จาก ASTM D 1639 [15]

2. ค่าสะพอนิฟิเคชัน (*Saponification value*) นิยามไว้ว่า เป็นจำนวนมิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่ต้องใช้ในการสะพอนิฟายเอสเทอร์ และสารอื่นๆ ที่สามารถเกิดสะพอนิฟิเคชันได้ในน้ำหนัก 1 กรัม

การหาค่าสะพอนิฟิเคชันทำได้โดยชั่งน้ำมัน เติมสารละลายอัลกอฮอล์โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ จากนั้นนำไปกลั่นไหลกลับ จนปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์แล้วนำไปไทเทรตกับสารละลายกรดเกลือมาตรฐาน (HCl) ที่มีความเข้มข้น 0.5 N โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ ทำการทดสอบแบบลงค์ด้วย คำนวณโดยใช้สูตร

$$\text{ค่าสะพอนิฟิเคชัน} = \frac{(B-V) N \times 56.1}{S}$$

โดยที่ B คือ จำนวนมิลลิลิตรของสารละลาย HCl ที่ใช้ในการไทเทรตสารละลายแบบลงค์

V คือ จำนวนมิลลิลิตรของสารละลาย HCl ที่ใช้ในการไทเทรตน้ำมัน

N คือ ความเข้มข้นของ HCl

S คือ น้ำหนักเป็นกรัมของน้ำมัน

* สำหรับรายละเอียดดูได้จาก ASTM D 1962 [16]

3. สารที่สะพอนิฟายไม่ได้ (*Unspontifiable Matter*) สารเหล่านี้เป็นสารที่ละลายได้ในน้ำมัน แต่จะไม่เกิดเป็นสบู่ เมื่อให้ทำปฏิกิริยากับ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ สารเหล่านี้จะละลายในตัวทำละลายน้ำมัน เช่น ปีโตรเลียมอีเทอร์, ไดเอทิลอีเทอร์ เป็นต้น

การหาค่าสารที่สะพอนิฟายไม่ได้ ทำได้โดยหลังจากนำน้ำมันไปทำสะพอนิฟิเคชันแล้วนำส่วนที่เหลือมาสกัดด้วยตัวทำละลายไขมัน ก็จะสามารถหาเปอร์เซ็นต์ของสารที่สะพอนิฟายไม่ได้ซึ่งมีอยู่ในน้ำมันได้

4. ค่าไฮดรอกซิล (*Hydroxyl value*) เป็นค่าที่บอกถึงปริมาณหมู่ไฮดรอกซิลที่มีอยู่ในน้ำมัน นิยามได้ว่าเป็นจำนวนมิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่สมดุล กับปริมาณหมู่ไฮดรอกซิลที่มีในน้ำมันหนัก 1 กรัม

น้ำมันส่วนใหญ่ไม่มีหมู่ไฮดรอกซิล ยกเว้นน้ำมันละหุ่งจะพบหมู่ไฮดรอกซิลในส่วนของกรดไขมันที่มีอยู่ในโครงสร้างของน้ำมันคือ กรดริซิโนลิก ถึง 90%

การหาค่าไฮดรอกซิลสามารถทำได้โดยนำน้ำมันมาทำปฏิกิริยากับสารละลายของอะซิติกแอนไฮไดรด์ในไพรีดีน จากปฏิกิริยาอะซิติกแอนไฮไดรด์ที่มากเกินไปจะถูกไฮโดรไลซ์เกิดเป็นกรดอะซิติก ซึ่งสามารถหาปริมาณได้โดยการไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานอัลกอฮอล์โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ สำหรับรายละเอียดดูได้จาก ASTM D 1957 [17]

5. ค่าไอโอดีน (*Iodine value*) เป็นการวัดปริมาณความไม่อิ่มตัวที่มีในน้ำมัน นิยามไว้ว่าเป็นจำนวนเซนติกรัมของไอโอดีน ที่ถูกดูดโดยน้ำมัน 1 กรัม เช่น น้ำมันชนิดหนึ่งมีค่าไอโอดีนเท่ากับ 140 หมายความว่า น้ำมัน 100 กรัม จะทำปฏิกิริยาพอดีกับไอโอดีน 140 กรัม

การหาค่าไอโอดีน ทำได้โดยชั่งตัวอย่างน้ำมันให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน นำมาละลายในตัวทำละลายเฉื่อย เช่น คลอโรฟอร์ม คาร์บอนเตตระคลอไรด์ แล้วเติมสารละลายที่มีธาตุฮาโลเจนอิสระที่รู้ปริมาณแน่นอนลงไป เก็บไว้ในที่มืด 1 ชั่วโมง เติมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์จะเกิดไอโอดีนออกมา นำมาไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) ที่มีความเข้มข้น 0.1 N โดยใช้ น้ำแข็งเป็นอินดิเคเตอร์ (ทำการทดสอบแบลงก์ด้วย) โดยใช้สูตร

$$\text{ค่าไอโอดีน} = \frac{(B-V) N \times 12.69}{S}$$

โดยที่ B คือ จำนวนมิลลิลิตรของ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ที่ใช้ในการไทเทรตสารละลายแบลงก์

V คือ จำนวนมิลลิลิตรของ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ที่ใช้ในการไทเทรตน้ำมัน

N คือ ความเข้มข้นของ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

S คือ น้ำหนักเป็นกรัมของน้ำมัน

2.5.5 น้ำมันลินสีด (Linseed oil) [18-19]

ลินสีดจัดเป็นพืชน้ำมันที่สำคัญทางเศรษฐกิจของโลกชนิดหนึ่งมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Linum usitatissimum* ซึ่งสามารถใช้ประโยชน์ได้ทั้งในรูปของน้ำมันที่สกัดมาจากส่วนของเมล็ด และเส้นใยที่ได้จากส่วนของลำต้น ในประเทศไทย รัฐบาลได้ตระหนักถึงความสำคัญ และส่งเสริมให้มีการปลูกทั้งในที่สูงบนที่ราบเชิงเขาและในที่ราบ พืชชนิดนี้มีการนำมาใช้ประโยชน์ใน 2 ประเภท คือ

1. **น้ำมันลินสีด (Linseed)** ในกรณีที่ปลูกเพื่อนำเมล็ดไปใช้ในอุตสาหกรรมสกัดน้ำมัน โดยน้ำมันที่ได้มีลักษณะพิเศษ คือแห้งเร็ว เรียกทั่วๆ ไป ว่าน้ำมันชักแห้ง (Drying oil) จึงเหมาะที่จะนำมาใช้เป็นส่วนผสมในการทำสี น้ำมันชักเงา น้ำยาเคลือบไม้ หมึกพิมพ์ ผ้าพลาสติก น้ำยาฟอกหนัง จารบี และสารหล่อลื่น

2. **เส้นใยลินิน** ในกรณีที่ใช้ประโยชน์จากเส้นใยจากส่วนของลำต้น เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตสิ่งทอ เช่น ผ้าลินิน เชือก ผ้าใบ กระเป๋า ค้าย วัสดุกันความร้อนและพรมปูพื้น นอกจากนี้แล้วกากที่ได้หลังจากการสกัดน้ำมันจากเมล็ดลินสีด ยังมีคุณค่าทางอาหารสูงและเหมาะสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะวัวที่ชอบบริโภคเป็นอย่างมาก โดยกากที่ได้มีปริมาณโปรตีนสูงถึง 24 - 36% และสามารถย่อยได้ถึง 85% นอกจากนี้กากที่ได้ยังสามารถใช้เลี้ยงสัตว์พวกที่ให้น้ำนมและให้เนื้อ รวมทั้งยังใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ได้เป็นอย่างดี เนื่องจากมีปริมาณของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมประมาณ 0.5, 1.4 และ 1.8% ตามลำดับ ลินสีด เป็นพืชที่ปรับตัวได้ดีในเขตอบอุ่น (Warm) และเขตหนาว (Cool temperate climates) นอกจากสามารถปลูกและใช้ประโยชน์ได้ทั้งในรูปของน้ำมันและเส้นใยดังกล่าวข้างต้น ยังใช้ในการสกัดสารเคมีในการทำกายภาพบำบัด (Therapeutics) เนื่องจากมีคุณสมบัติช่วยในการผ่อนคลายกล้ามเนื้อ (Laxative properties) โดยเฉพาะมีสารประกอบ Mucilaginous carbohydrates ที่เรียกกันในชื่อ Pentosans ที่พบในส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ด เชื่อกันว่าลินสีดที่ใช้ในรูปของเส้นใยมีต้นกำเนิดในแถบตะวันออกเฉียงเหนือของเขตเมดิเตอร์เรเนียน บริเวณใกล้กับอินเดีย ก่อนแพร่กระจายสู่ตะวันออกไกล และมีการใช้ผ้าลินินอย่างแพร่หลายในยุคอียิปต์โบราณ เพราะนอกจากใช้ทอผ้าลินินแล้ว ยังใช้เป็นผ้าห่อศพมัมมี่อีกด้วย นอกจากนี้ยังมีการชโลมร่างกายด้วยน้ำมันลินสีด ภายหลังมีการปลูกต้นแฟลกซ์แพร่หลายเข้าไปในทวีปยุโรป จนเกิดมีโรงงานผลิตผ้าลินิน จนกระทั่งในศตวรรษที่ 20 จึงเริ่มมีการใช้พืชเส้นใยอื่นๆ เช่น ฝ้าย เข้ามาทดแทน อย่างไรก็ตามเนื่องจากเส้นใยลินินมีความเหนียว แข็งแรง ยืดหยุ่น และต้านทานความชื้นได้ดีกว่าเส้นใยจากฝ้ายและขนสัตว์อื่นๆ เส้นใยลินินจึงยังคงสมบัติการเป็นเส้นใยที่ดีเยี่ยมอยู่แม้ว่าความต้องการเส้นใยจากพืชมีแนวโน้มลดลงก็ตาม แต่ความต้องการลินสีดในแง่เป็นแหล่งของน้ำมันชักแห้งกลับมีเพิ่มขึ้น และจากการที่เป็นพืชที่มีสมบัติ 2 อย่างในตัว (Dual purpose) จึงยังคงเป็นพืชสำคัญอยู่ตลอดมา เส้นใยลินินที่ได้จากลินิน ปัจจุบันมีปลูกในหลายๆ ส่วนทั่วโลก ทั้งในแง่การใช้ Stem fiber และ Seed oil ทั้งนี้ขึ้นกับพันธุ์ที่ใช้ เช่นเดียวกับวิธีการปลูกและสภาพภูมิอากาศ พวกคั้นสูง แดกกิ่งน้อย ปกติมักปลูกในสภาพ

ภูมิอากาศที่หนาวเย็นในแถบสหภาพโซเวียตในอดีต ซึ่งเป็นแหล่งผู้ผลิตรายใหญ่ของโลก นอกจากนี้มีปลูกบ้างเล็กน้อยในฝรั่งเศส เบลเยียม เนเธอร์แลนด์ และประเทศในแถบยุโรปตอนเหนือและตะวันออก ส่วนพันธุ์ต้นเดี่ยว แดกกิ่งมาก และสุกแก่เร็ว ซึ่งเป็นพวก Linseed types จะชอบสภาพอากาศที่อบอุ่นกว่าในแถบคานาดา อาร์เจนตินา อินเดีย สาธารณรัฐประชาชนจีน และสหภาพโซเวียตในอดีต ทั้งหมดรวมประมาณ 75% จาก 2.65 เมตริกตัน ทั้งนี้มีแนวโน้มว่าพื้นที่ปลูกจะลดลง เส้นใยลินินมีส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญของเส้นใยลินิน (Flax fiber) [20]

ส่วนประกอบ	ปริมาณ (%)
เซลลูโลส	76
น้ำหรือความชื้น	9
เถ้า	1
ลิกนินและเพคติน	10
สารอื่นๆที่สามารถสกัดได้	4

เมล็ดลินินมีปริมาณน้ำมันประมาณ 35 - 45% ซึ่งจัดเป็นพืชน้ำมันหลักที่มีปริมาณกรดไขมัน-ลิโนลินิก (C18:3) สูงถึงประมาณ 40 - 65% และมีสมบัติไวต่ออาการเกิด Autooxidation ซึ่งเป็นผลให้น้ำมันลินินมีคุณสมบัติแห้งเร็ว เหมาะที่จะใช้ในอุตสาหกรรมการทำสีย้อม และสีเคลือบเงา น้ำมันลินินดิบ อาจถูกใช้ในแง่โภชนาการได้เช่นกัน กล่าวคือ ในอินเดีย ประมาณ 35 - 40% ของน้ำมันลินินดิบถูกใช้เพื่อการปรุงอาหารเป็น Cooking oil เพราะมีส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญของน้ำมันดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 กรดไขมันที่สำคัญของน้ำมันลินสีด (Linseed oil) [21]

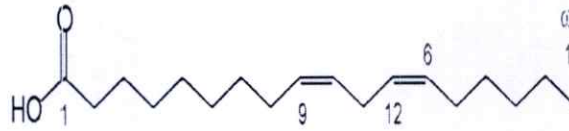
กรดไขมัน	ปริมาณ (%)
กรดไมริสติก	3
กรดปาล์มิติก	7
กรดโอเลอิก	25
กรดลิโนเลอิก	17
กรดลิโนลินิก	40

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากน้ำมันลินสีดมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวลิโนลินิก(C18:3) ในปริมาณมาก ทำให้เกิดการเหม็นหืนได้ง่าย และมีอายุเก็บรักษาสั้น ทั้งการผลิตในเชิงการค้ามีน้อยเมื่อเทียบกับพืชน้ำมันชนิดอื่นๆ น้ำมันลินสีดจึงถูกใช้ในแง่บริโภคน้อยมาก และได้มีความพยายามอย่างมากที่จะลดปริมาณของกรดลิโนลินิกลง ซึ่งจะช่วยให้น้ำมันมีคุณภาพในการบริโภคดีขึ้นได้ ปัจจุบันมีพันธุ์ที่เรียกว่า “Linola” แต่การใช้ประโยชน์เป็นน้ำมันเพื่อบริโภคในตลาดการค้าโลกยังเป็นปัญหาอยู่ เนื่องจากน้ำมันลินสีดต้องแข่งขันกับน้ำมันทานตะวันและคำฝอย ซึ่งมีองค์ประกอบของกรดไขมันใกล้เคียงกับของ Linola มากปริมาณโปรตีนในเมล็ดลินสีดอยู่ในช่วง 20 - 24% หลังสกัดน้ำมันจะได้กาก ที่ประกอบด้วยโปรตีนเข้มข้นที่เหมาะสมในการใช้เป็นอาหารสัตว์ อย่างไรก็ตามกากจะต้องผ่านกระบวนการกำจัดเอาเมือกและ สารพิษ Inactive toxic constituents เช่น เอนไซม์ Linamarase ซึ่งจะไปไฮโดรไลซ์สารประกอบพวก Cyanogenic glucoside linamarin เกิดเป็นสารพิษพวกกรด Hydrocyanic (HCN) หรือกรด Prussic อย่างไรก็ตาม คุณภาพและโปรตีนในกากลินสีดเมื่อเทียบกับของพืชอื่นๆ จัดว่ามีคุณภาพที่ดีกว่าเพราะมีปริมาณของกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายโดยเฉพาะไลซีนน้อย

ประเทศสหภาพโซเวียตมีการผลิตลินสีดได้มากที่สุดในโลก (ประมาณ 55% โดยใช้เส้นใยมากกว่าการใช้น้ำมัน) รองลงมาคือ สหรัฐอเมริกา อาร์เจนตินา และอินเดียตามลำดับ ในประเทศไทย ลินสีดให้ประโยชน์ทั้งในแง่ของน้ำมันและเส้นใย โดยเฉพาะเส้นใยที่มีปริมาณสูงถึง 76% ปัจจุบันจึงมีโรงงานหลายแห่งในกรุงเทพฯ เช่น บริษัทอินโดไทย ที่มีความต้องการเส้นใยลินินปริมาณมากในแต่ละปี ทำให้ราคาเส้นใยลินินที่ฟอกแล้วมีราคาสูงถึง 40 - 60 บาท/กก. โดยมีการนำเข้าทั้งน้ำมันลินสีดและสิ่งทอลินินในแต่ละปีจำนวนมากเป็นเงินกว่าร้อยล้านบาท เป็นน้ำมันลินสีดประมาณปีละ 20 ล้านบาท เชือกที่ทำจากป่านลินินประมาณ 1 ล้านบาท และผ้าลินินอีกเป็นจำนวนมากซึ่งยังไม่ทราบมูลค่าที่แน่นอน การนำเข้านี้มีทั้งผ้าลินินจากสาธารณรัฐประชาชนจีน สวิสเซอร์แลนด์ และสหราชอาณาจักร

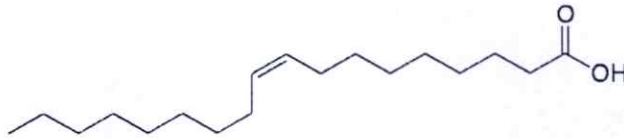
2.5.5.1 องค์ประกอบในน้ำมันสัตว์

1. กรดลิโนเลอิก (*Linoleic acid*) มีพันธะคู่ 2 ตำแหน่ง แต่ไม่เป็นระบบคอนจูเกตกัน



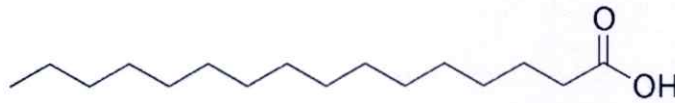
รูปที่ 2.2 โครงสร้างโมเลกุลของกรดลิโนลินิก (*Linoleic acid*)

2. กรดโอเลอิก (*Oleic acid*) มีพันธะคู่ 1 ตำแหน่ง



รูปที่ 2.3 โครงสร้างโมเลกุลของกรดโอเลอิก (*Oleic acid*)

3. กรดปาล์มมิติก (*Palmitic acid*) หรืออีกชื่อคือ *hexadecanoic* ซึ่งไม่มีพันธะคู่อยู่ภายในโครงสร้าง



รูปที่ 2.4 โครงสร้างโมเลกุลของกรดปาล์มมิติก (*Palmitic acid*)

4. กรดไมริสติก (*Myristic acid*) ไม่มีพันธะคู่ในโครงสร้าง



รูปที่ 2.5 โครงสร้างโมเลกุลของกรดไมริสติก (*Myristic acid*)

5. กรดลิโนลินิก (*Linolenic acid*) มีพันธะคู่ 3 ตำแหน่ง



รูปที่ 2.6 โครงสร้างโมเลกุลของกรดลิโนลินิก (*Linolenic acid*)

2.5.5.2 สมบัติและการใช้งาน

น้ำมันลินสีดได้จากเมล็ดแฟลกซ์ (Flax) ในพื้นที่ที่มีอากาศเย็น ปริมาณน้ำมันในเมล็ดแฟลกซ์ ขึ้นกับภูมิอากาศและดิน การสกัดน้ำมันลินสีดทำได้โดย นำเอาเมล็ดแฟลกซ์ไปตากแห้ง แล้วเก็บไว้ อีกระยะหนึ่ง ทั้งนี้เพราะการบีบจะ ได้ผลดีเมื่อเมล็ดสุกเต็มที่และมีน้ำอยู่ไม่เกิน 9% จากนั้นล้างเอา ผุ่นและสิ่งสกปรกออกให้หมด ผ่านเข้าไปในเครื่องบดแบบลูกกลิ้ง (Roller mill) เพื่อกะเทาะเปลือก ออก นำเมล็ดที่กะเทาะเปลือกออกไปผ่านไอน้ำที่อุณหภูมิ 90°C ซึ่งจะทำให้ผนังเซลล์แตกออก จากนั้นนำไปบีบในเครื่องบีบ (Screw press) ซึ่งเรียกว่า เอกซ์เพลเลอร์ (Expellers) ในขั้นนี้จะบีบ น้ำมันออกมาได้ประมาณ 30% ส่วนกากที่เหลืออาจเอาไปทำให้ร้อนแล้วบีบน้ำมันออกที่ความดัน สูงๆ ก็ได้ แต่ส่วนมากมักเอาไปสกัดด้วยตัวทำละลายต่อ สำหรับกากที่เหลือ จะมีน้ำมันเหลืออยู่ ประมาณ 1 - 6% แล้วแต่วิธีการสกัดที่ใช้ นอกจากนี้ยังมีโปรตีนรวมทั้งสารอื่นๆ เช่น สารประกอบ ในโตรเจนปนอยู่ด้วย ซึ่งใช้เป็นอาหารสัตว์ได้ น้ำมันดิบที่ได้จากการสกัดนี้ จะขุ่น ไม่ใส เพราะมี พวกเมล็ดปนอยู่ด้วย ดังนั้นก่อนนำไปใช้งานต้องนำไปกรองเสียก่อน

น้ำมันลินสีดที่ได้จากแหล่งต่างๆ กันจะมีค่าไอโอดีนอยู่ในช่วงระหว่าง 170 – 200 สำหรับ น้ำมันลินสีดที่ได้จากการปลูกในประเทศไทย ทั้งน้ำมันดิบ และน้ำมันที่ผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์ แล้ว มีสมบัติทางเคมีและทางกายภาพดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.5 สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของน้ำมันลินสีด

	น้ำมันลินสีดดิบ	น้ำมันลินสีดที่ผ่านกรรมวิธีทำ ให้บริสุทธิ์
ค่าไอโอดีน	170	170
ค่าของกรด	3.5	0.5
ค่าสะพอนิฟิเคชัน	188	190
สารที่สะพอนิฟายไม่ได้ ร้อยละ	1.25	1.25
ความถ่วงจำเพาะ, 25°C	0.92	0.92
ดัชนีหักเห, 25°C	1.48	1.48

น้ำมันลินสีด ประกอบด้วยกรดไขมันชนิดต่างๆ ดังนี้คือ

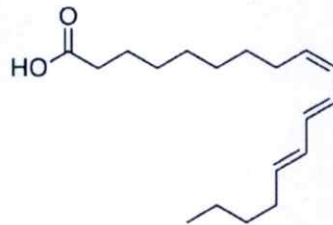
โดยทั่วไป น้ำมันลินสีดดิบถ้าตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง จะแข็งเองภายใน 4 วัน บางครั้งอาจ ถึง 10 วันก็ได้ ถ้าสภาวะต่างๆ ไม่ดี ถ้าจะให้แข็งเร็วขึ้นต้องเติมสารเร่งแข็ง เช่น สารประกอบของ ตะกั่ว แมงกานีส หรือ โคบอลต์ เป็นต้น

2.5.6 น้ำมันทัง (Tung oil)

น้ำมันทังได้มาจากผลของทังซึ่งมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Vernicia montana Lour.* อยู่ในวงศ์ EUPHOBIACEAE อยู่ในสปีชีส์ *Aleurites* เป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางสูง 10 - 20 เมตร ใบใหญ่ลายแฉก ก้านใบยาว ดอกออกที่ปลายกิ่ง กลีบดอกสีขาวอมชมพู ดอกคกแน่น ออกดอกช่วงกุมภาพันธ์-มีนาคม เป็นผลช่วงเมษายน - พฤษภาคม ผลขนาดเท่าลูกมะนาว มีสันนูนแบ่งเป็น 3 - 4 พู เมล็ด 3 - 4 เมล็ดตามจำนวนพู เมล็ดใหญ่ มีกะลาหุ้มเนื้อในเมล็ด มีถิ่นกำเนิดอยู่ในหลายพื้นที่ จึงมีชื่อเรียกพืชชนิดนี้หลายชื่อตามถิ่นกำเนิด เช่น ในไทยเรียกว่ามะเข่าเหลี่ยม หรือมะเข่าหิน ประเทศอินเดียเรียกว่า Bengal nut ประเทศบราซิลเรียกว่า Noguiera de Bancul และสายพันธุ์ที่กำเนิดในจีนชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า China wood oil ซึ่งมีประวัติการปลูกกว่า 1,000 ปี ตั้งแต่รัชสมัยราชวงศ์ถัง (Tang dynasty) โดยคำว่า "Tung" เป็นคำที่มาจากภาษาจีน หมายถึง "หัวใจ" ซึ่งมาจากลักษณะของใบที่คล้ายรูปหัวใจนั่นเอง

2.5.6.1 องค์ประกอบในน้ำมันทัง

กรดอิลีโอสเตียริก (Eleostearic acid) เป็นกรดไขมันที่มีปริมาณมากที่สุดในน้ำมันทัง โดยมี 3 พันธะคู่ซึ่งอยู่ในระบบคอนจูเกตที่ตำแหน่ง 9 - 10 cis, 11 - 12 trans, และ 13 - 14 trans



รูปที่ 2.7 โครงสร้างโมเลกุลของกรดอิลีโอสเตียริก (Eleostearic acid)

ตารางที่ 2.6 ปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบหลักของน้ำมันทัง [22]

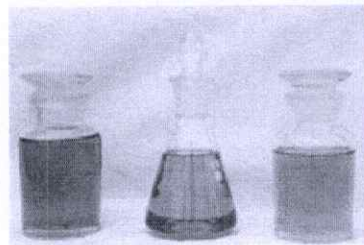
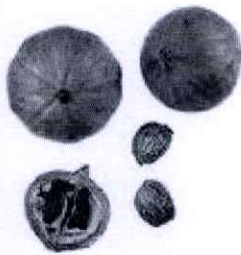
กรดไขมัน	ปริมาณ (%)
กรดอิลีโอสเตียริก	82.0
กรดลิโนลินิก	8.5
กรดปาล์มิติก	5.5
กรดลิโนลินิก	4.0

2.5.6.2 สมบัติและการใช้งาน

น้ำมันทังสกัดมาจากผลของทัง (สายพันธุ์ *Aleurites fordii*) ซึ่งเป็นพืชที่มีในประเทศจีน น้ำมันทังเป็นน้ำมันแห้งเร็ว (Drying oil) เช่นเดียวกับน้ำมันลินสีด โดยมีสีเหลืองและมีกลิ่นเฉพาะตัว น้ำมันทังนิยมใช้ในการทำสี ใช้เป็นส่วนที่ใช้กันน้ำ หรือส่วนประกอบของปูนประรอยต่อกระเบื้อง (Caulk) ใช้เป็นส่วนประกอบในหมึกดำ (Indian ink) และยังใช้เป็นน้ำมันทาไม้ให้แววมัน (Lustrous finish on wood) มีสมบัติที่แห้งเร็ว และเหนียว โดยช่างทำไม้ถือว่าน้ำมันทังเป็นน้ำมันธรรมชาติสำหรับใช้กับไม้ที่ดีที่สุด ในเมืองจีนได้มีการนำมาใช้มานานหลายร้อยปีแล้ว

สมบัติพิเศษของน้ำมันทังคือสามารถเกิดการพอลิเมอไรซ์โดยตรงจากปฏิกิริยาการสังเคราะห์ไดอีน (Diene synthesis) เนื่องจากน้ำมันทังมีกรดอิลิโอสเตอริกอยู่ในปริมาณสูง จะเกิดปฏิกิริยาได้เนื่องจากระบบคอนจูเกตของพันธะคู่ในสายโซ่ น้ำมันทังมีการเชื่อมโยงที่เร็วกว่าน้ำมันลินสีดและจะมีความแข็งแรงมากกว่าด้วย เมื่อให้ความร้อนแก่น้ำมันทังที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานานๆ จะเกิดปฏิกิริยาการเกิดเป็นเจล (Gelation) เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อยๆ น้ำมันจะดำ หรือถ้าอุณหภูมิสูงมากๆ ก็อาจเกิดการติดไฟขึ้นได้ โดยทั่วไปน้ำมันทังดิบจะมีสมบัติดังต่อไปนี้

ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) ที่ 20 °C	0.94
ความชื้น และสิ่งเจือ	0.01%
จุดวาบไฟ (Flash point)	288.9°C
อุณหภูมิติดไฟโดยอัตโนมัติ (Autoignition temperature)	457.0°C



(1) ผลทังและเมล็ดทัง

(2) น้ำมันทัง

รูปที่ 2.8 ผลและน้ำมันจากต้นทัง

2.6 สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) [23-24]

2.6.1 หน้าที่และหลักการทำงาน

สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) เป็นสารที่เมื่อละลายน้ำแล้วจะช่วยลดแรงตึงผิวของน้ำ มีลักษณะที่สำคัญ 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่เป็น Hydrophilic (ชอบน้ำ) และ ส่วนที่เป็น Hydrophobic (ไม่ชอบน้ำ)

หลักการทำงานของสารลดแรงตึงผิวคือ ส่วนที่ชอบน้ำจะทำการจับน้ำ และส่วนที่ไม่ชอบน้ำจะทำการจับพวกไขมันที่ไม่สามารถละลายน้ำได้

2.6.2 ประเภทของสารลดแรงตึงผิว

สารลดแรงตึงผิวแบ่งออกเป็นหลายกลุ่ม โดยขึ้นอยู่กับประจุบนส่วนประกอบที่ละลายน้ำ (Hydrophilic) โดยสามารถแยกได้เป็น 4 ประเภท ได้แก่

1. *Anionic surfactant* เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ประจุบน Hydrophilic ให้ประจุลบ ส่วนมากแสดงอยู่ในรูป Carboxylate, Sulfate, Sulfonate หรือ Phosphate สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้ใช้มากในอุตสาหกรรมประเภท ผงซักฟอก, ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด, น้ำยาล้างจาน เป็นต้น โดยใช้มากถึง 49% ของสารลดแรงตึงผิวทั้งหมด เนื่องจากสามารถใช้ขจัดคราบสกปรกได้ดี

2. *Cationic surfactant* เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ประจุบน Hydrophilic ให้ประจุบวก ส่วนมากมักจะเป็นพวก Quaternary ammonium สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้จะไม่สามารถทำงานได้ในสภาวะแวดล้อมที่เป็นด่างสูง (pH 10 - 11) เนื่องจาก Ammonium salt จะมีการสูญเสียประจุบวก ทำให้เกิดการตกตะกอนได้ สารลดแรงตึงผิวประเภท Cationic จะทำให้เกิดการระคายเคืองมากกว่า สารลดแรงตึงผิวประเภท Anionic นิยมใช้ในพวกน้ำยาปรับผ้านุ่ม, ครีมนวดผม และผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับการจัดแต่งทรงผม เป็นต้น

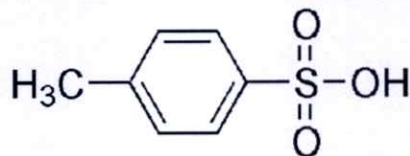
3. *Non-ionic surfactant* สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้จะต่างจากสารลดแรงตึงผิวประเภท Anionic และ Cationic ตรงที่เป็น โมเลกุลที่ไม่มีประจุ โดยมีพวก Polyether หรือ Polyhydroxyl เป็นกลุ่มที่แสดงคุณสมบัติคล้ายพวกที่มีประจุ ใช้มากในผงซักฟอก, น้ำยาล้างจาน, ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดพื้นผิว เป็นต้น

4. *Amphoteric surfactant* หรือ Zwitterions เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ประจุบน Hydrophilic สามารถให้ได้ทั้งประจุบวกและลบ โดยจะแสดงสมบัติประเภทใดขึ้นอยู่กับสภาพความเป็นกรด - ด่างของสภาวะแวดล้อม ถ้าสภาวะแวดล้อมเป็นด่าง (pH > 7) ประจุบน Hydrophilic จะให้ประจุลบ ถ้าสภาวะแวดล้อม เป็นกรด (pH < 7) ประจุบน Hydrophilic จะให้ประจุบวก และในสภาวะที่เป็นกลางจะไม่เกิดการให้ประจุบน Hydrophilic สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับผิว หรือ ผม ในปัจจุบันยังใช้น้อยกว่าสารลดแรงตึงผิวประเภทอื่น

2.7 ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) [25-26]

2.7.1 หน้าที่และหลักการทำงาน

ตัวเร่งปฏิกิริยา คือ สารที่เติมลงไปปฏิกิริยาแล้วทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้เร็วขึ้น หรือทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น โดยที่ตัวเร่งปฏิกิริยาอาจจะมีส่วนร่วมในการเกิดปฏิกิริยาด้วยหรือไม่ก็ได้ แต่เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาตัวเร่งเหล่านี้จะต้องมีปริมาณเท่าเดิมและสมบัติที่เหมือนเดิม การที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาได้ เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาช่วยลดพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยาให้ต่ำลง จึงทำให้มีโมเลกุลที่มีพลังงานสูงกว่าหรือเท่ากับพลังงานก่อกัมมันต์มีจำนวนมากขึ้น ปฏิกิริยาจึงเกิดได้เร็วขึ้นแต่จะไม่ทำให้พลังงานของปฏิกิริยาเปลี่ยนแปลงไป

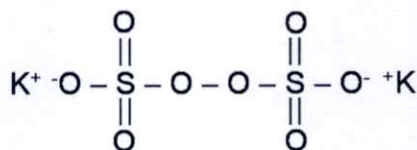


รูปที่ 2.9 โครงสร้างโมเลกุลของ PTSA

กรดพาราโทลูอินซัลฟูนิค (*p*-toluene sulfonic acid) เป็นกรดแก่ชนิดหนึ่งมีลักษณะเป็นของแข็ง มีสีขาว สามารถละลายได้ในน้ำ แอลกอฮอล์ และ ตัวทำละลาย

2.8 โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต (Potassium persulfate, KPS) [27]

โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตมีชื่ออื่นๆ Peroxydisulfuric acid dipotassium salt KPS เป็นสารประกอบเคมีที่ใช้ในเคมีอินทรีย์ ใช้เป็นตัวออกซิไดซ์สำหรับปฏิกิริยาออกซิเดชันของ Elds-persulfate และ ใช้เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยาแบบอนุมูลอิสระ



รูปที่ 2.10 โครงสร้างโมเลกุลของ KPS

ตารางที่ 2.7 สมบัติทางกายภาพของโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต (Potassium persulfate)

ลักษณะภายนอก	ผงสีขาว
ความหนาแน่น	2.48 g/cm ³
อุณหภูมิในการแตกตัว	100°C
การละลายน้ำ	4.7 g/100g ของน้ำ
น้ำหนักโมเลกุล	270.3 g/mol

2.9 สารเพิ่มเนื้อ (Filler) [28]

2.9.1 ซิลิกา หรือ ซิลิกอนไดออกไซด์

➤ ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับซิลิกา

ซิลิกา หรือ ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) เป็นสารประกอบที่เกิดจากการรวมตัวของซิลิกอนและออกซิเจน เป็นผลึกไม่มีสี หรือเป็นผลึกสีขาว ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส มีความถ่วงจำเพาะในช่วง 2.2 - 2.6 จุดหลอมเหลว $1,713^\circ\text{C}$ ขึ้นกับรูปแบบของซิลิกา ซิลิกาไม่สามารถละลายน้ำหรือละลายน้ำได้เล็กน้อย ไม่ละลายในกรดทุกชนิด ยกเว้นกรดไฮโดรฟลูออริก แต่สามารถละลายได้โดยการหลอมกับด่าง และรวมตัวกับออกไซด์ของโลหะส่วนใหญ่ได้ ไม่ถูกติดไฟที่สามารถหลอมซิลิกาเป็นแก้วที่มีสมบัติการแตกตัวต่ำ มีค่าการนำความร้อนประมาณครึ่งหนึ่งของแก้ว ค่า dielectric constant สูง ในทางการค้าซิลิกาเป็นแหล่งผลิตซิลิกอนและถูกใช้ในปริมาณมากซึ่งเป็นส่วนของวัสดุก่อสร้าง ส่วนซิลิกาอสัณฐาน (Amorphous Silica) ถูกใช้เป็นสารดูดความชื้น สารดูดซับสารเพิ่มความแข็งแรง สารเติมแต่ง และองค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยา

➤ สมบัติทางกายภาพทั่วไปของซิลิกา

ชื่อทั่วไป silica quartz free crystalline silica silica flour silica

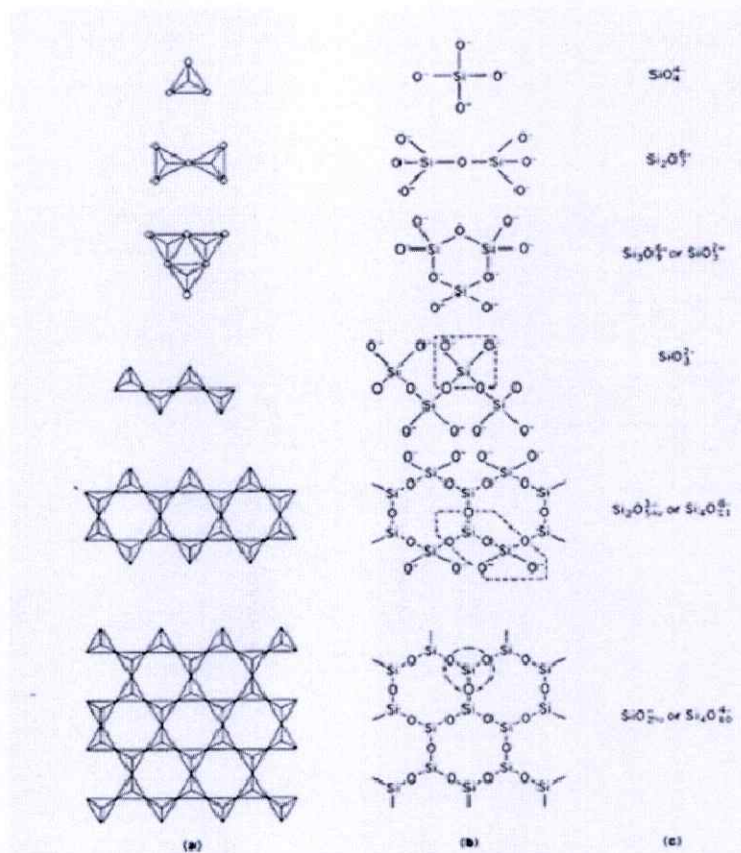
ตารางที่ 2.8 สมบัติทางกายภาพของซิลิกา

สูตรโมเลกุล	SiO_2
น้ำหนักโมเลกุล	60.1
สถานะ	ไม่มีกลิ่น
ความถ่วงจำเพาะ	2.2
จุดเดือด	> 2200
จุดหลอมเหลว	1713

➤ โครงสร้างและพันธะทางเคมี

ซิลิกาเป็นสารประกอบที่ประกอบด้วยธาตุ 2 ธาตุ คือ ซิลิกอน (Si) และออกซิเจน (O) ลักษณะที่พบอาจอยู่ในรูปซิลิเกต โครงสร้างพื้นฐานของซิลิกาและซิลิเกต จะมีการจัดเรียงตัวแบบเตตระฮีดรอล (Tetrahedral) ซิลิกอนเป็นอะตอมกลาง และล้อมด้วยออกซิเจน 4 อะตอม เป็น SiO_4 ซึ่งมีอะตอมของออกซิเจนเป็นตัวเชื่อมต่อกับออกซิเจน เป็นตัวเชื่อมต่อกับตัวซิลิกอนที่อยู่ใน SiO_4 ที่อยู่ใกล้เคียงกัน โดยทางโครงสร้างซิลิกาจะมีลักษณะเป็นโครงสร้างตาข่าย 3 มิติแบบไม่รู้จบ (Infinite three dimensional network) การเปลี่ยนแปลงรูปของซิลิกาจะเกิดขึ้นได้ช้ามาเนื่องจากการจัดเรียงตัวของ SiO_4 ซึ่งเป็นรูปแบบเตตระฮีดรอล แต่จะเกิดขึ้นได้เร็วมากเมื่อหลอมรวมด้วย Alkali-

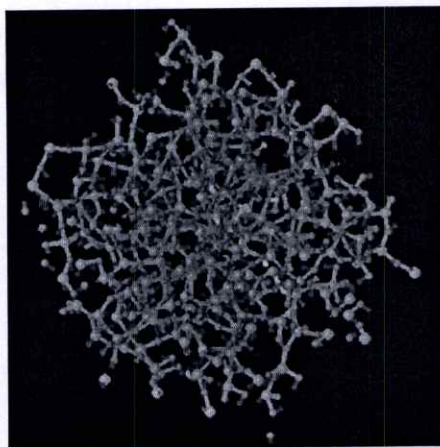
vanadate chloride หรือ borate การเปลี่ยนแปลงรูปแบบของซิลิกาจะไม่ทำให้สมบัติทางกายภาพของซิลิกาเปลี่ยนแปลงไปมากนัก



รูปที่ 2.11 รูปแบบต่างๆ ของการเชื่อมต่อของ SiO₄ Tetrahedral ในโครงสร้างพื้นฐานของซิลิกเกต [28]

➤ สมบัติทางเคมีของซิลิกา

ซิลิกามีสมบัติทางเคมีที่ค่อนข้างเสถียรที่อุณหภูมิปกติ และไม่ทำปฏิกิริยาต่อสารเคมีหลายชนิด แต่อย่างไรก็ตามไม่ได้หมายความว่า ซิลิกาจะไม่ทำปฏิกิริยาใดๆ เลย เพราะซิลิกาสามารถเปลี่ยนรูปแบบได้ ที่อุณหภูมิสูง ความว่องไวในปฏิกิริยาของซิลิกาจะขึ้นอยู่กับรูปแบบของซิลิกา การเตรียม และสถานะของซิลิกาชนิดอสัณฐาน (Amorphous silica) จะว่องไวมากกว่าผลึกซิลิกา (Crystalline silica) ที่เป็นเช่นนั้นเพราะอสัณฐานซิลิกามีพื้นที่ผิวมาก



รูปที่ 2.12 โครงสร้างของอสังฐานซิลิกา [28]

โดยทั่วไปสารละลายกรดจะไม่มีผลต่อซิลิกา ยกเว้นกรดไฮโดรฟลูออริก ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับซิลิกาแล้วเปลี่ยนเป็น H_2SiF_6 ซิลิกาในรูปแบบต่างๆ จะเกิดปฏิกิริยากับกรดไฮโดรฟลูออริกได้ไม่เท่ากันขึ้นกับความหนาแน่น (σ) และรูปแบบของซิลิกา ซิลิกาที่มีความหนาแน่นสูง จะเกิดปฏิกิริยากับกรดไฮโดรฟลูออริกได้ไม่มากนัก รูปแบบของซิลิกาที่ไวต่อปฏิกิริยาเคมีเรียงลำดับจากน้อยไปมาก ดังนี้

Vitreous Silica ($\sigma = 2.2 \text{ g/cm}^3$) < Tridymite ($\sigma = 2.22 \text{ g/cm}^3$) \cong

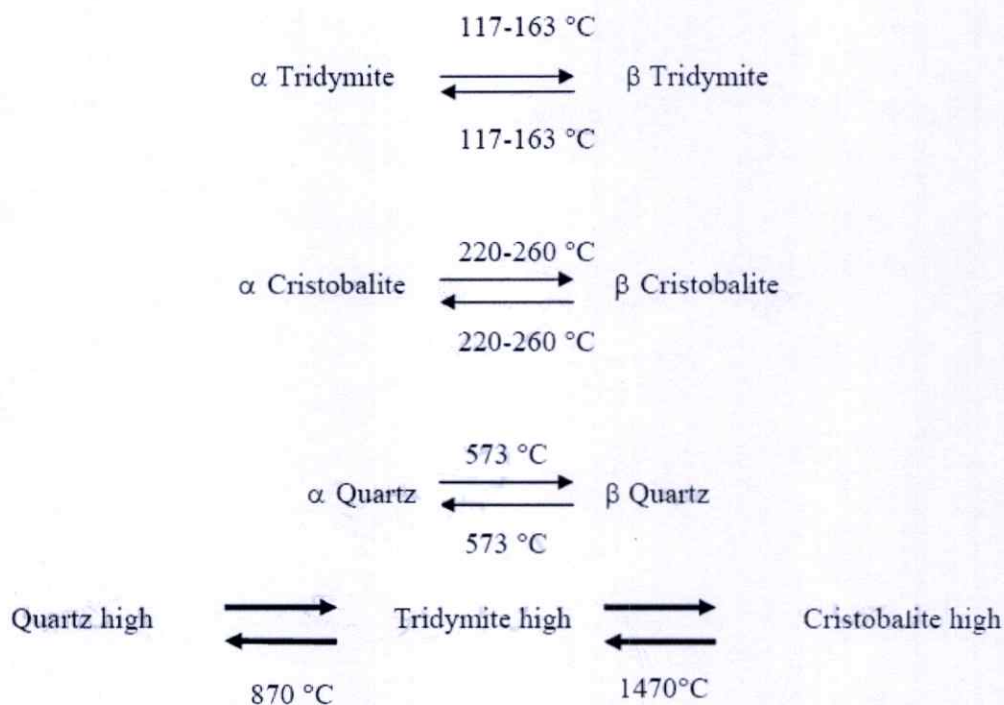
Cristobalite ($\sigma = 2.33 \text{ g/cm}^3$) < Quartz ($\sigma = 2.65 \text{ g/cm}^3$) ส่วน Coesite ($\sigma = 3.01 \text{ g/cm}^3$)

จะไม่ละลายในกรดไฮโดรฟลูออริก และ Stishovite ($\sigma = 4.35 \text{ g/cm}^3$) จะละลายได้น้อยมาก

➤ รูปแบบของซิลิกา

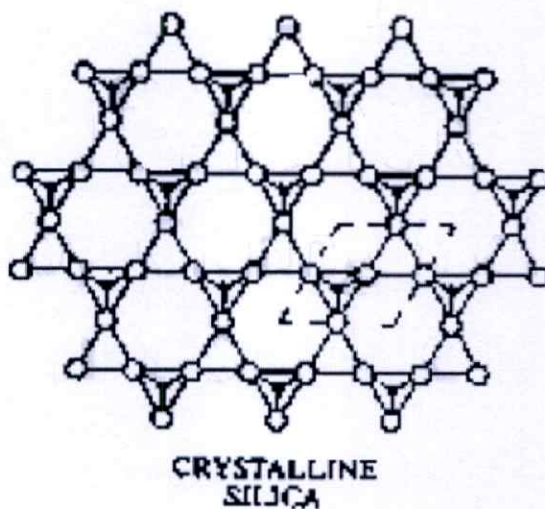
ผลึกของซิลิกา (Crystalline Silica)

ที่ความดันบรรยากาศ ผลึกของซิลิกามี 3 รูปแบบ คือ Quartz เสถียรที่อุณหภูมิต่ำกว่า-870°C Tridymite เสถียรที่อุณหภูมิประมาณ 870 - 1,470°C และ Cristobalite เสถียรที่อุณหภูมิ 1470°C ถึงจุดหลอมเหลวที่ประมาณ 1,723°C ซึ่งรูปแบบทั้งหมดทุกโครงสร้างมีพื้นฐานเป็น SiO_4 Tetrahedral ซึ่งเชื่อมต่ออยู่กับออกซิเจนทุกอะตอม โดยเป็นการใช้ออกซิเจนร่วมกันระหว่างซิลิกอน 2 อะตอม แต่อย่างไรก็ตามโครงสร้างเหล่านั้นจะมีความแตกต่างกันในรายละเอียด



รูปที่ 2.13 การเปลี่ยนแปลงวัฏภาคของซิลิกา [28]

ทั้ง Quartz tridymite และ Cristobalite เป็นรูปแบบที่เกิดขึ้นในธรรมชาติสำหรับ Cristobalite เป็นรูปแบบที่เกิดขึ้นในธรรมชาติสำหรับ Cristobalite Silica ที่สังเคราะห์ได้ ได้แก่ Keatite, Coesite, Stishovite และ Silica



รูปที่ 2.14 โครงสร้างของ Crystalline silica [28]

2.10 ไม้ (Wood) [29-32]

ไม้นับเป็นวัสดุธรรมชาติ ที่มนุษย์ใช้ประโยชน์มาตั้งแต่สมัยโบราณ ทั้งในด้านการก่อสร้าง และผลิตเป็นเครื่องมือเครื่องใช้ต่างๆ ในชีวิตประจำวันมากมายหลายชนิด แม้ว่าในปัจจุบันไม้ถูกแทนที่ด้วยวัสดุอื่นๆ เช่น เหล็ก คอนกรีต หรือพลาสติกก็ตาม แต่ผลิตภัณฑ์จากไม้ ยังคงเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความสวยงาม และมีคุณค่าในตัวเอง เหนือกว่าวัสดุอื่นใด ยิ่งกว่านั้น ไม้ยังเป็นวัสดุที่สามารถย่อยสลายได้เองในธรรมชาติโดยไม่ก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

ไม้ ประกอบขึ้นจากเนื้อเยื่อที่เป็นเส้นใยหรือเซลลูโลส ซึ่งได้แก่ ท่อลำเลียงน้ำและอาหารจากรากสู่ส่วนต่างๆ ของพืช สารช่วยยึดเส้นใยที่ช่วยทำให้ไม้แข็งแรง หรือลิกนินและแร่ธาตุต่างๆ ที่เป็นส่วนสำคัญในการกำหนดลักษณะเฉพาะของไม้แต่ละพันธุ์ ซึ่งเมื่อเราตัดไม้ออกดูตามขวาง เราจะพบองค์ประกอบต่างๆ ได้แก่

เปลือก หรือส่วนที่อยู่ด้านนอกสุดของลำต้น ประกอบด้วยเซลล์ที่ตายแล้ว และเซลล์ที่มีชีวิตอยู่ด้านใน ส่วนใหญ่มักถูกเอาส่วนนี้ออก

เยื่อเจริญ เป็นผนังบางๆ ที่อยู่ถัดมาจากเปลือกชั้นใน ซึ่งจะมีการแบ่งตัวใหม่เพิ่มขึ้น

กระพี้ คือส่วนกลางของเนื้อไม้ที่มีการเจริญเติบโตอยู่ระหว่างเปลือกชั้นในและแก่น มีหน้าที่ลำเลียงอาหารและน้ำ (การใช้ขวานควั่นส่วนที่เป็นกระพี้รอบลำต้น เพื่อตัดการลำเลียงอาหารและน้ำ ทำให้ต้นไม้ยืนตาย โดยมากใช้กับต้นสัก) ส่วนกระพี้จะหนาประมาณ 1/2 – 2 นิ้ว หากเป็นไม้ที่อายุน้อย จะมีความหนาไม่เกินครึ่งนิ้ว

แก่นไม้ คือเซลล์ของต้นไม้ที่ไม่ทำงานแล้ว และแปรสภาพมาจากกระพี้ เป็นส่วนที่เนื้อไม้มีความแข็งแรงและหนาแน่น

วงเจริญ หรือ วงปี เป็นแนวต่อไม้ที่เจริญขึ้นมาในแต่ละปี หรือแต่ละฤดูที่ไม้เจริญเติบโต เราใช้วงปีเป็นตัวชี้อายุของไม้นั้นๆ โดยหนึ่งวงก็เท่ากับ หนึ่งปี (ขึ้นอยู่กับสภาพเปลี่ยนแปลงอื่นๆ ประกอบด้วย เพราะต้นไม้บางต้น หนึ่งปีอาจมีถึงสองวง) วงปีนี้ทำให้ไม้มีลวดลาย

เส้นรัศมี เป็นเซลล์ขวางลำต้นออกจากใจไปยังเปลือก

ใจไม้ เป็นส่วนที่อยู่ตรงกลางลำต้นของไม้ทางด้านหน้าตัด เป็นจุดเริ่มการเติบโตของต้นไม้

➤ องค์ประกอบและสมบัติของไม้

องค์ประกอบและสมบัติของไม้ ขึ้นอยู่กับชนิดของไม้ และสภาพแวดล้อมที่ต้นไม้ต้นนั้นเจริญเติบโต โดยทั่วไป ไม้ที่อบแห้ง จะมีองค์ประกอบโดยน้ำหนักดังนี้ เซลลูโลส 50% ลิกนิน 16 - 33% เฮมิเซลลูโลส 15 - 30% สารอินทรีย์อื่นๆ 3 - 5% และแร่ธาตุ 0.5 - 3% เซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสจำนวนมาก จับตัวกันเป็นเส้นยาว โดยเป็นส่วนประกอบหลักของท่อลำเลียงน้ำ และอาหารของพืช ส่วนลิกนินเป็นพอลิเมอร์ออสัญฐาน ที่ทำหน้าที่เป็นกาวเชื่อมเส้นใยเซลลูโลส ให้มีความแข็งแรงมากขึ้น โดยเหตุที่เส้นใยเซลลูโลส เรียงตัวกันในแนวขนานกับลำต้น ไม้จึงมีสมบัติที่ไม่เท่ากันในทุกทาง (Anisotropic) กล่าวคือ ความแข็งแรงในแนวขนาน

กับลำต้น ต่างจากแนวตั้งฉากกับลำต้น ผิดกับวัสดุอื่นๆ เช่น เหล็กหรือคอนกรีต ที่มีความแข็งแรงเท่ากัน ในทุกทิศทาง ดังนั้น การออกแบบผลิตภัณฑ์ไม้ ที่ต้องรับน้ำหนักมากๆ จึงต้องระวังในจุดนี้ด้วย ทางแก้หนึ่งก็คือทำเป็นไม้อัด (Plywood) โดยนำไม้แผ่นบางมาประกบกันหลายชั้น โดยสลับแนวการเรียงตัวของลายไม้ให้ตั้งฉากกันและกัน ช่วยให้การรับแรงในแต่ละทิศทางใกล้เคียงกันมากขึ้น

2.11 แผ่นพาร์ทิเคิล (Particle board) [35-40]

แผ่นพาร์ทิเคิลหรือไม้อัดพาร์ทิเคิล เป็นแผ่นวัสดุที่ทำจากไม้ หรือวัสดุอื่นที่มีลิกนิน และเซลลูโลสอื่นๆ เป็นส่วนประกอบในลักษณะที่ถูกตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ และนำมารวมกันเป็นแผ่นโดยใช้กาวประสานอินทรีย์ร่วมกับความร้อน แรงอัด ความชื้น และตัวเร่งปฏิกิริยา

2.11.1 ประเภทของแผ่นพาร์ทิเคิล

1. *แผ่นพาร์ทิเคิลชนิด Core stock* ได้แก่ แผ่นพาร์ทิเคิลที่ใช้ไม้บางกระดาดพลาสติกหรือวัสดุอื่น ๆ ทากาวปะหน้าก่อนที่นำไปใช้เช่น Coreboard chipboard

2. *แผ่นพาร์ทิเคิลชนิด Panel stock* เป็นแผ่นพาร์ทิเคิลที่ไม่ต้องใช้วัสดุติดปะหน้าสามารถเอาไปใช้ประโยชน์ได้ทันที ผิวหน้าด้านหนึ่ง หรือทั้งสองด้านทำด้วยชิ้นไม้ที่สวยงามเช่น Flakeboard waferboard shareboard และ Shaving board เป็นต้น

3. *แผ่นพาร์ทิเคิลชนิด Floor underlayment* เป็นแผ่นพาร์ทิเคิลที่มีความหนาสม่ำเสมอเพื่อใช้เป็นวัสดุติดให้วัสดุอื่นปูพื้น ได้เรียบและได้ระดับเดียวกัน

4. *แผ่นพาร์ทิเคิลชนิด Prefinished* ได้แก่ แผ่นพาร์ทิเคิลเพื่อใช้ในการตกแต่งที่ผ่านการเคลือบด้วยสีหรือกาวสังเคราะห์จากโรงงาน เช่น เมลามีน

5. *แผ่นพาร์ทิเคิลชนิด Acoustical* เป็นแผ่นพาร์ทิเคิลสำหรับใช้เป็นเพดานหรือผนังซึ่งทำการปรูรูหรือเจาะร่องเป็นแบบต่างๆ เพื่อลดการสะท้อนเสียงในห้อง

2.11.2 วัสดุติดและแหล่งวัสดุติดแผ่นพาร์ทิเคิล

วัสดุติดที่สำคัญในการผลิตแผ่นพาร์ทิเคิล ได้แก่

- ไม้หรือวัสดุที่มีลิกนินหรือ เซลลูโลส (เช่น ชานอ้อย) ซึ่งแหล่งวัสดุติดเหล่านี้หาได้ภายในประเทศ

- ไม้ยางพารา มีมากในแถบภาคใต้และภาคตะวันออก

- ไม้ยูคาลิปตัสพบได้ทั่วทุกภาคของประเทศ

- เศษไม้ มีอยู่ทั่วไปจากโรงเลื่อยและ โรงงานไม้แปรรูปที่มีอยู่ทั่วประเทศ

- กาว ใช้เป็นตัวประสานให้ชิ้นไม้ประสานกัน โดยใช้กาวชนิดยูเรียฟอรั่มลดีไฮด์ หรือกาวสังเคราะห์ชนิดอื่นๆ เพื่อวัตถุประสงค์ที่ต่างกัน ซึ่งสามารถหาซื้อได้ภายในประเทศ นอกจากนี้ยังสามารถซื้อได้จากประเทศใกล้เคียง เช่น มาเลเซีย

- WAX และสารเคมีอื่นๆ สามารถจัดซื้อได้จากตัวแทนจำหน่ายในประเทศ

2.11.3 กรรมวิธีการผลิตแผ่นพาร์ทิเคิล

กรรมวิธีการผลิตแผ่นพาร์ทิเคิล เริ่มจากขั้นตอนการเตรียมชิ้นไม้ เมื่อได้ไม้ที่อ่อนมาจะถูกส่งเข้าเครื่องตัดเป็นชิ้นแต่ถ้าเป็นเศษไม้จะส่งเข้าเครื่องตัดชิ้นไม้อีกแบบหนึ่ง หลังจากนั้นจะถูกส่งเข้าไปเก็บในโกดังเก็บชิ้นไม้ชื้นและส่งไปอบด้วยเครื่องอบชิ้นไม้จนเหลือความชื้นประมาณ 2 - 3% จึงถูกส่งไปเก็บในโกดังชิ้นไม้แห้งและส่งต่อไปเข้าเครื่องคัดขนาด (Airseparator) ชิ้นไม้ที่ใหญ่เกินขนาดจะถูกส่งเข้าเครื่องย่อยชิ้นไม้ (Knifflink flaker) ให้ได้ขนาดที่ต้องการก่อนถูกส่งผ่าน ไปโกดังพักและเครื่องชั่งควบคุมน้ำหนัก ส่วนชิ้นไม้ที่ได้ขนาดพอดีก็ถูกส่งผ่านไปยังเครื่องชั่งควบคุมน้ำหนักจากนั้นถึงขั้นตอนการผสมกาวเข้ากับชิ้นไม้แล้วผ่านเข้าเครื่องทำแผ่นชนิดพิเศษ Mathforming Machine เมื่อได้แผ่นชิ้นไม้ที่ทำเรียบร้อยแล้วจะเคลื่อนตัวบนสายพานเหล็กใต้เครื่องทำแผ่นไปเข้า Memde press ซึ่งจะถูกอัดระหว่างลูกกลิ้งร้อนตัวใหญ่ (Heated press drum) กับดับลูกกลิ้งอัดเล็ก (Pressure rolls) ต่อเนื่องกันไปที่อุณหภูมิ 180°C ซึ่งจะได้แผ่นพาร์ทิเคิล ที่มีความยาวต่อเนื่องกันไป การผลิตแผ่นพาร์ทิเคิลจะเกิดฝุ่นอันเนื่องจากการขัดผิวหน้าแผ่นพาร์ทิเคิล ซึ่งโรงงานเหล่านี้จะมีการติดตั้งเครื่องดูดฝุ่น เพื่อกำจัดมลภาวะทางอากาศอันอาจจะทำให้เกิดโรคทางเดินหายใจและฝุ่น นอกจากนี้ฝุ่นที่กำจัดได้ยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ใหม่ โดยส่วนหนึ่งจะทำเป็นเชื้อเพลิงในขบวนการผลิต อีกส่วนหนึ่งจะนำกลับมาใช้ผลิตแผ่นพาร์ทิเคิลได้อีกและฝุ่นที่ละเอียดสามารถจำหน่ายให้กับผู้ผลิตรูปได้อีกด้วย ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อผู้ผลิตและภาวะสิ่งแวดล้อมของโลกที่เปลี่ยนแปลงไป

2.11.4 ต้นทุนการผลิตแผ่นพาร์ทิเคิล

ต้นทุนของแผ่นพาร์ทิเคิลที่สำคัญ ได้แก่ วัตถุดิบที่เป็นกาว รองลงมาได้แก่ ไม้ สารเคมี และต้นทุนอื่นๆ

2.11.5 ผลิตภัณฑ์แผ่นพาร์ทิเคิล

แผ่นพาร์ทิเคิลที่ขายในประเทศไทยมี 2 ชนิด คือชนิดเปลือย (Sanding board) ได้แก่ ไม้บอร์ดที่ขัดผิวเรียบร้อยพร้อมที่จะนำไปปิดกระดาษหรือฟอยล์ (Foil) และชนิดเคลือบ (Melamine faced board) ซึ่งจะเคลือบด้วยเมลามีนฟิล์มสีและลายต่าง ๆ โดยทั่วไปจะมีสีขาว สีพื้น อื่น ๆ อาทิ ครีม น้ำตาลและลายไม้ผู้ผลิตส่วนใหญ่จะผลิตเฉพาะชนิดเปลือย

2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ณัฐชา ปานสกุล [33] ศึกษาการปรับปรุงสมบัติเชิงกลและการต้านทานน้ำของกาวอะครีเลต-พอลิยูรีเทนด้วยน้ำมันลินสีด ในขั้นแรกเป็นการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมอะครีเลตกับน้ำมันลินสีดด้วยการใช้เทคนิคพอลิเมอไรเซชันแบบสารละลาย โดยปรับเปลี่ยนปริมาณของน้ำมันลินสีด เพื่อศึกษาถึงผลของปริมาณน้ำมันลินสีดต่อสมบัติต่างๆของกาวอะครีเลตพอลิยูรีเทน ในขั้นที่ 2 เป็นการเตรียมกาวโดยนำพอลิเมอร์ร่วมอะครีเลตที่เตรียมได้มาทำปฏิกิริยากับไดไอโซไซยานตเป็นกาวอะครีเลต พอลิยูรีเทน จากนั้นศึกษาผลของไดไอโซไซไซยานตที่แตกต่างกัน 2 ชนิดได้แก่ โทลูอิน-ไดไอโซไซไซยานต (TDI) และเมทิลีนไดไอโซไซไซยานต (MDI) โดยทำการปรับอัตราส่วนโดยโมลของหมู่ไอโซไซไซยานตกับหมู่ไฮดรอกซิลที่อัตราส่วนต่างๆ จากการทดสอบพบว่ากาวที่เตรียมจาก MDI มีค่าความแข็งแรงดึงแบบเฉือนและสมบัติความต้านทานน้ำสูงกว่า TDI และการเพิ่มอัตราส่วนของหมู่ ไอโซไซไซยานตต่อไฮดรอกซิล ทำให้กาวมีค่าความแข็งแรงดึงแบบเฉือนและการต้านทานน้ำสูงขึ้น กาวอะครีเลตพอลิยูรีเทนที่มีน้ำมันลินสีดเป็นองค์ประกอบค่าความแข็งแรงดึงแบบเฉือนและสมบัติความต้านทานน้ำสูงกว่ากาวที่ไม่ใช้น้ำมันลินสีด โดยกาวอะครีเลตพอลิยูรีเทนที่มีปริมาณของน้ำมันลินสีด 15% โดยน้ำหนัก ให้ค่าความแข็งแรงดึงแบบเฉือนและการต้านทานน้ำสูงที่สุด และได้พบว่าการปรับเปลี่ยนชนิดและอัตราส่วนของมอนอเมอร์ที่ใช้ในพอลิเมอร์ร่วมอะครีเลตมีผลต่อค่าความแข็งแรงดึงแบบเฉือนและการต้านทานน้ำของกาวอะครีเลตพอลิยูรีเทน

S.H. Imam *et al.* [34] ได้ศึกษากาวติดไม้ที่เตรียมจากปฏิกิริยาระหว่างพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ (PVA) ผสมแป้งและ Cymel 323 (Hexamethoxymethylmelamine) โดยใช้กรดซิตริก (Citric acid) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดการเชื่อมโยงจากปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนหมู่เอสเทอร์ (Transesterification) ของหมู่ไฮดรอกซิล (OH) ที่อยู่ในโมเลกุลแป้ง PVA และไม้ จะถูกแทนที่ที่ตำแหน่งหมู่เมทอกซี (Methoxy) ของ Cymel 323 ทำให้เกิดการเชื่อมโยงด้วยพันธะอีเทอร์ระหว่างโมเลกุลของ Cymel-323 ที่มีวงแหวนเบนซีนอยู่ในโครงสร้างกับแป้ง PVA และไม้ จากนั้นนำกาวไปทาลงบนไม้สน โดยใช้ไม้สน 3 ชิ้นประกบกัน ใช้กาว 130 กรัม/ตารางเมตร ทิ้งไว้ 15 นาที จากนั้นนำไปอัดที่ความดัน 1.6 MPa ที่อุณหภูมิ 125 – 175°C นาน 15 นาที แล้ววางไว้ในห้องควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ที่ 50% นาน 6 เดือน จากนั้นนำไปวัดค่าความแข็งแรงเฉือนตามมาตรฐาน ASTM D-906-64 เมื่อนำค่าความแข็งแรงเฉือนระหว่างกาว 2 สูตรมาเปรียบเทียบกัน โดย สูตรที่ 1 เป็นกาวที่ไม่ได้เชื่อมโยงด้วย Cymel 323 และสูตรที่ 2 เชื่อมโยงด้วย Cymel 323 พบว่ากาวสูตรที่ 2 ให้ค่าความแข็งแรงเฉือนและ %Veneer Failure สูงกว่ากาวสูตรที่ 1 และยังทำการทดสอบการต้านทานความชื้น (Moisture-resistance, %RH) โดยนำไม้ที่ทากาวแล้วไปเก็บต่ออีก 2 เดือน ทดสอบการต้านทานความชื้น โดยวิธีวัด %RH จากผลการทดสอบพบว่ากาวสูตรที่ 1 มีค่า %RH เท่ากับ 50% และกาวสูตรที่ 2 มีค่า %RH

เท่ากับ 75% แสดงให้เห็นว่ากาวที่เชื่อมโยงด้วย Cymel 323 มีค่าความแข็งแรงเฉือนและมีความต้านทานความชื้นสูงขึ้น ซึ่งเกิดจากพันธะอีเทอร์เชื่อมโยงระหว่างหมู่ OH ในโมเลกุลของไม้กับ Cymel 323 หลังการเชื่อมโยงทำให้ปริมาณหมู่ OH ลดลง นอกจากนี้ยังปรับปรุงคุณสมบัติของกาวสูตรที่ 2 ด้วยวิธีการเติมลาเทกซ์ลงไป 5 - 7% โดยน้ำหนัก พบว่ามี %Veneer failure และมีความต้านทานความชื้นสูงขึ้น

S. Tharhate and J. Ngamcharoenthavorn [35] ได้ศึกษาการเตรียมกาวติดไม้ที่ปราศจากฟอร์มาลดีไฮด์โดยใช้พอลิไวนิลอัลกอฮอล์ โดยการปรับปรุงโดยใช้กรดไขมัน ได้แก่ Oleic acid และ Linoleic acid ร่วมกับน้ำมันลินสีด เป็นสารเชื่อมโยง โดยมี *p*-toluene sulfonic acid เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา Potassium persulfate เป็นสารริเริ่มปฏิกิริยา และ Sodium lauryl sulfate เป็นสารลดแรงตึงผิวเพื่อช่วยให้กาวมีการกระจายตัวดี โดยสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับกาวติดไม้พอลิไวนิลอัลกอฮอล์คืออัตราส่วนน้ำหนักของพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ : Oleic acid : Linoleic acid เป็น 90:5:5 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าความต้านทานน้ำสำหรับไม้มีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยา Esterification ระหว่าง Carboxylic acid และหมู่ Hydroxyl และมีการเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงที่ตำแหน่งพันธะคู่ใน Oleic acid และ Linoleic acid ค่าความแข็งแรงเฉือนมีค่าเพิ่มมากขึ้น เป็น 12.52 MPa

N. Rattanaapiromyakit and P. Lakkanapornwisit [36] ได้ศึกษาการเตรียมกาวติดไม้ที่ปราศจากฟอร์มาลดีไฮด์โดยเตรียมจากพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ที่ทำการปรับปรุงสมบัติโดยใช้น้ำมันลินสีด ที่มีอัตราส่วนต่าง ๆ กันคือ 10%, 15% และ 20% โดยน้ำหนัก ใช้ *p*-toluene sulfonic acid เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา Potassium persulfate เป็นสารริเริ่มปฏิกิริยาและ Sodium lauryl sulfate เป็นสารลดแรงตึงผิว จากนั้นนำกาวที่ได้ไปขึ้นรูปเป็นแผ่นพาร์ทิเคิล โดยใช้ไม้ยูคาลิปตัส 4 ชนิด ซึ่งมีลักษณะของชั้นไม้ที่แตกต่างกันดังนี้ ชนิดที่ 1 หยาบและสัน มีความชื้น 9% ชนิดที่ 2 หยาบและยาว ความชื้น 9% ชนิดที่ 3 หยาบและยาว ความชื้น 4% และชนิดที่ 4 ละเอียดและสัน มีความชื้น 9% โดยมีการควบคุมความชื้นด้วยการอบชื้นไม้ไม้ให้มีความชื้นเกิน 9% ความชื้นของชั้นไม้มีผลต่อการขึ้นรูปแผ่นไม้พาร์ทิเคิลหากเกิน 9% จะส่งผลกระทบต่อแผ่นไม้พาร์ทิเคิลจากนั้นนำแผ่นพาร์ทิเคิลทดสอบตามมาตรฐาน JIS A5908 จากการทดสอบพบว่าน้ำมันลินสีดช่วยเพิ่มความแข็งแรงดัดโค้ง (Bending strength) แต่จะลดความแข็งแรงยึดเหนี่ยวภายในแผ่น (Internal bonding) โดยแผ่นพาร์ทิเคิลที่ผลิตจากไม้ชนิดที่ 4 จะให้ความแข็งแรงยึดเหนี่ยวภายในแผ่นสูงสุด ความแข็งแรงโค้งงอสูงสุด ความหนาแน่นต่ำสุด การดูดซับความชื้นต่ำสุด และการบวมตัวต่ำสุดเช่นกัน ซึ่งไม้ชนิดที่ 4 สามารถทดสอบผ่านมาตรฐาน JIS A5908 ทั้งหมด ยกเว้นการบวมตัวเมื่อแช่น้ำ (Swelling test)

G.XU et al. [37] ได้ศึกษาสถานะของการเกิดปฏิกิริยา Transesterification ของน้ำมันทั้ง และ เมทานอล โดยใช้ Immobilize lipase NOVO435 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สถานะที่เหมาะสมที่ใช้คืออัตรา การหมุน 200 รอบ/นาที อัตราส่วนระหว่างเมทานอลกับน้ำมันเป็น 2.2/1 อุณหภูมิในการ เกิดปฏิกิริยาคือ 43°C และใช้ตัวเร่ง 14% ของน้ำหนักน้ำมันที่ใช้ หลังจากเกิดปฏิกิริยา 18 ชั่วโมง พบว่า 67.5% ของน้ำมันถูกเปลี่ยนไปเป็นเมทิลเอสเทอร์ (ตามทฤษฎีจะเปลี่ยนเป็นเอสเทอร์ 73.3%) Lipase จะถูกกำจัดออกไปโดยตัวทำละลายอินทรีย์ และหลังจากเกิดปฏิกิริยาไปแล้วจะถูกนำ กลับมาใช้ใหม่ น้ำมันทั้งจะถูกเปลี่ยนเป็นเอสเทอร์ลดลง 6% หลังจาก lipase ถูกใช้ไป 120 ชั่วโมง โดยตามทฤษฎีจะเติมเมทานอลลงไป 2 ครั้ง หลังจากปฏิกิริยาผ่านไปอีก 36 ชั่วโมงจะพบว่าถูก เปลี่ยนมาเป็นเอสเทอร์ 85% (จากทฤษฎีต้องเปลี่ยนเป็นเอสเทอร์ 100%) อัตราส่วนของเมทานอล ต่อ น้ำมันทั้ง ปริมาณตัวเร่ง อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา และเวลาในการเกิดปฏิกิริยา สิ่งต่างๆ เหล่านี้เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น

S. Yadav et al. [38] ได้ทำการสังเคราะห์ Poly(urethane fatty amide) (PULFA) โดยใช้เทคนิค One-short ที่อุณหภูมิห้องจาก Diol linseed fatty amide (DLFA) 1 โมล (DLFA เป็นมอนอเมอร์ที่ได้ จาก aminolysis โดยเฉพาะจากน้ำมันลินสีดที่มี Diethanolamine และ Sodium methoxide ซึ่งใช้ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา) และปรับเปลี่ยนอัตราส่วน Tolulene-2,4(6)-Diisocyanate (TDI 0.08-1.5 โมล) และ Xylene ที่ปราศจากสายโซ่ตรงและตัวเร่งปฏิกิริยาในปริมาณน้อย ในกระบวนการนี้ปกติจะใช้ Phthalic acid/Phthalic anhydride ในการสังเคราะห์ Polyesteramide ซึ่งจะเสร็จสมบูรณ์เมื่อมีการ แทนที่ด้วย TDI กลไกการเกิดปฏิกิริยาสามารถตรวจสอบได้โดยนำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางเคมี รวมทั้งวิเคราะห์จากสเปกตรัม (Spectra analysis) ทดสอบโดยนำไปเคลือบบน เหล็กกล้า ทดสอบความแข็งแรงทางกายภาพและเคมี ทดสอบการกัดกร่อน ทดสอบเสถียรภาพทาง ความร้อนและพฤติกรรมกรรมการเชื่อมโยงโดยใช้เทคนิค Thermogravimetric analysis (TGA) และ Differential scanning calorimetry (DSC) ทำการทดสอบดังกล่าวเปรียบเทียบระหว่างเรซินที่ทำการ สังเคราะห์ขึ้นกับน้ำมันลินสีดที่ผสมใน Polyesteramide urethane (Ur-LPEA ซึ่งสังเคราะห์โดยการ แทนที่บางส่วนของ Phthalic anhydride โดย TDI) และ Uralkyd เรซินที่สังเคราะห์ขึ้นใหม่นี้ให้ ความแข็งแรงทางกายภาพ และความต้านทานการกัดกร่อนเพิ่มขึ้น โดยเมื่อเทียบกับ Ur-LPEA, Alkyol และ Uralkyd พบว่า PULFA เรซิน ไม่เพียงแต่ให้สมบัติที่ดีขึ้นเท่านั้น แต่ยังช่วยทำให้ สามารถสังเคราะห์ได้ที่อุณหภูมิห้อง เมื่อเทียบกับระบบอื่นซึ่งต้องใช้อุณหภูมิในการสังเคราะห์สูง จากการศึกษพบว่า PULFA สามารถใช้ทาและเคลือบเพื่อป้องกันการกัดกร่อน ซึ่งสามารถใช้แทน Ur-LPEA alkyol และ Uralkyd ได้

Z. O. Oymane et al. [39] ได้ทำการศึกษาการเกิด Oxidation ของน้ำมันแห้งเร็วที่เป็นระบบ Non-conjugated (น้ำมันลินสีด) และระบบ Conjugated (น้ำมันถั่ง) โดยใช้ Co(II)-2-ethylhexanoate (Co-EH) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยน้ำมัน 2 ชนิดนี้มีกลไกของการเกิด Oxidation ที่แตกต่างกัน สำหรับน้ำมันลินสีดซึ่งเป็น Non-conjugated การแตกออกของไฮโดรเจนจะเกิดขึ้นผ่านอัลลิลิกไฮโดรเจนอะตอม ออกซิเจนปริมาณมากที่ใส่ลงไปนำไปสู่การเกิด Hydroperoxide ซึ่งสามารถสลายกลายเป็นอนุมูลอิสระของ Alkoxy และ Peroxy โดยทำให้เกิดการเชื่อมโยง และผลิตภัณฑ์ร่วม น้ำมันถั่งที่มีระบบ Conjugated เป็นหลักเกิด Oxidation โดยเริ่มจากการแตกออกของไฮโดรเจนจาก Monoallylic โดยเมื่อเทียบกับน้ำมันลินสีดจะใช้ปริมาณออกซิเจนที่น้อยกว่า และเกิด Hydroperoxide รวมทั้งได้ผลิตภัณฑ์ร่วมมากกว่าเล็กน้อย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอนุมูลอิสระชอบเข้าทำปฏิกิริยาตรงตำแหน่งพันธะคู่ที่เป็น Conjugate มากกว่า โดยจะแทนที่ไฮโดรเจนอะตอมของ Monoallylic

วรวิทย์ ชุ่มชื่น [40] ได้ทำการศึกษาการพัฒนาการวัดไม้ปราศจากสารฟอร์มาลดีไฮด์จากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และน้ำมันถั่ง ซึ่งเตรียมการโดยการผสมสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับน้ำมันถั่ง โดยปรับเปลี่ยนปริมาณน้ำมันถั่งในช่วง 0 - 20% โดยน้ำหนักและความหนืดของสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ คือ 500, 800, 1000, 2000 และ 3000 เซนติพอยส์ โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา กาวที่เตรียมได้ถูกนำไปทดสอบสมบัติเชิงกลตามมาตรฐานการวัดไม้ DIN EN 204-1991 (สถานะแห้งและสถานะแห้งหลังแช่น้ำ) พบว่า การเติมน้ำมันถั่งสามารถพัฒนาความแข็งแรงดึงแบบเฉือนและความต้านทานน้ำของกาวได้ ซึ่งสูตรกาวที่มีน้ำมันถั่ง 15 และ 20% โดยน้ำหนัก มีค่าความแข็งแรงดึงแบบเฉือนสูงกว่ามาตรฐาน คือ 10 MPa (สถานะแห้ง) และ 8 MPa (สถานะแห้งหลังแช่น้ำ) ซึ่งสูตรกาวที่มีน้ำมันถั่ง 20% โดยน้ำหนัก เตรียมโดยกอดัดที่อุณหภูมิ 95°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง มีค่าความแข็งแรงดึงแบบเฉือนสูงสุด คือ 13.0 MPa (สถานะแห้ง) และ 11.3 MPa (สถานะแห้งหลังแช่น้ำ)

รัตนพร ทองสุข และคณะ [41] ได้ทำการศึกษาการเตรียมการวัดไม้ปราศจากฟอร์มาลดีไฮด์จากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ที่ทำการปรับปรุงสมบัติด้วยน้ำมันถั่ง เพื่อเพิ่มสมบัติเชิงกลและความต้านทานน้ำโดยมีการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนน้ำมันถั่งเป็น 15% และ 20% โดยน้ำหนัก ใช้กรดพาราโทลูอินซัลโฟนิก (PTSA) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ใช้โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต (KPS) เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยาและโซเดียมลอริลซัลเฟต (SLS) เป็นสารลดแรงตึงผิว โดยเราจะมีการปรับปริมาณ SLS เป็น 2 และ 4% โดยน้ำหนัก และทำการทดสอบสมบัติกาวได้แก่ ความหนืด solid content(%) และ %การบวมตัวของฟิล์มกาว จากนั้นนำกาวที่เตรียมได้มาขึ้นรูปแผ่นพาร์ทิเคิล โดยใช้ไม้ยูคาลิปตัสเบอร์ 2 และเบอร์ 3 และปรับปริมาณกาวต่อไม้เป็น 15%, 20% และ 25% โดยน้ำหนัก แผ่น

พาร์ทิเคิลที่ได้นำไปทดสอบสมบัติตามมาตรฐาน JIS A 5908 และมอก.876 ของแผ่นพาร์ทิเคิล ได้แก่ ความหนาแน่น ความชื้น การพองตัวทางความหนา ความแข็งแรงดัดโค้ง โมดูลัสยืดหยุ่น และความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า พบว่าสูตรกาวที่มีปริมาณน้ำมันทั้ง 15% SLS 2% (สูตร 5) ใช้ปริมาณกาว 25% ขึ้นรูปแผ่นพาร์ทิเคิลด้วยไม้เบอร์ 3 ให้ค่าการทดสอบผ่านมาตรฐาน JIS A 5908 และ มอก.876 ทุกค่า ยกเว้นค่าการพองตัวทางความหนา

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าปริมาณความชื้นของขึ้นไม้ ปริมาณอัตราส่วนกาวต่อไม้ ปริมาณและชนิดของน้ำมันชักแห้งธรรมชาติ [32-34] มีผลต่อสมบัติของแผ่นไม้พาร์ทิเคิลจึงออกแบบการศึกษาโดยการควบคุมความชื้นของขึ้นไม้ให้อยู่ในช่วง 3 - 5% รวมถึงทำการอบแผ่นไม้พาร์ทิเคิลหลังจากการขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมงเพื่อให้ปฏิกิริยาในระบบเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์และเพิ่มเวลาในการกดอัดขึ้นรูปแผ่นไม้พาร์ทิเคิลจากงานวิจัยที่ผ่านมาที่ 16 นาทีเป็น 25 นาที เพื่อให้สารเร่งปฏิกิริยาทำงานได้อย่างสมบูรณ์เนื่องจากสารเร่งปฏิกิริยา (กรดพาราโทลูอินซัลฟูนิค) มีอุณหภูมิทำงานอยู่ในช่วงที่ 90 - 95°C และทำการศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่ต้องการศึกษา คือ ชนิดของน้ำมันชักแห้งธรรมชาติ การเติมและไม่เติมสารเร่งปฏิกิริยา ชนิดและปริมาณของสารตัวเติมซิลิกา ชนิดและขนาดของขึ้นไม้ และผลจากการใช้น้ำมันผสม

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมี

1. พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly (vinyl alcohol)) ชื่อทางการค้า GOSENOL
2. น้ำมันทัง (Tung oil) เกรดการค้า
3. น้ำมันลินสีด (Linseed oil) เกรดการค้า
4. ละอองซิลิกา (Fumed silica) ชนิด A ชื่อทางการค้า Scintran® BDH Co., Ltd.
5. ละอองซิลิกา (Fume silica) ชนิด B บริษัท เคมีคอลวิลเลจ จำกัด ซึ่งมีสมบัติต่างๆ ดังตารางที่ 3.1 - 3.2

ตารางที่ 3.1 สมบัติของซิลิกาชนิด A

Items	Scintran®
Specific surface area (BET)	200 m ² /g
pH value in 10% dispersion	3.5 - 4.5
Loss on drying (150°C)	≤ 2.0%
Bulk density	35-55 g/L

ตารางที่ 3.2 สมบัติของซิลิกาชนิด B

Items	HL-200
Specific surface area (BET)	200±20m ² /g
pH value in 4% dispersion	3.7 - 4.5
Loss on drying (2h,105°C)	≤ 2.0%
Loss on ignition (2h 1000°C, based on material dried for 2h, 105°C)	≤ 2.0%
Sieve residue (45um)	≤ 0.04%
Silica content (based on ignited material)	≥ 99.8%
Tamped density (based on material dried for 2h, 105°C)	40 - 60g/L
Carbon content (based on material dried for 2h, 105°C)	≤ 0.15%

หมายเหตุ ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

6. Potassium persulfate (K₂S₂O₈) เกรดวิเคราะห์ RANKEM Co., Ltd
7. ฐิน ไม้ยูคาลิปตัส เบอร์ 2 มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 – 1.0 mm

8. ซึ้นไม้ยางพารา เบอร์ 1, 2, 3 และ 4

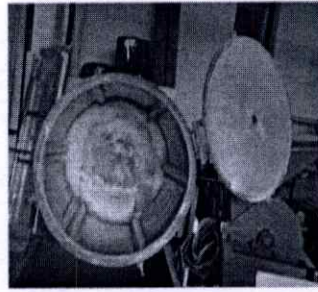
9. กรดพาราโทลูอินซัลฟูนิค (*p*-tolulene sulfonic acid (PTSA)) เกรดวิเคราะห์
CARLOERBA Co., Ltd

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

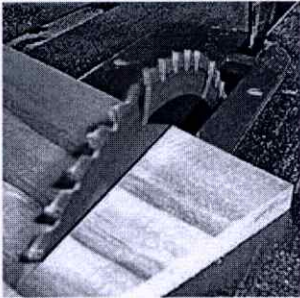
1. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด (3 ตำแหน่ง)
2. เครื่องวัดความหนืด (Brookfield viscometer) Cannon instrument company Ltd.
รุ่น LV 2000
3. เครื่องปั่นกวนชนิดความเร็วรอบสูง (High speed agitator) พร้อมใบพัดกวน
4. บีกเกอร์ ขนาด 2000 ml, 600 ml, 250 ml, 100 ml และ 50 ml
5. เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding hydraulic machine) บริษัทน้ำเสง จำกัด
(รูปที่ 3.6)
6. อุปกรณ์พ่นกาว (รูปที่ 3.1)
7. เครื่องผสมซึ้นไม้กับกาว (รูปที่ 3.2)
8. เครื่องตัดแผ่นพาร์ทิเคิล (รูปที่ 3.3) ROBLAND X-30 Co., Ltd
9. เครื่องวัดความซึ้น รุ่น Model MA30 S/N1001945 Satorius Co., Ltd
10. เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal testing machine) Testometric M500 -
50KN
11. เครื่องโฮโมจิไนซ์เซอร์ (Homogenizer) รุ่น ULTRA-TURRAX® IKA® Co.,Ltd
12. เวอร์เนียร์ (Vernier) NAZA Co., Ltd
13. เครื่องให้ความร้อน (Hot plate) IKA® C-MAG HS7 Co., Ltd
14. ตู้อบ (Oven) Memmert Co., Ltd
15. ไมโครมิเตอร์ (Micrometer) PEA COCK (OZAKI MFG Co., Ltd)
16. จานเพาะเชื้อ (Petri dish)



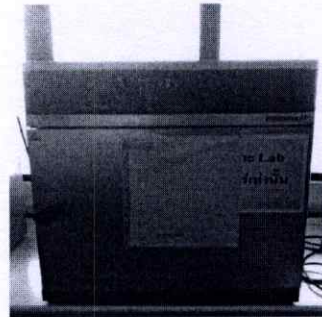
รูปที่ 3.1 อุปกรณ์พ่นกาว



รูปที่ 3.2 เครื่องผสมชิ้นไม้กับกาว



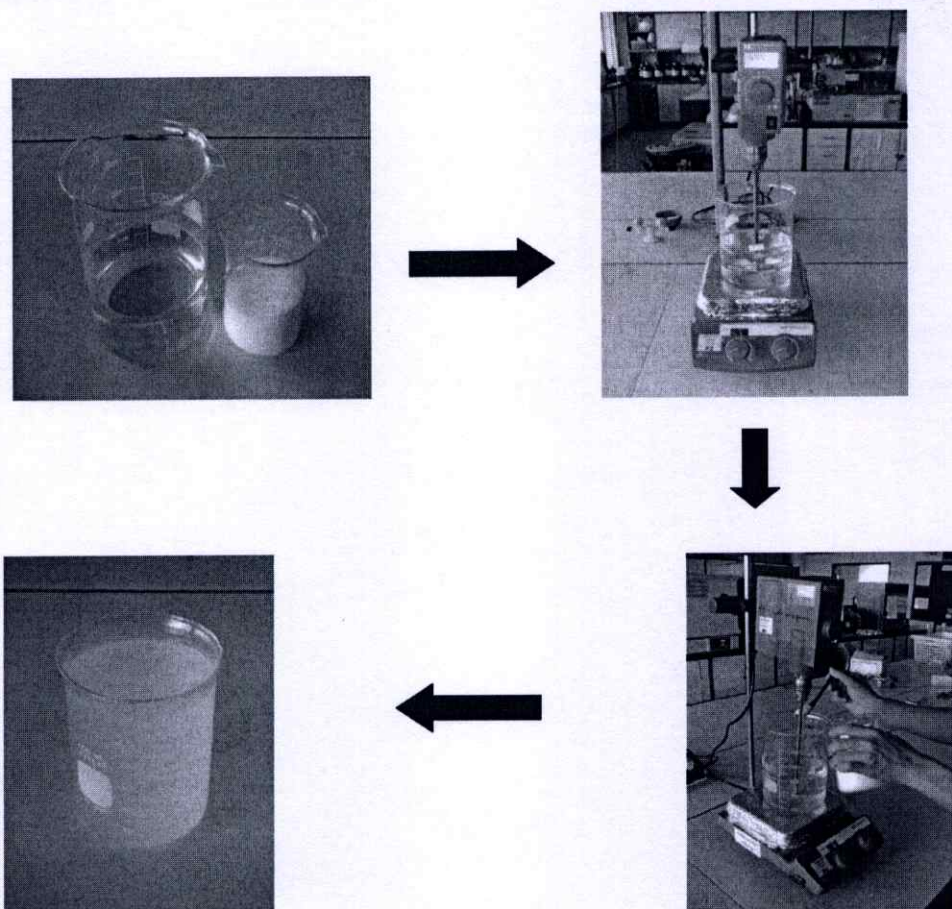
รูปที่ 3.3 เครื่องตัดแผ่นพาร์ทิเคิล



รูปที่ 3.4 ตู้อบ

3.3 การเตรียมสารละลายพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ (PVA)

ทำการกระจายตัวพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ในน้ำกลั่นโดยการค่อยๆ ใส่พอลิไวนิลอัลกอฮอล์ลงในบีกเกอร์ ทำการปั่นกวนที่ความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที จนกระทั่งพอลิไวนิลอัลกอฮอล์กระจายตัวในน้ำกลั่น หลังจากนั้นให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90°C จนพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ละลายเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำกลั่น และนำสารละลายพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ที่ได้ไปวัดค่าความหนืดโดยปรับค่าความหนืดของสารละลายให้อยู่ในช่วง 40 - 60 เซนติพอยส์



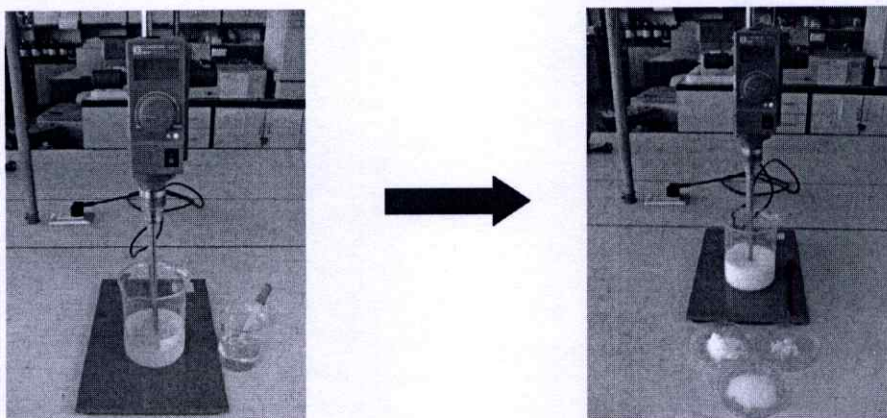
รูปที่ 3.5 การเตรียมสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

3.4 การเตรียมกาวไม้

1. ชั่งสารผสมตามอัตราส่วนดังตารางที่ 3.1
2. ผสมส่วนผสม ได้แก่ สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ น้ำมันชักแห้งธรรมชาติ ละอองซิลิกา โปแตสเซียมเปอร์ซัลเฟต กรดพาราโทลูอินซัลฟูนิคให้เข้าด้วยกัน โดยใช้ Homogenizer ด้วยความเร็วรอบ 900 รอบ/นาที ทำการปั่นจนเป็นเวลา 15 นาที ทำการไล่ฟองอากาศออกจากกาวโดยใช้เครื่อง Ultrasonic เป็นเวลา 20 นาที
3. นำกาวที่ได้ไปวัดค่าความหนืด

ตารางที่ 3.3 อัตราส่วนผสมของกาว

สูตรกาว	สารละลาย PVA(g)/น้ำมันชัก แห้งธรรมชาติ (g)	KPS (g) phr	PTSA (g) phr	ซิลิกา (g)		ชนิดไม้ (U)/(R)	ขนาด ชิ้นไม้
				ชนิด A/B	ปริมาณ phr		
L15A0P0(U2)	85 : 15	1	0	A	0	U	2
L15A1P0(U2)	85 : 15	1	0	A	1	U	2
L15A3P0(U2)	85 : 15	1	0	A	3	U	2
T15A0P0(U2)	85 : 15	1	0	A	0	U	2
T15A1P0(U2)	85 : 15	1	0	A	1	U	2
T15A3P0(U2)	85 : 15	1	0	A	3	U	2
T15A5P0(U2)	85 : 15	1	0	A	5	U	2
T15A0P1(U2)	85 : 15	1	1	A	0	U	2
T15A1P1(U2)	85 : 15	1	1	A	1	U	2
T15A3P1(U2)	85 : 15	1	1	A	3	U	2
T15A5P1(U2)	85 : 15	1	1	A	5	U	2
T15A0P1(R2)	85 : 15	1	1	A	0	R	2
T15A1P1(R2)	85 : 15	1	1	A	1	R	2
T15A3P1(R2)	85 : 15	1	1	A	3	R	2
T15A5P1(R2)	85 : 15	1	1	A	5	R	2
T5L10A3P1(R2)	85 : 15	1	1	A	3	R	2
T10L5A3P1(R2)	85 : 15	1	1	A	3	R	2
T7.5L7.5A3P1(R2)	85 : 15	1	1	A	3	R	2
L15A0P1(R2)	85 : 15	1	1	A	0	R	2
L15A1P1(R2)	85 : 15	1	1	A	1	R	2
L15A3P1(R2)	85 : 15	1	1	A	3	R	2
L15A5P1(R2)	85 : 15	1	1	A	5	R	2
T15B1P1(R2)	85 : 15	1	1	B	1	R	2
T15B3P1(R2)	85 : 15	1	1	B	3	R	2
T15B5P1(R2)	85 : 15	1	1	B	5	R	2
T5L10B3P1(R2)	85 : 15	1	1	B	3	R	2



รูปที่ 3.6 ขั้นตอนการเตรียมกาว

3.5 การขึ้นรูปแผ่นพาร์ทิเคิล

ในการขึ้นรูปแผ่นพาร์ทิเคิลโดยใช้ชิ้นไม้ยูคาลิปตัสหรือไม้ยางพาราที่มีลักษณะละเอียดเบอร์ 1, 2, 3 หรือ 4 แล้วแต่กรณี ที่มีความชื้น 3 - 5%

- วัดความชื้นของชิ้นไม้เบอร์ 2 เพื่อทำการคำนวณหาอัตราส่วนชิ้นไม้ต่อกาว PVA ที่ใช้สำหรับแผ่นพาร์ทิเคิล 1 แผ่น โดยใช้กาว 20% ซึ่งคำนวณได้ดังตัวอย่างต่อไปนี้

ความหนาแน่นของวัสดุ 0.8 g/cm^3 (กำหนดโดยอ้างอิง

จาก ค่ามาตรฐาน มอก.876 และ JIS A 5908)

วัสดุขนาด $25 \times 25 \text{ cm}^2$

ความหนา 1 cm

ใช้ปริมาณน้ำหนักรวตวัสดุ 20% ของน้ำหนักรวตแห้ง

วัสดุมีความชื้น 4%

$$\begin{aligned}
 \text{จาก} \quad D &= m/V \\
 \text{จะได้ว่า} \quad \text{มวล (วัสดุ + กาว)} &= \text{ปริมาตร} \times \text{ความหนาแน่น} \\
 &= (25 \times 25 \times 1) \times 0.8 \text{ g} \\
 &= 500 \text{ g}
 \end{aligned}$$

แผ่นประกอบมวล 100 g ใช้วัสดุมวล 80 g มาจากใน 100 ใช้กาว 20% มีเนื้อไม้ 80%

แผ่นประกอบมวล 500 g ใช้วัสดุมวล $(80 \times 500) / 100 = 400$

ดังนั้น ใช้วัสดุมวลแห้ง 400 g

แผ่นประกอบมวล 100 g ใช้กาว 20 g

แผ่นประกอบมวล 500 g ใช้กาว $(20 \times 500) / 100 = 100 \text{ g}$

คังนั้	ใ้เนื้อกาวมวล	100 g	
ปริมาตรวัสดุที่ใ้	$400 \times 1.04 =$	416 g	
เพิ่ม 10% เป็น	$416.00 \times 1.1 =$	457.6 g	(สมการที่ 1)
ปริมาณกาวที่ใ้	100 g		
เพิ่ม 10% เป็น	$100 \times 1.1 =$	110 g	(สมการที่ 2)

คังนั้ ในการเตรียมก่อนอัดต้องใ้วัสดุที่ผสมกับกาวแล้ว = $457.6 + 110 = 567.6$ g

หมายเหตุ 1.04 คือ มวลกับวัสดุรวมซึ่งมี ความชื้น 4%

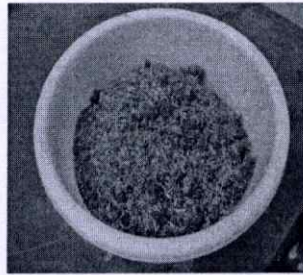
2. ชั่งน้ำหนักของชิ้นไม้ และกาวติดไม้ PVA ที่จะใ้
3. ตั้งสภาวะของเครื่อง Compression molding คังนี้

ความคั้	=	150 psi
อุณหภูมิ	=	120°C
เวลา	=	25 นาที

4. ทำการคลุกเคล้าชิ้นไม้และกาวใ้เข้ากันด้วยการสเปรย์
5. นำชิ้นไม้และกาวที่ผสมกันแล้วโรยใ้แม่พิมพ์
6. นำแม่พิมพ์เข้าเครื่อง Compression molding (25x25x1)
7. เมื่อครบเวลาจึงนำแม่พิมพ์ออกมา นำแผ่นพาร์ทิเคิลออกมา
8. นำแผ่นพาร์ทิเคิลอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง



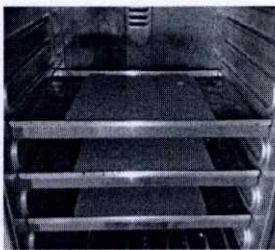
เตรียมกาวผสมสูตร



ชั่งน้ำหนักชิ้นไม้ตามสูตรคำนวณ



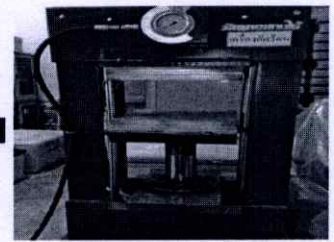
นำมาโรยใ้แม่พิมพ์



อบที่อุณหภูมิ 100°C เวลา 24 ชม.



แผ่นไม้พาร์ทิเคิล



เครื่องอัดร้อน

รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการเตรียมแผ่นพาร์ทิเคิล

3.6 การทดสอบ [42-43]

3.6.1 การทดสอบสมบัติของกาวไม้

3.6.1.1 การหาค่าความหนืด

1. เทตัวอย่างกาว 100 มิลลิลิตรลงในบีกเกอร์ขนาด 150 มิลลิลิตร
2. จุ่มโรเตอร์เบอร์ 2 ที่ใช้ลงในกาว แล้วหมุนสกรูต่อเชื่อมเข้ากับเครื่อง Viscometer จากนั้นเลื่อนโรเตอร์ลงมาจนถึงตำแหน่งที่กำหนดไว้
3. ตั้งรอบ 60 rpm ที่ต้องการใช้ เปิดสวิทช์ให้มอเตอร์หมุนเป็นเวลา 3 นาที อ่านค่าและจดบันทึกเป็นทศนิยมตำแหน่งเดียว

3.6.1.2 การหาค่าปริมาณของแข็ง (Solid content %)

1. ชั่งน้ำหนักกระตงฟอยล์ และบันทึกน้ำหนัก
2. ชั่งน้ำหนักกาว 10 กรัม ลงในกระตงฟอยล์ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน โดยให้กาวกระจายอยู่ทั่วกระตงฟอยล์ บันทึกน้ำหนัก
3. เตรียมกาวตัวอย่างสูตรละ 3 กระตง
4. นำกาวที่ชั่งน้ำหนักแล้วใส่ในตู้อบ โดยใช้อุณหภูมิ 120°C อบจนกระทั่งน้ำหนักรคงที่
5. นำกาวออกจากตู้อบ ชั่งน้ำหนัก
6. คำนวณหาค่า Solid content (%) จาก

$$\text{Solid content (\%)} = 100 - \frac{[(\text{น้ำหนักกาวกับกระตงก่อนอบ} - \text{น้ำหนักกาวกับกระตงหลังอบ}) \times 100]}{\text{น้ำหนักกาวก่อนเข้าสู่ตู้อบ}}$$

3.6.1.3 การหาค่าการบวมตัวของฟิล์มกาว

1. เตรียมกาวสูตรต่างๆ ตามอัตราส่วนที่กำหนด
2. ชั่งน้ำหนักงานเพาะเชื้อ
3. ทากาวบนงานเพาะเชื้อ โดยควบคุมความหนา และน้ำหนักกาวให้เท่ากัน
4. ทำการอบกาวที่อุณหภูมิ 120°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
5. ชั่งน้ำหนักงานเพาะเชื้อที่บรรจุกาวอยู่
6. นำงานเพาะเชื้อที่มีกาวบรรจุอยู่แช่น้ำเป็นเวลา 1 และ 24 ชั่วโมงทำการซับน้ำออกและชั่งน้ำหนัก
7. คำนวณหาค่าการบวมตัวของกาว จาก

$$\text{การบวมตัวของกาว (\%)} = \frac{(\text{น้ำหนักฟิล์มกาวหลังแช่น้ำ} - \text{น้ำหนักฟิล์มกาวก่อนแช่น้ำ}) \times 100}{\text{น้ำหนักฟิล์มกาวก่อนแช่น้ำ}}$$

3.6.2 การทดสอบสมบัติของแผ่นพาร์ทิเคิลที่ขึ้นรูปโดยใช้กาว PVA ตามมาตรฐาน JIS A 5908 และ มอก.876

ก่อนนำไปทำการทดสอบต้องทำการปรับสภาวะขึ้นทดสอบ โดยนำขึ้นทดสอบที่เตรียมไว้สำหรับทดสอบการพองตัวตามความหนา ความต้านแรงดัด โมดูลัสยืดหยุ่นและความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า ไปปรับสภาวะที่อุณหภูมิ $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์ $65 \pm 5\%$ จนมีน้ำหนักคงที่ แล้วทำการทดสอบทันทีที่พ้นจากการปรับสภาวะ ส่วนขึ้นทดสอบที่ใช้ทดสอบความหนาแน่น และปริมาณความชื้นไม่ต้องทำการปรับสภาวะ

3.6.2.1 ความหนาแน่น (Density)

1. ตัดชิ้นตัวอย่างแผ่นพาร์ทิเคิลขนาด $5 \times 5 \text{ cm}^2$ สำหรับทดสอบมาตรฐาน มอก.876 และ $10 \times 10 \text{ cm}^2$ สำหรับทดสอบมาตรฐาน JIS A 5908
2. วัดความยาว ความกว้าง และความหนา
3. ชั่งน้ำหนักแผ่นพาร์ทิเคิลและคำนวณความหนาแน่นจากสูตร

$$\text{Density (g/cm}^3\text{)} = \frac{m}{V}$$

เมื่อ m คือ มวลของขึ้นทดสอบ (g)

V คือ ปริมาตรของขึ้นทดสอบ (cm^3)

3.6.2.2 การทดสอบหาความชื้น (Moisture content)

1. ตัดชิ้นตัวอย่างแผ่นพาร์ทิเคิลขนาด $5 \times 5 \text{ cm}^2$ สำหรับทดสอบมาตรฐาน มอก.876 และ $10 \times 10 \text{ cm}^2$ สำหรับทดสอบมาตรฐาน JIS A 5908
2. ชั่งน้ำหนักขึ้นทดสอบก่อนนำไปอบ
3. นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ จนได้น้ำหนักคงที่จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนัก
4. คำนวณค่าปริมาณความชื้นจากสูตร

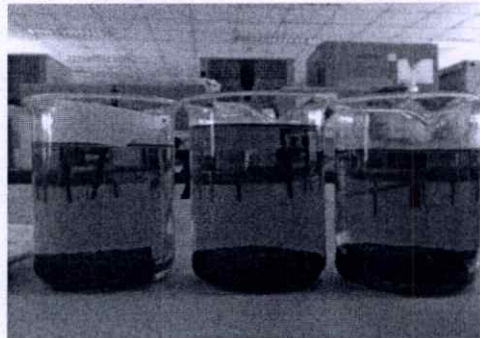
$$\text{ปริมาณความชื้น (\%)} = \frac{(m_1 - m_2) \times 100}{m_2}$$

เมื่อ m_1 คือ น้ำหนักของชิ้นทดสอบก่อนอบแห้ง (g)

m_2 คือ น้ำหนักของชิ้นทดสอบหลังอบแห้ง (g)

3.6.2.3 การทดสอบการพองตัวทางความหนา (Swelling test)

1. ตัดชิ้นงานตัวอย่างแผ่นพาร์ทิเคิลขนาด $5 \times 5 \text{ cm}^2$
2. ทำเครื่องหมายตำแหน่งที่วัดความหนา วัดความหนาด้วยเวอร์เนียของชิ้นทดสอบก่อนแช่น้ำ
3. แช่ชิ้นทดสอบในน้ำสะอาด โดยนำชิ้นงานตัวอย่างมาวัดความหนาภายหลังแช่น้ำ 1 ชั่วโมงสำหรับการทดสอบมาตรฐานมอก.876 และ 24 ชั่วโมงสำหรับมาตรฐาน JIS A 5908 โดยรับนำชิ้นทดสอบขึ้นมาซับน้ำที่ผิวออกให้หมดด้วยผ้าหมาด ปั่นไ้ที่อุณหภูมิห้อง 1 ชั่วโมง แล้วนำชิ้นทดสอบขึ้นมาวัดความหนาตามตำแหน่งเดิมเป็นความหนาหลังแช่น้ำ แช่ในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร ที่มีน้ำ 200 มิลลิลิตร



รูปที่ 3.8 การทดสอบการพองตัวทางความหนา

4. คำนวณการพองตัวทางความหนาภายหลังแช่น้ำโดย

$$\text{การพองตัวทางความหนาภายหลังแช่น้ำ (\%)} = \frac{(t_2 - t_1) \times 100}{t_1}$$

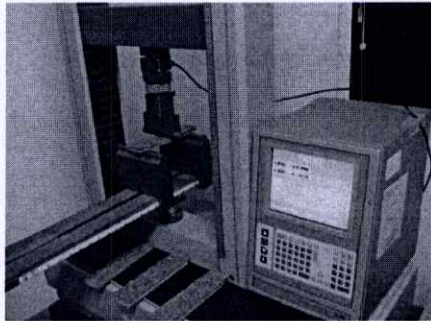
เมื่อ t_1 คือ ความหนาของชิ้นตัวอย่างก่อนแช่น้ำ (mm)

t_2 คือ ความหนาของชิ้นตัวอย่างภายหลังแช่น้ำ (mm)

3.6.2.4 การทดสอบความแข็งแรงดัดโค้งงอ 3 จุดและมอดุลัสยืดหยุ่น (Bending strength and Bending modulus test)

1. ตัดชิ้นตัวอย่างแผ่นพาร์ทิเคิลขนาด $5 \times 20 \text{ cm}^2$ สำหรับทดสอบมาตรฐาน มอก.876 และมาตรฐาน JIS A 5908
2. วัดความยาว ความกว้าง และความหนา ของชิ้นตัวอย่าง
3. จากนั้นนำมาทดสอบความแข็งแรงดัดโค้งงอ 3 จุดและมอดุลัสยืดหยุ่นโดยเครื่อง Universal testing machine

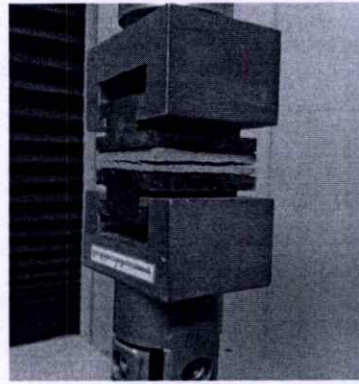
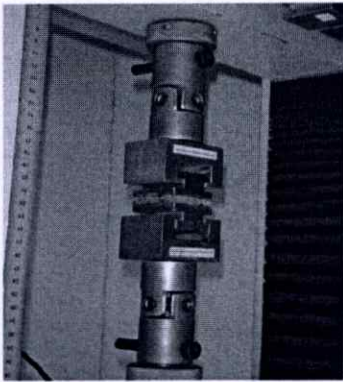
กำหนด	Speed	=	10	mm/min
	Span length	=	150	mm
	Width	=	50	mm
	Thickness	=	10	mm



รูปที่ 3.9 การทดสอบความแข็งแรงดัดโค้งงอ 3 จุดและมอดุลัสยืดหยุ่น

3.6.2.5 การทดสอบความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า (Internal bond)

1. ตัดชิ้นตัวอย่างแผ่นพาร์ทิเคิลขนาด $5 \times 5 \text{ cm}^2$ สำหรับทดสอบมาตรฐาน มอก.876 และมาตรฐาน JIS A 5908 วัดความยาว ความกว้าง และความหนา หลังจากนั้นติดผิวหน้าทั้งสองของชิ้นทดสอบกับแผ่นดึง โดยใช้กาวสังเคราะห์ที่ให้แรงยึดระหว่างชิ้นทดสอบกับแผ่นดึงได้มากกว่าแรงยึดตัวในชิ้นทดสอบด้วยกาว Hot melt



รูปที่ 3.10 การทดสอบแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า

2. นำชิ้นทดสอบที่เตรียมได้ไปทำการทดสอบด้วยเครื่อง Universal testing machine โดยดึงให้ชิ้นทดสอบแยกออกจากกันใช้ความเร็วในการดึง 2 mm/min และคำนวณค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าจาก

$$\text{ความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า (MPa)} = \frac{P}{bL}$$

- เมื่อ P คือ แรงดึงสูงสุด (N)
 b คือ ความกว้างของชิ้นงาน (mm)
 L คือ ความยาวของชิ้นงาน (mm)

บทที่ 4

ผลการทดลอง และการอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ศึกษาการพัฒนาสมบัติเชิงกลและสมบัติการต้านทานน้ำของกาวพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยน้ำมันชักแห้งธรรมชาติสำหรับใช้ในงานแผ่นไม้พาร์ทิเคิล โดยขั้นแรกเป็นการเตรียมสารละลายพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ ด้วยเทคนิคการปั่นกวนด้วยแรงเชิงกลที่ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที หลังจากนั้นทำการเตรียมกาวสูตรผสมโดยการผสมสารละลายพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ น้ำมันชักแห้งธรรมชาติได้แก่ น้ำมันลินสีดและน้ำมันทัง สารตัวเติมอนินทรีย์ และตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยการใช้ไฮโมจิโนเซอร์ที่ความเร็วรอบ 9000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 15 นาที จนเนื้อกาวผสมเข้ากัน โดยมีปัจจัยในการศึกษาต่างๆ ได้แก่ ชนิดของน้ำมันชักแห้งธรรมชาติ (น้ำมันทัง, น้ำมันลินสีด และน้ำมันชักแห้งผสม) ชนิดและปริมาณของสารตัวเติมซิลิกา ขั้นตอนการผสม ผลของตัวเร่งปฏิกิริยา และปริมาณของสารริเริ่มปฏิกิริยา

จากนั้นนำกาวที่ได้จากการศึกษามาทำการขึ้นรูปแผ่นไม้พาร์ทิเคิล โดยมีปัจจัยการศึกษาต่างๆ ได้แก่ ชนิดของไม้ ขนาดของชิ้นไม้และการอบและไม้อบแผ่นไม้พาร์ทิเคิลหลังจากการขึ้นรูป หลังจากนั้นนำแผ่นไม้พาร์ทิเคิลที่ได้มาทดสอบสมบัติเชิงกลและสมบัติการต้านทานต่อน้ำโดยทดสอบตามมาตรฐาน JIS A 5908 และ มอก.876 โดยทำการทดสอบสมบัติต่างๆ ได้แก่ ค่าความต้านทานแรงดัด โค้งงอ ค่ามอดูลัส ค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากผิวหน้าด้วยเครื่อง Universal-testing ค่าการพองตัวทางความหนา ค่าความหนาแน่นและค่าความชื้นของแผ่นไม้พาร์ทิเคิล โดยกาวแต่ละสูตรจะให้ค่าความแข็งแรงและสมบัติของแผ่นไม้พาร์ทิเคิลที่แตกต่างกันออกไปตามปัจจัยที่ต้องการศึกษา

4.1 การวิเคราะห์สมบัติของกาวผสมสูตร

ทำการผสมกาวตามสูตรที่ทำการศึกษาโดยการปั่นกวนด้วยเครื่อง ไฮโมจิโนเซอร์ตามสูตรต่างๆ ที่กำหนดในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สูตรกาวและชนิดไม้ที่ทำการศึกษา

สูตรกาว	สารละลาย PVA(g)/น้ำมัน ชักแห้งธรรมชาติ (g)	PTSA (g) phr	ชนิดกาว (g)		ชนิดไม้ (U)/(R)	ขนาด ชิ้นไม้
			ชนิด A/B	ปริมาณ phr		
L15A0P0(U2)	85 : 15	0	A	0	U	2
L15A1P0(U2)	85 : 15	0	A	1	U	2
L15A3P0(U2)	85 : 15	0	A	3	U	2
T15A0P0(U2)	85 : 15	0	A	0	U	2
T15A1P0(U2)	85 : 15	0	A	1	U	2
T15A3P0(U2)	85 : 15	0	A	3	U	2
T15A5P0(U2)	85 : 15	0	A	5	U	2
T15A0P1(U2)	85 : 15	1	A	0	U	2
T15A1P1(U2)	85 : 15	1	A	1	U	2
T15A3P1(U2)	85 : 15	1	A	3	U	2
T15A5P1(U2)	85 : 15	1	A	5	U	2
T15A0P1(R2)	85 : 15	1	A	0	R	2
T15A1P1(R2)	85 : 15	1	A	1	R	2
T15A3P1(R2)	85 : 15	1	A	3	R	2
T15A5P1(R2)	85 : 15	1	A	5	R	2
T5L10A3P1(R2)	85 : 15	1	A	3	R	2
T10L5A3P1(R2)	85 : 15	1	A	3	R	2
T7.5L7.5A3P1(R2)	85 : 15	1	A	3	R	2
L15A0P1(R2)	85 : 15	1	A	0	R	2
L15A1P1(R2)	85 : 15	1	A	1	R	2
L15A3P1(R2)	85 : 15	1	A	3	R	2
L15A5P1(R2)	85 : 15	1	A	5	R	2
T15B1P1(R2)	85 : 15	1	B	1	R	2
T15B3P1(R2)	85 : 15	1	B	3	R	2
T15B5P1(R2)	85 : 15	1	B	5	R	2
T5L10B3P1(R2)	85 : 15	1	B	3	R	2

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) สูตรกาวและชนิดไม้ที่ทำการศึกษา

สูตรกาว	สารละลาย PVA(g)/น้ำมัน ชักแห้งธรรมชาติ (g)	PTSA (g) phr	ชนิดกาว (g)		ชนิดไม้ (U)/(R)	ขนาด ชิ้นไม้
			ชนิด A/B	ปริมาณ phr		
T10L5B3P1(R2)	85 : 15	1	B	3	R	2
T7.5L7.5B3P1(R2)	85 : 15	1	B	3	R	2
T15B3P1(R1)	85 : 15	1	B	3	R	1
T15B3P1(R3)	85 : 15	1	B	3	R	3
T15B3P1(R4)	85 : 15	1	B	3	R	4

หมายเหตุ : กาวทุกสูตรใส่โพสแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตที่ 1 phr

U = ไม้ยูคาลิปตัส, R = ไม้ยางพารา, L = น้ำมันลินสีด, T = น้ำมันทัง

P = กรดพาราโทลูอินซัลโฟนิค, A = ชนิดกาวชนิด A, B = ชนิดกาวชนิด B

โดยคำอธิบายสูตรกาวในแต่ละสูตรจะศึกษาผลของตัวแปรที่เปลี่ยนไปดังนี้

- ชนิดของน้ำมันชักแห้งธรรมชาติ ได้แก่ น้ำมันทังและน้ำมันลินสีด
- ชนิดของสารตัวเติมชนิดกาว ชนิด A และ B (ชนิด A Scintran® และ ชนิด B HL200)
- ปริมาณของสารตัวเติมชนิดกาวที่ 0, 1, 3 และ 5 phr
- ผลของการเติมและไม่เติมสารเร่งปฏิกิริยา
- ชนิดของชิ้นไม้ ได้แก่ ไม้ยูคาลิปตัสและไม้ยางพารา
- ขนาดของชิ้นไม้ที่มีความละเอียดเบอร์ 1, 2, 3 และ 4

ไม้ยูคาลิปตัส เบอร์ 1 มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 – 1.2 mm

เบอร์ 2 มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.4 – 0.6 mm

เบอร์ 3 มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.2 – 0.3 mm

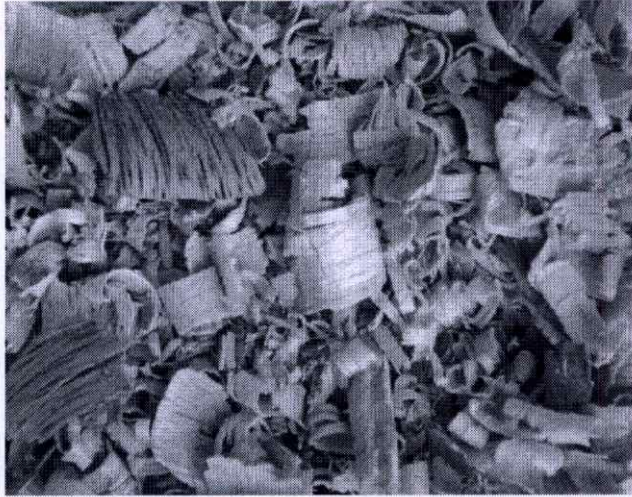
เบอร์ 4 มีเส้นผ่านศูนย์กลาง ≤ 0.2

ไม้ยางพารา เบอร์ 1 มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.0 – 1.6 mm

เบอร์ 2 มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 – 1.0 mm

เบอร์ 3 มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 – 0.6 mm

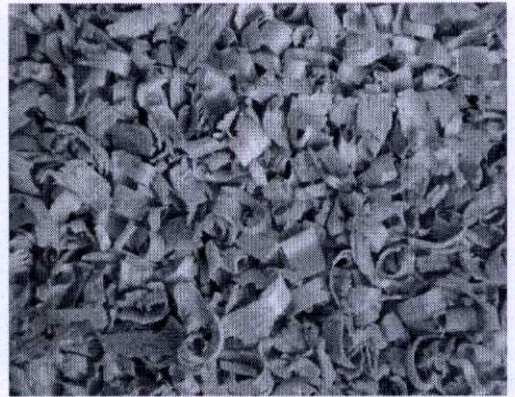
เบอร์ 4 มีเส้นผ่านศูนย์กลาง ≤ 0.5



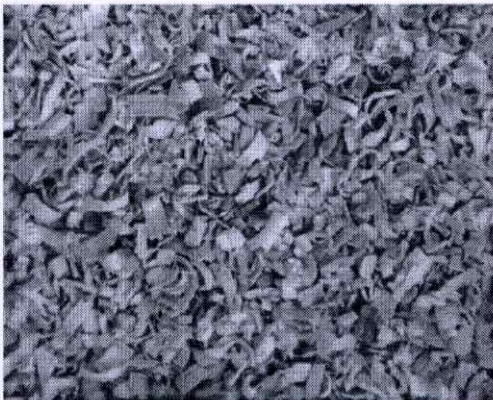
ชีนซึบไม้ยางพารา ก่อนร่อนด้วยเครื่องร่อนคัดแยกขนาด (เครื่องร่อนชุดเล็ก)



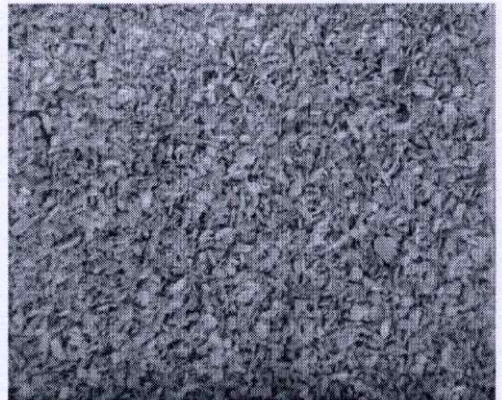
ชีนซึบไม้ยางพารา เบอร์ 1 ที่ร่อนค้ำ
รูตะแกรง ขนาด 1.0 มิลลิเมตร



ชีนซึบไม้ยางพารา เบอร์ 2 ที่ร่อนผ่าน
รูตะแกรง ขนาด 1.0 มิลลิเมตร



ชีนซึบไม้ยางพารา เบอร์ 3 ที่ร่อนผ่าน
รูตะแกรง ขนาด 0.6 มิลลิเมตร



ชีนซึบไม้ยางพารา เบอร์ 4 ที่ร่อนผ่าน
รูตะแกรง ขนาด 0.5 มิลลิเมตร

รูปที่ 4.1 ลักษณะและขนาดของชีนไม้ยางพาราขนาดเบอร์ 1-4

4.1.1 ค่าความหนืด

นำกาวผสมสูตรต่างๆ ที่ได้ไปวัดความหนืดด้วยเครื่องวัดความหนืดแบบ Brookfield ผลจากการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.2 เมื่อพิจารณาผลของชนิดน้ำมันชักแห้ง โดยเปรียบเทียบค่าความหนืดของสูตรที่ใช้ น้ำมันลินสีดกับน้ำมันทัง พบว่าสูตรกาวที่ใช้ น้ำมันทังจะมีค่าความหนืดสูงกว่าสูตรกาวที่ใช้ น้ำมันลินสีด เนื่องจากโครงสร้างของน้ำมันทัง 2 ชนิดเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ยาวและมีตำแหน่งพันธะคู่อยู่หลายตำแหน่ง ซึ่งในน้ำมันทังตำแหน่งพันธะคู่นี้มีรูปแบบเป็นคอนจูเกตจึงทำให้เกิดการเชื่อมโยงได้ดีกว่าในน้ำมันลินสีดที่ไม่เป็นคอนจูเกต นอกจากนี้เมื่อเติมสารตัวเติมอนินทรีย์ซิติกาพบว่าทำให้ความหนืดของกาวเพิ่มขึ้นและเมื่อมีปริมาณของซิติกามากขึ้นความหนืดของกาวยิ่งสูงขึ้นด้วยเนื่องจากซิติกาเป็นอนุภาคของแข็งและสามารถเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงได้ด้วยจึงส่งผลให้กาวที่มีซิติกาที่มีความหนืดที่สูงขึ้น (ดังรูปที่ 4.2 – 4.5)

เมื่อศึกษาเสถียรภาพของกาวโดยการตั้งกาวทิ้งไว้และสังเกตความเปลี่ยนแปลงรวมถึงวัดความหนืดทุกๆ สัปดาห์ เป็นเวลา 6 สัปดาห์ จากผลการทดลองพบว่าค่าความหนืดมีแนวโน้มที่สูงขึ้นในทุกครั้งที่ทำการวัดความหนืด แต่เมื่อครบเวลา 1 เดือน ค่าความหนืดมีค่าที่ค่อนข้างสูงเนื่องมาจากมีน้ำมันบางส่วนเกิดการออกซิไดซ์กับออกซิเจนในอากาศเมื่อเทียบกับความหนืดเริ่มต้น อย่างไรก็ตาม ค่าความหนืดดังกล่าวยังสามารถยอมรับได้เมื่อเทียบกับกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน (ไม่เกิน 1200 centipoises) เนื่องจากกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์จะมีโอกาสเซตตัวได้ง่ายจึงทำให้เกิดปัญหาในขั้นตอนการสเปรย์กาวเพราะอาจจะอุดตันรูหัวสเปรย์ได้ อย่างไรก็ตาม ค่าความหนืดของกาวที่ได้จากการทดสอบไม่ได้ส่งผลต่อการสเปรย์กาวในการขึ้นรูปแผ่นไม้พาร์ทิเคิล

ตารางที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของสูตรกาวโดยปรับเปลี่ยนชนิดและอัตราส่วนของน้ำมันผสม

สัปดาห์ ที่	ค่าความหนืดของสูตรกาวต่างๆ (centipoises)					หมายเหตุ
	L15 B3P1	T15 B3P1	T5L10 B3P1	T7.5L7.5 B3P1	T10L5 B3P1	
0	120	260	167	189	220	-
1	125	268	178	197	231	-
2	128	560	457	390	408	ผิวหน้าของกาวเริ่มเกิดเป็นฟิล์มบาง
3	592	1009	983	762	875	เกิดเป็นไตขนาดเล็กภายในเนื้อกาวเล็กน้อย

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) การเปลี่ยนแปลงความหนืดของสูตรกาวโดยปรับเปลี่ยนชนิดและอัตราส่วนของน้ำมันผสม

สัปดาห์ ที่	ค่าความหนืดของสูตรกาวต่างๆ (centipoises)					หมายเหตุ
	L15 B3P1	T15 B3P1	T5L10 B3P1	T7.5L7.5 B3P1	T10L5 B3P1	
4	1009	1922	1898	1687	1876	ไทม์มีขนาดใหญ่และ ขนาดเล็กผสมกันอยู่
5	2005	3560	3788	3191	3237	ไทม์รวมตัวกันมีขนาด ใหญ่ขึ้น
6	2988	4834	4365	4210	4625	ไทม์มีขนาดใหญ่ขึ้นกว่า สัปดาห์ที่ 5

จากผลการทดสอบค่าความหนืดของกาว พบว่าค่าความหนืดของกาวจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป ซึ่งค่าความหนืดมีผลต่อกระบวนการสเปรย์ของกาว เนื่องจากถ้ากาวมีค่าความหนืดที่สูงเกิน 1000 centipoises จะผลกระทบต่อกระบวนการสเปรย์หรืออาจจะทำให้มีการอุดตันที่หัวสเปรย์ โดยค่าความหนืดดังกล่าวเป็นเกณฑ์ของกาวในกลุ่มฟอร์มัลดีไฮด์และกาวฟอร์มัลดีไฮด์มีโอกาสที่จะเกิดการเชื่อมโยงได้ง่าย หลังจากการทดลองพบว่ากาวที่ศึกษาจะมีความหนืดสูงกว่า 1000 centipoises เมื่อเวลาผ่านไป 1 เดือน

4.1.2 ปริมาณของแข็ง

ปริมาณของแข็งเป็นการทดสอบเพื่อหาปริมาณของแข็งที่มีอยู่ในเนื้อกาว โดยการนำกาวแต่ละสูตรมาอบที่อุณหภูมิ 120°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูปแผ่นไม้พาร์ทิเคิล เพื่อกำจัดตัวทำละลายที่อยู่ในเนื้อกาว อบจนกระทั่งน้ำหนักคงที่ ค่า Solid content (%) ตามทฤษฎีสามารถคำนวณได้จากปริมาณขององค์ประกอบที่เป็นของแข็งในสารละลาย PVA ตัวริเริ่มปฏิกิริยา KPS ตัวเร่งปฏิกิริยา PTSA สารตัวเติมอนินทรีย์ซิลิกา (SiO₂) และองค์ประกอบที่เปลี่ยนเป็นของแข็งเมื่อเกิดปฏิกิริยา ได้แก่ น้ำมันทัง และหรือน้ำมันลินสีด ที่ใช้ในขั้นตอนการเตรียมกาว ซึ่งผลที่ได้จากการคำนวณตามทฤษฎีและผลที่ได้จากการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 Solid content (%) และการบวมตัว (%) ของกาวยูรีนต่างๆ

รหัส	Solid content (%)		การบวมตัว (%)	
	ค่าตามทฤษฎี	ค่าที่ได้จากการทดลอง	1 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง
L15B0P1(R2)	27.4	27.8	20.0	31.5
L15B1P1(R2)	28.4	28.5	20.0	22.0
L15B3P1(R2)	30.4	29.7	9.0	43.0
L15B5P1(R2)	32.4	30.9	14.0	26.0
T15B0P1(R2)	27.4	27.6	27.0	53.5
T15B1P1(R2)	28.4	26.0	34.5	48.0
T15B3P1(R2)	30.4	34.0	12.5	19.3
T15B5P1(R2)	32.4	30.9	22.5	24.4
T10L5B3P1(R2)	30.4	27.9	22.5	30.0
T7.5L7.5B3P1(R2)	30.4	30.4	9.0	22.5
T5L10B3P1(R2)	30.4	29.9	6.9	17.5

ตัวอย่างการคำนวณจากทฤษฎี

จากสูตร

$$\text{Solid content (\%)} = 100 - \frac{[(\text{น้ำหนักกาวก่อนอบ} - \text{น้ำหนักกาวหลังอบ}) \times 100]}{\text{น้ำหนักกาวก่อนอบ}}$$

โดยคิณน้ำหนักของปริมาณของแข็งในกาวซึ่งได้แก่:

1. น้ำหนักของพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ 10.37 กรัม
 2. น้ำของน้ำมันชักแห้ง 15 กรัม
 3. น้ำหนักของซิลิกา 3 กรัม
 4. น้ำหนักของโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต 1 กรัม
 5. น้ำหนักกรดพาราโทลูอินซัลฟูนิค 1 กรัม
- รวม 30.37 กรัม

ตัวอย่างการคำนวณจากการทดลอง

จากสูตร

$$\text{Solid content (\%)} = 100 - \frac{[(\text{น้ำหนักกาวก่อนอบ} - \text{น้ำหนักกาวหลังอบ}) \times 100]}{\text{น้ำหนักกาวก่อนอบ}}$$

เช่น น้ำหนักกาวก่อนอบ = 10.1794 g

น้ำหนักกาวหลังอบ = 2.6242 g

$$\text{Solid content (\%)} = 100 - \frac{[(10.1794 - 2.6242) \times 100]}{10.1794}$$

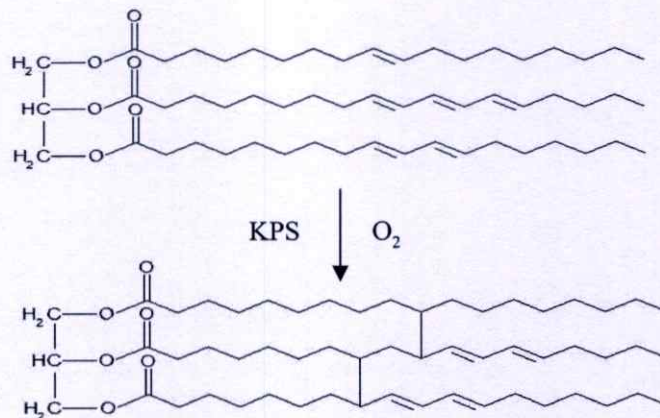
ดังนั้น Solid content (%) = 25.8 %

พบว่า Solid content (%) มีค่าอยู่ในช่วง 26.01% ถึง 38.64% ซึ่งใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณได้ทางทฤษฎี แสดงให้ทราบว่าน้ำมันลินสีดและน้ำมันทั้งเกิดปฏิกิริยาในการเชื่อม โยงและเปลี่ยนสภาพจากของเหลวกลายเป็นของแข็งหลังเกิดปฏิกิริยา

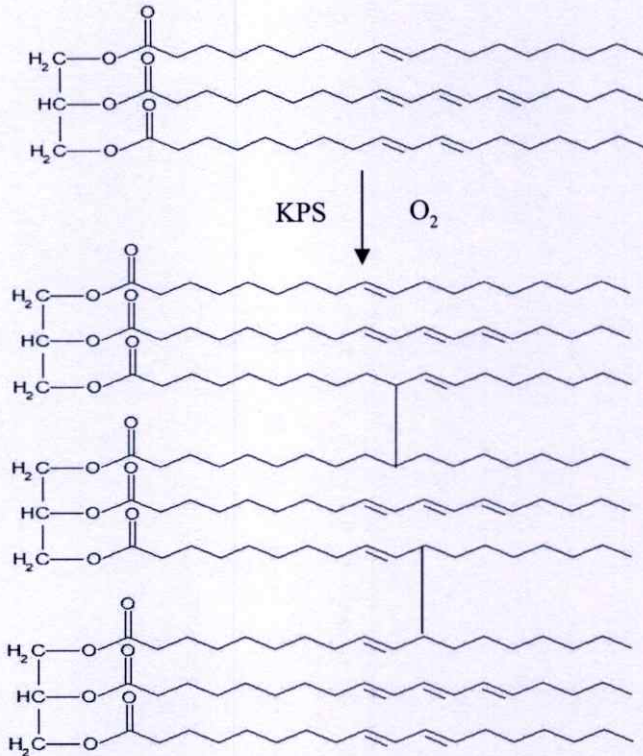
4.1.3 การหาค่าการบวมตัวของฟิล์มกาว

จากการทดสอบการหาค่าการบวมตัวของฟิล์มกาว โดยการนำฟิล์มกาวไปแช่น้ำและวัดค่า % การบวมตัวของฟิล์มกาวที่เวลาการแช่น้ำ 1 และ 24 ชั่วโมง พบว่ามีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 9.0 - 34.5% และ 14.0 - 53.5% ตามลำดับ ข้อมูลเปอร์เซ็นต์การบวมตัวของฟิล์มกาวแสดงดังตารางที่ 4.3 ทั้งนี้ เนื่องจากเมื่อมีการให้ความร้อนโดยการอบที่อุณหภูมิ 100°C ในขั้นตอนการเตรียมฟิล์มกาวและเป็นการทำให้ปฏิกิริยาการเชื่อมโยงของกาวเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ โดยเกิดปฏิกิริยา 3 ประเภทได้แก่

1. การเชื่อมโยงของพันธะคู่ของน้ำมันชักแห้งทั้งภายใน โมเลกุลและระหว่างโมเลกุล โดยมี โปแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต (KPS) เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา

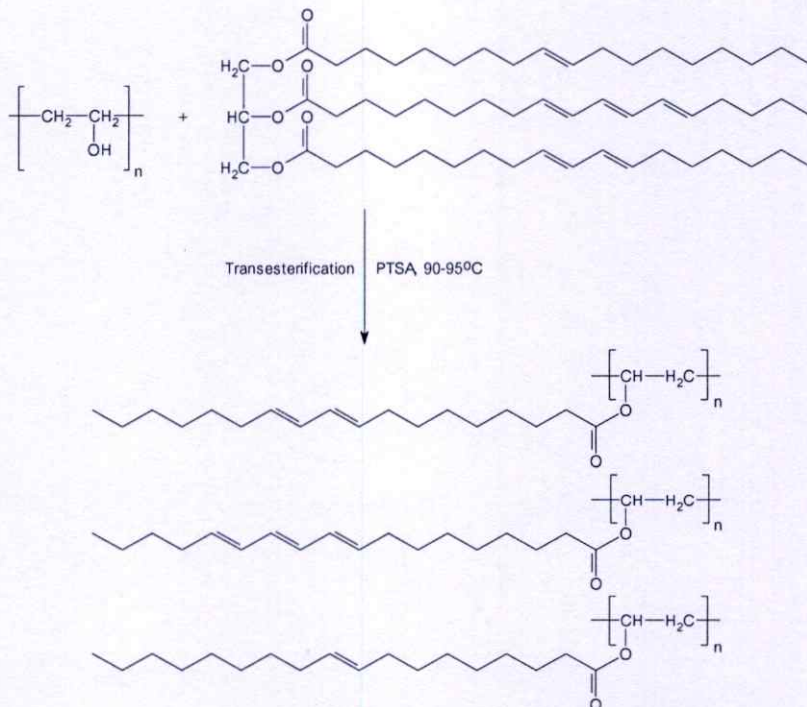


รูปที่ 4.2 ปฏิกิริยาการเชื่อมโยงของพันธะคู่ภายในโมเลกุลของน้ำมันทั้ง



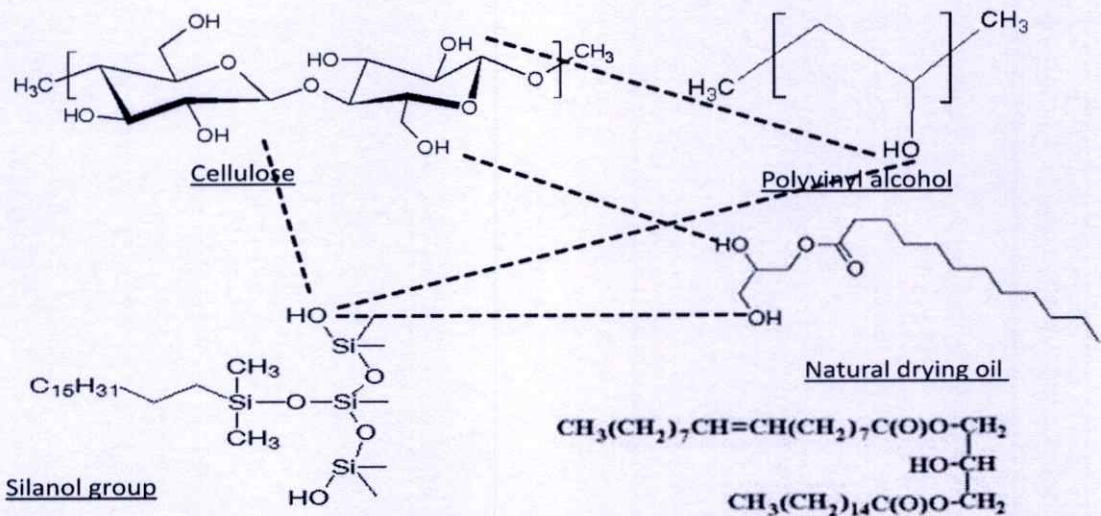
รูปที่ 4.3 ปฏิกิริยาการเชื่อมโยงของพันธะคู่ระหว่างโมเลกุลของน้ำมันถั่ง

2. เกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน (Trans-esterification) ระหว่างหมู่เอสเทอร์ของน้ำมันชักแห้งกับหมู่ไฮดรอกซิลของพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ โดยมี PTSA เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา



รูปที่ 4.4 ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน (Trans-esterification)

3. พันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของน้ำมันชักแห้ง พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และบนพื้นผิวของซิลิกา (Silanol group)



รูปที่ 4.5 การเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างน้ำมันชักแห้ง พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เซลลูโลสและพื้นผิวของซิลิกา (Silanol group)

จากการเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงของกาวดังกล่าวทำให้เกิดเป็นแผ่นฟิล์มที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ ส่งผลให้ค่าการบวมตัวของฟิล์มกาวมีค่าต่ำมากอยู่ในช่วงไม่เกิน 2 - 5% เนื่องจากฟิล์มกาวที่เตรียมได้มีรูพรุนจำนวนมากที่เกิดจากการสูญเสียน้ำขณะให้ความร้อนในขั้นตอนการเตรียมฟิล์มกาวมาทดสอบการบวมตัวของฟิล์มกาวโดยการแช่น้ำ น้ำจึงอาจแทรกเข้าไปในรูพรุนและค้างอยู่ภายในทำให้การพองตัวที่ได้สูงกว่าที่ควรเป็น โดยฟิล์มกาวทุกสูตรมีค่าการบวมตัวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

4.2 การทดสอบสมบัติของแผ่นไม้พาร์ทิเคิลที่ขึ้นรูปโดยใช้กาวผสมสูตรที่ศึกษา

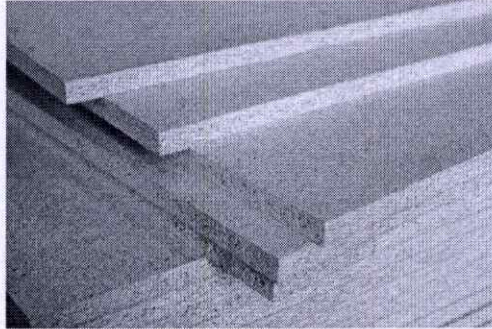
สำหรับการขึ้นรูปแผ่นไม้พาร์ทิเคิลด้วยกาวผสมสูตรโดยมีการปรับเปลี่ยนตัวแปรต่างๆ ได้แก่ ชนิดของน้ำมันชักแห้ง ชนิดและปริมาณของสารตัวเติมซิลิกา ตัวเร่งปฏิกิริยา ชนิดและขนาดของขึ้นไม้

โดยในแต่ละสูตรจะศึกษาผลของตัวแปรที่เปลี่ยนไปดังนี้

- ชนิดของน้ำมันชักแห้งธรรมชาติ ได้แก่ น้ำมันทังและน้ำมันลินสีด
- ชนิดของสารตัวเติมซิลิกา ชนิด A และ B
- ปริมาณของสารตัวเติมซิลิกาที่ 0, 1, 3 และ 5 phr
- ผลของการเติมและไม่เติมสารเร่งปฏิกิริยา

- ชนิดของชั้นไม้ ได้แก่ ไม้ยูคาลิปตัสและไม้ยางพารา
- ขนาดของชั้นไม้ที่มีความละเอียดเบอร์ 1, 2, 3 และ 4

แผ่นไม้พาร์ทิเคิลที่ขึ้นรูปได้มีขนาด กว้าง x ยาว x หนา เป็น 25 cm x 25 cm x 1 cm ดังรูปที่ 4.6 แผ่นไม้ดังกล่าวหลังผ่านการอบและควบคุมสภาวะนำมาตัดเป็นขนาดตามมาตรฐานการทดสอบต่างๆ ซึ่งผลการทดสอบแสดงดังหัวข้อต่อไปนี้



รูปที่ 4.6 แผ่นไม้พาร์ทิเคิล

4.2.1 ความหนาแน่นและความชื้นของแผ่นไม้พาร์ทิเคิล

ค่าความหนาแน่นและค่าความชื้นของแผ่นไม้พาร์ทิเคิลได้ทำการทดสอบตามมาตรฐาน JIS A 5908 และมอก.876 โดยที่การทดสอบทั้งสองมาตรฐานจะกำหนดชิ้นงานในการทดสอบที่แตกต่างกันผลแสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่าความหนาแน่นและค่าความชื้นของแผ่นไม้พาร์ทิเคิล

สูตรกาว	ชนิดไม้ U/R	ความ หนาแน่น kg/m ³ (มอก.876)	ความ หนาแน่น kg/m ³ (JIS A 5908)	ความชื้น (%) (มอก.876)	ความชื้น (%) (JIS A 5908)
L15AOP0(U2)	U	764.2	714.4	2.0	3.3
L15A1P0(U2)	U	670.6	770.3	2.0	2.2
L15A3P0(U2)	U	825.4	707.9	2.3	2.5
T15A0P0(U2)	U	622.8	714.0	2.9	1.9
T15A1P0(U2)	U	672.4	685.2	2.6	2.3
T15A3P0(U2)	U	707.8	675.9	1.8	1.7
T15A5P0(U2)	U	709.6	698.4	2.1	2.0

ตารางที่ 4.4 (ต่อ) ค่าความหนาแน่นและค่าความชื้นของแผ่นไม้พาร์ทิเคิล

สูตรทากว	ชนิดไม้ U/R	ความ หนาแน่น kg/m ³ (มอก.876)	ความ หนาแน่น kg/m ³ (JIS A 5908)	ความชื้น (%) (มอก.876)	ความชื้น (%) (JIS A 5908)
T15B0P1(U2)	U	724.5	635.0	4.4	4.9
T15B1P1(U2)	U	761.3	723.8	4.3	4.7
T15B3P1(U2)	U	785.7	711.2	4.4	4.8
T15B5P1(U2)	U	871.5	754.2	4.7	4.9
T15B0P1(R2)	R	764.2	714.4	2.0	3.3
T15B1P1(R2)	R	703.4	762.6	13.0	6.0
T15B3P1(R2)	R	698.0	732.7	8.6	6.6
T15B5P1(R2)	R	676.5	783.5	8.3	4.3
T5L10A3P1(R2)	R	712.3	817.2	13.0	6.5
T10L5A3P1(R2)	R	731.4	780.0	4.2	3.6
T7.5L7.5A3P1(R2)	R	775.3	770.7	1.9	1.7
L15B0P1(R2)	R	733.5	743.2	2.0	1.9
L15B1P1(R2)	R	785.0	800.8	4.8	3.2
L15B3P1(R2)	R	667.6	691.6	1.7	1.2
L15B5P1(R2)	R	755.9	815.0	2.7	6.9
T15B1P1(R2)	R	750.2	690.0	1.7	1.1
T15B3P1(R2)	R	760.0	807.0	13.0	8.1
T15B5P1(R2)	R	778.0	791.0	1.8	1.3
T5L10B3P1(R2)	R	744.3	738.3	2.6	2.6
T10L5B3P1(R2)	R	766.5	845.4	2.6	2.6
T7.5L7.5B3P1(R2)	R	799.4	789.2	2.6	2.6
T15B3P1(R1)	R	818.0	724.7	2.6	2.7
T15B3P1(R3)	R	843.3	878.8	2.8	4.8
T15B3P1(R4)	R	825.5	775.3	2.5	1.5
ค่ามาตรฐาน	มอก.876 / JIS A 5908	400-900 kg/m ³		≤ 13	

การทดสอบความหนาแน่นของแผ่นพาร์ทิเคิลตามมาตรฐาน JIS A 5908 และมอก.876 ซึ่งการทดสอบทั้งสองมาตรฐานใช้ขนาดชิ้นทดสอบที่แตกต่างกัน โดยการทดสอบตามมาตรฐาน JIS A 5908 ใช้ชิ้นทดสอบขนาด $10 \times 10 \text{ cm}^2$ และการทดสอบตามมาตรฐานมอก.876 ใช้ชิ้นทดสอบขนาด $5 \times 5 \text{ cm}^2$ ทั้งสองมาตรฐาน JIS A 5908 และมอก.876 ได้กำหนดค่ามาตรฐานสำหรับค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วง $400 - 900 \text{ kg/m}^3$ จากผลการทดสอบได้ค่าความหนาแน่นของแผ่นไม้พาร์ทิเคิลอยู่ในช่วง $635 - 800 \text{ kg/m}^3$ ซึ่งอยู่ในช่วงที่มาตรฐานทั้งสองกำหนดไว้ โดยที่ปัจจัยศึกษาที่แตกต่างกัน ได้แก่การปรับเปลี่ยนชนิดและปริมาณของน้ำมันชักแห้งธรรมชาติ สารตัวเติมซิลิกาชนิดของไม้ รวมไปถึงขนาดของชิ้นไม้ ไม่ได้ส่งผลต่อค่าความหนาแน่นของแผ่นไม้พาร์ทิเคิลอย่างมีนัยสำคัญ ผลที่ได้จากการทดสอบผ่านค่ามาตรฐานทั้งหมด โดยปัจจัยหลักที่มีผลต่อค่าความหนาแน่นของแผ่นไม้พาร์ทิเคิลคือ อุณหภูมิ ความดัน และเวลาในการขึ้นรูปแผ่นไม้พาร์ทิเคิลคือสาเหตุที่มีผลต่อค่าความหนาแน่นของแผ่นไม้พาร์ทิเคิลโดยตรง

สำหรับค่าความชื้นของแผ่นไม้พาร์ทิเคิลพบว่า แผ่นไม้พาร์ทิเคิลที่ใช้ไม้อยูคาลิปตัสที่ค่าทดสอบที่ได้อยู่ในช่วงประมาณ 2 - 5% ซึ่งอยู่ในช่วงค่ามาตรฐานมอก.876 และ JIS A 5908 ที่กำหนดค่าไว้ไม่เกิน 13% แต่พบว่าในกลุ่มของไม้ยางพาราค่าความชื้นอยู่ในช่วง 2 - 13% ซึ่งยังคงอยู่ในช่วงที่มาตรฐานกำหนด จากผลการทดสอบสามารถสรุปได้ว่าปริมาณของน้ำมัน ชนิดของน้ำมันรวมถึงการเติมและไม่เติมสารตัวเติมซิลิกาไม่ได้เป็นปัจจัยหลักต่อค่าความชื้นของแผ่นพาร์ทิเคิล รวมทั้งการปั่นกวนโดยใช้ใบพัดและเครื่อง Homogenizer ก็ไม่ให้ผลที่แตกต่างกัน แต่ปัจจัยหลักที่มีผลต่อค่าความชื้นมากที่สุดคือ ชนิดของไม้ โดยแผ่นไม้พาร์ทิเคิลจากไม้ยางพารามีแนวโน้มการดูดความชื้นสูงกว่าแผ่นไม้พาร์ทิเคิลจากไม้อยูคาลิปตัส

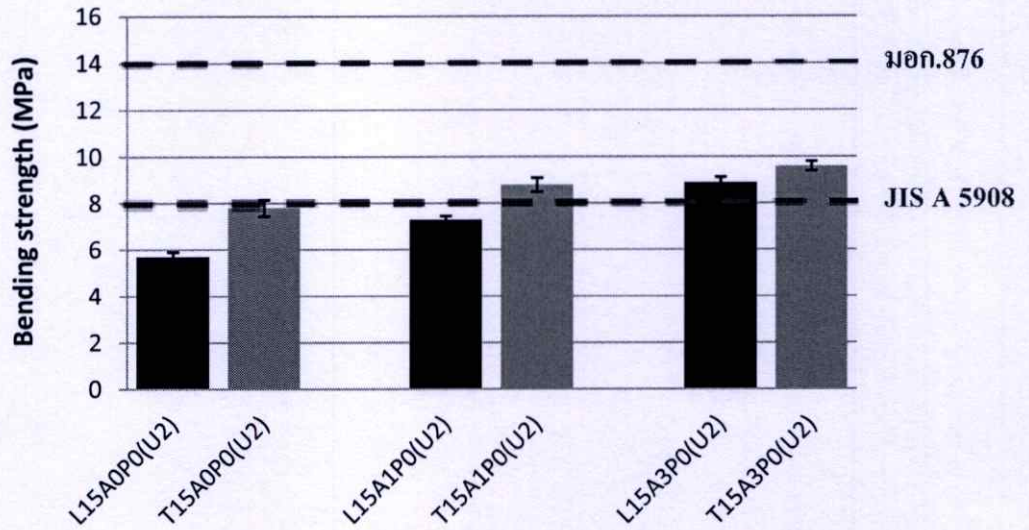
4.2.2 สมบัติเชิงกล

สมบัติเชิงกลของแผ่นไม้พาร์ทิเคิลได้ทำการทดสอบในสมบัติต่างๆ ได้แก่ ความแข็งแรงดัดโค้ง งอ 3 จุด มอดูลัสยืดหยุ่น และความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า โดยทำการทดสอบตามมาตรฐาน JIS A 5908 และ มอก.876 โดยในการทดสอบทั้ง 3 สมบัติได้มีการปรับเปลี่ยน ชนิดของน้ำมัน การใส่ตัวเร่งปฏิกิริยา ชนิดของสารตัวเติม ชนิดของชิ้นไม้ และขนาดของชิ้นไม้ โดยกำหนดปริมาณกาวต่อไม้ที่ 20% โดยน้ำหนักตลอดการทดลอง ผลการทดสอบแสดงดังหัวข้อต่อไปนี้

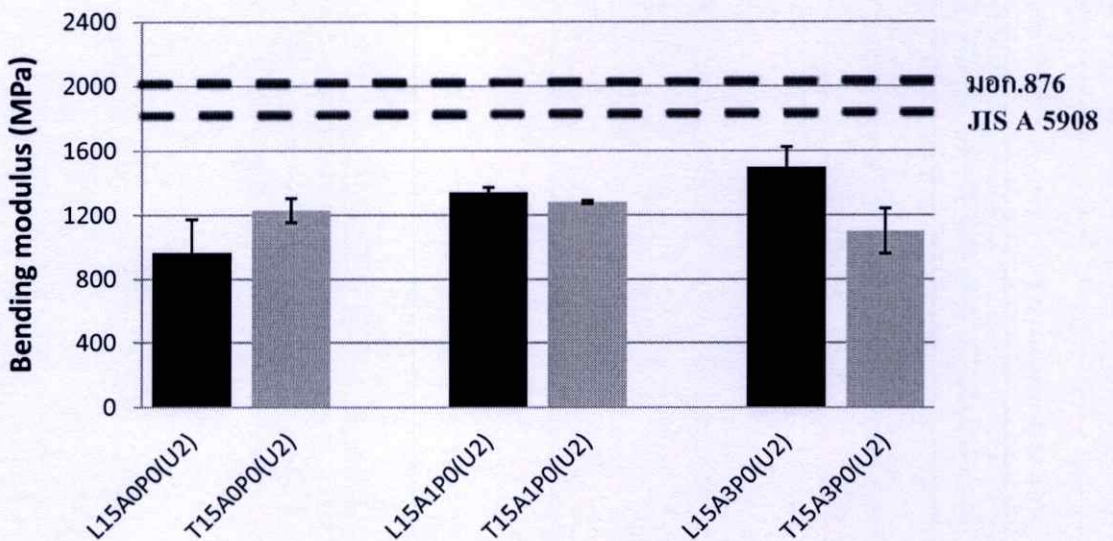
4.2.2.1 ชนิดของน้ำมันชักแห้งธรรมชาติ

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้น้ำมันชักแห้งธรรมชาติเป็นสารเชื่อมโยงในกาวเพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงกลและความสามารถในการต้านทานน้ำของกาวที่นำมาขึ้นรูปแผ่นไม้พาร์ทิเคิล น้ำมันชักแห้งธรรมชาติทั้งสองชนิด คือ น้ำมันทังและน้ำมันลินสีด มีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกัน โดยน้ำมันลินสีดมีสีที่ใสกว่าและมีกลิ่นฉุนน้อยกว่าน้ำมันทัง สำหรับโครงสร้างทางเคมีน้ำมันทังมี

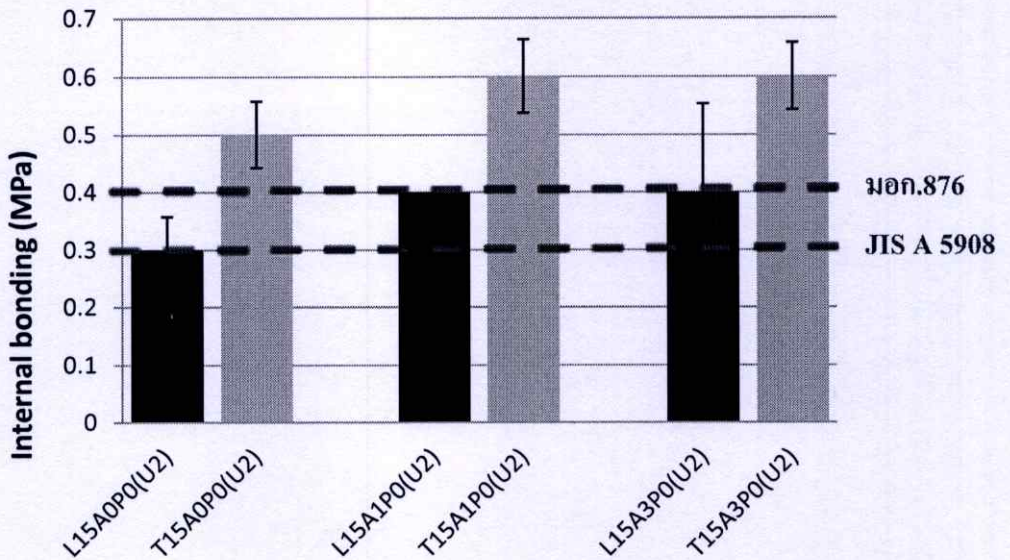
พันธะคู่เป็นระบบคอนจูเกต ขณะที่น้ำมันลินสีดมีพันธะคู่ไม่เป็นระบบคอนจูเกต โดยพันธะคู่ระบบคอนจูเกตจะมีอัตราในการเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงสูงกว่าไม่เป็นระบบคอนจูเกต การทดสอบในส่วนนี้ใช้ไม้ยูคาลิปตัส ขนาดเบอร์ 2 โดยผลการทดสอบค่าความแข็งแรงดัดโค้งงอ 3 จุด ค่ามอดุลัสยืดหยุ่นและค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าแสดงดังรูปที่ 4.7 - 4.9 ตามลำดับ



รูปที่ 4.7 ผลของค่าความแข็งแรงดัดโค้งงอ 3 จุด ของแผ่นไม้พาร์ทิเคิล (ชนิดของน้ำมันชักแห้งธรรมชาติ)



รูปที่ 4.8 ผลของค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของแผ่นไม้พาร์ทิเคิล (ชนิดของน้ำมันชักแห้งธรรมชาติ)



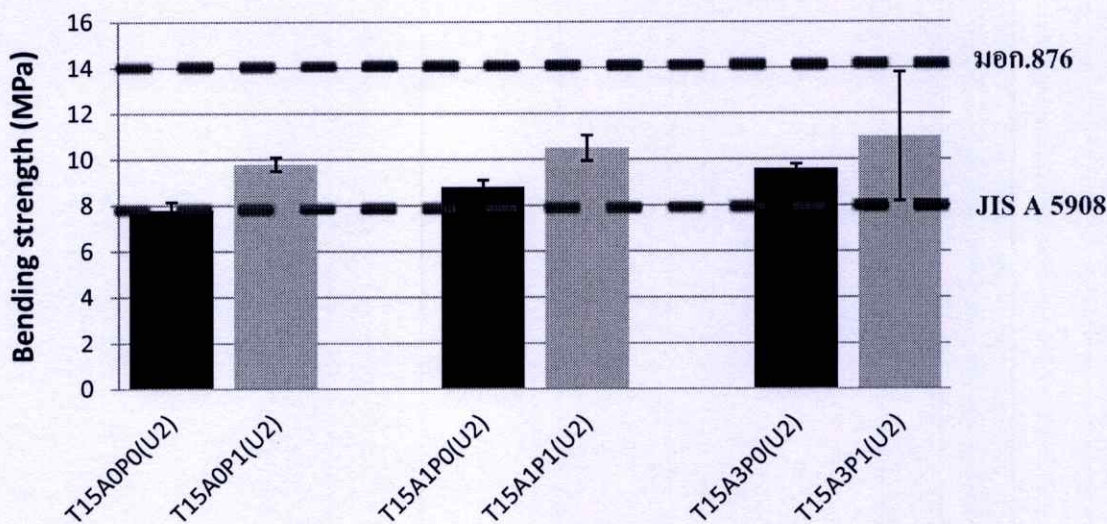
รูปที่ 4.9 ผลของค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นไม้พาร์ทิเคิล (ชนิดของน้ำมันชักแห้งธรรมชาติ)

จากรูปที่ 4.7 แสดงผลการทดสอบสมบัติค่าความแข็งแรงดัดโค้งงอ 3 จุด พบว่ากาวสูตรที่มีน้ำมันทั้งเป็นองค์ประกอบ มีค่าอยู่ในช่วง 7 – 9 MPa แต่ในกาวสูตรที่ใช้ไขมันลินสีดมีค่าอยู่ในช่วง 6 – 9 MPa โดยเมื่อเทียบระหว่างสูตรที่มีปริมาณซิลิกาเท่ากัน ได้แก่ L15A0P0(U2) กับ T15A0P0(U2) หรือ L15A1P0(U2) กับ T15A1P0(U2) หรือ L15A3P0(U2) กับ T15A3P0(U2) พบว่าสูตรกาวที่มีน้ำมันทั้ง ให้ค่าความแข็งแรงดัดโค้งงอ 3 จุดสูงกว่า สูตรกาวที่มีไขมันลินสีด สำหรับผลของค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า (รูปที่ 4.9) ให้ผลในทำนองเดียวกัน โดยสูตรกาวที่มีน้ำมันทั้งเป็นองค์ประกอบค่าที่ได้จากการทดสอบอยู่ในช่วงประมาณ 0.5 MPa และสูตรกาวที่มีไขมันลินสีดเป็นองค์ประกอบมีค่าในช่วง 0.3 – 0.4 MPa อย่างไรก็ตามสมบัติมอดูลัสยืดหยุ่น (รูปที่ 4.8) ผลที่ได้ไม่เป็นไปตามแนวโน้มดังสมบัติที่กล่าวข้างต้น อาจเป็นผลจากเทคนิคการขึ้นรูปแผ่นพาร์ทิเคิลที่ไม่สม่ำเสมอ โดยสูตรกาวที่มีน้ำมันทั้ง มีค่าอยู่ในช่วง 1230 - 1282 MPa และสูตรกาวที่มีไขมันลินสีดมีค่าอยู่ในช่วง 967 – 1498 MPa จากผลการทดสอบสมบัติเชิงกลเมื่อเทียบกับเกณฑ์ค่ามาตรฐานพบว่า มีเพียง 3 สูตร คือ T15A1P0(U2), T15A3P0(U2) และ L15A3P0(U2) มีค่าความแข็งแรงดัดโค้งงอ 3 จุดผ่านเกณฑ์มาตรฐาน JIS A 5908 แต่ทุกสูตรยังไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก.876 สำหรับค่ามอดูลัสยืดหยุ่น พบว่าทุกสูตรยังไม่สามารถผ่านตามเกณฑ์ของทั้งสองมาตรฐาน และผลของค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า พบว่า สูตรกาวในกลุ่มที่ใช้ไขมันทั้ง (T15A0P0(U2), T15A1P0(U2) และ T15A3P0(U2)) สามารถผ่านตามเกณฑ์ของทั้งสองมาตรฐานได้ แต่สูตรกาวในกลุ่มที่ใช้ไขมันลินสีดทุกสูตร (L15A0P0(U2), L15A1P0(U2) และ L15A3P0(U2)) พบว่าสูตร L15A0P0(U2) ยังไม่สามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานทั้งสองมาตรฐานได้

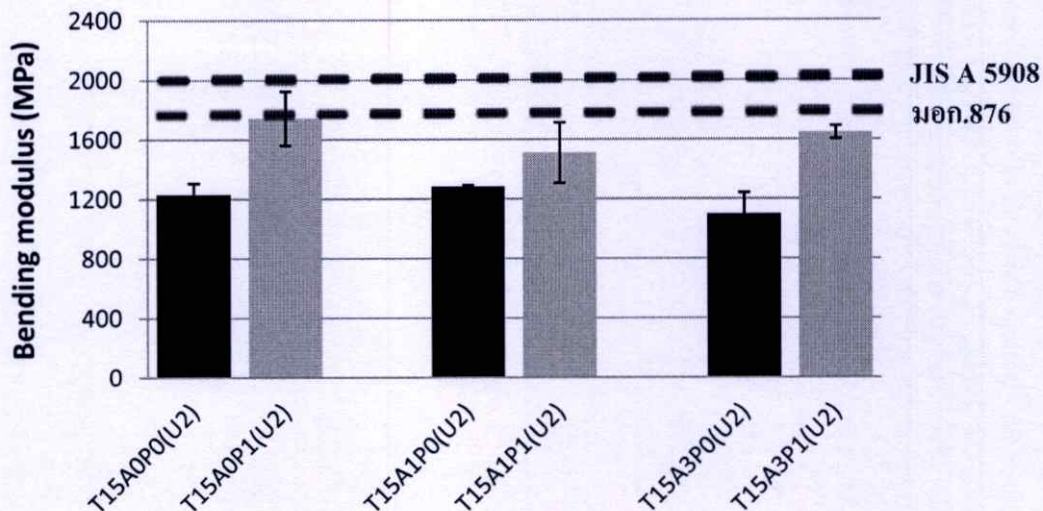
สำหรับสูตร L15A1P0(U2) และ L15A3P0(U2) สามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐาน JIS A 5908 แต่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก.876 อย่างไรก็ตามผลของสมบัติเชิงกลต่างๆ พบว่ามีค่าสูงขึ้นเมื่อมีการเติมสารตัวเติมซิลิกามากขึ้น โดยอยู่ในกรอบการศึกษาที่ปริมาณ 0 – 3 phr โดยน้ำหนักของกาว ซึ่งจะกล่าวถึงผลของสารตัวเติมซิลิกาในหัวข้อ 4.2.2.3 และจากผลของสมบัติเชิงกลที่ยังไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน จึงทำการศึกษาการเติมสารเร่งปฏิกิริยา เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาขณะขึ้นแผ่นไม้พาร์ทิเคิลให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ดังแสดงรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

4.2.2.2 ผลของสารเร่งปฏิกิริยา

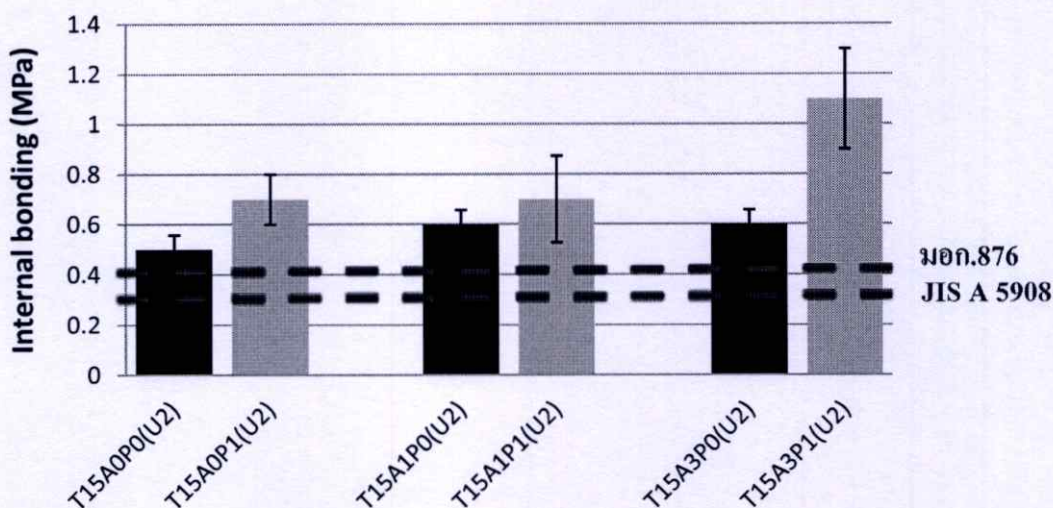
ในงานวิจัยนี้เลือกใช้กรดพาราโทลูอินซัลโฟนิกเป็นสารเร่งปฏิกิริยาซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาได้ดีในช่วงอุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 90 - 95°C การใส่สารเร่งปฏิกิริยาช่วยทำให้ปฏิกิริยาสามารถเกิดได้ดีและสมบูรณ์ขึ้น โดยคาดว่าจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของพอลิไวนิลอัลกอฮอล์กับหมู่เอสเทอร์ของน้ำมันชักแห้งธรรมชาติ เนื่องจากผลของชนิดของน้ำมันชักแห้งธรรมชาติชนิดน้ำมันทั้งให้ผลการทดสอบเชิงกลโดยรวมดีกว่าน้ำมันลินสีด ดังนั้นในหัวข้อวิจัยนี้จึงเลือกสูตรกาวที่ใช้ไขมันทั้งมาทำการปรับปรุงสูตรและทำการทดสอบโดยขึ้นรูปด้วยไม้อูคาลิปตัส ขนาดเบอร์ 2 ซึ่งผลจากการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.10 - 4.12



รูปที่ 4.10 ผลของค่าความแข็งแรงดัดโค้งงอ 3 จุด ของแผ่นไม้พาร์ทิเคิล (การเติมและไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา)



รูปที่ 4.11 ผลของค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของแผ่นไม้พาร์ทิเคิล (การเติมและไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา)



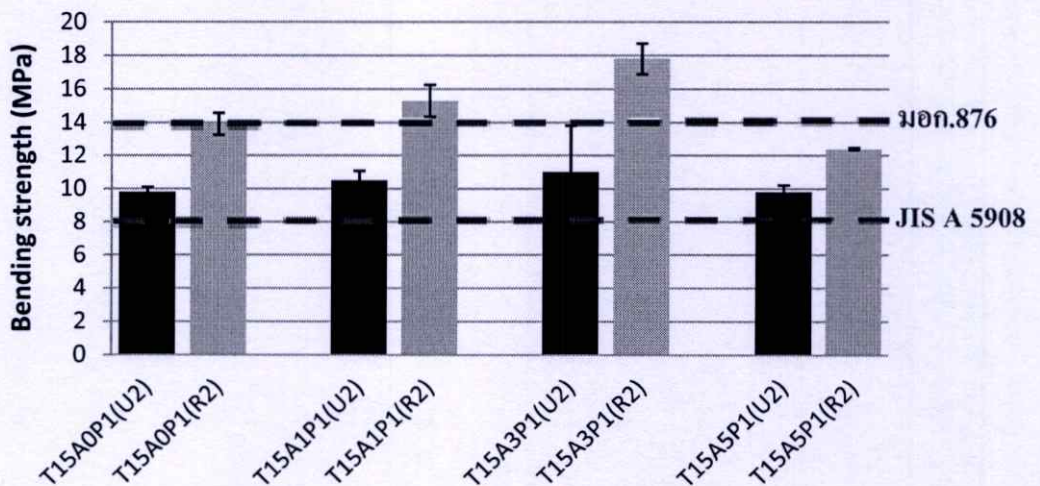
รูปที่ 4.12 ผลของค่าความแข็งแรงต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นไม้พาร์ทิเคิล (การเติมและไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา)

รูปที่ 4.10 – 4.12 แสดงผลการทดสอบค่าความแข็งแรงดัดโค้งงอ 3 จุด ค่ามอดุลัสยืดหยุ่นและค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า ตามลำดับ จากผลการทดสอบข้างต้นเห็นได้อย่างชัดเจนว่าการเติมตัวเร่งปฏิกิริยากรดพาราโทลูอินซัลโฟนิคในสูตรกาวทำให้ได้ผลของสมบัติเชิงกลดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แสดงถึงการเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชันระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลในพอลิไวนิลอัลกอฮอล์กับหมู่เอสเทอร์ของน้ำมันชักแห้งธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยค่าความแข็งแรงดัดโค้งงอ 3 จุดมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 7.1 – 8.8 MPa เป็น 9.8 – 11.0 MPa โดยสามารถผ่าน

เกณฑ์มาตรฐาน JIS A 5908 ได้ทุกสูตรซึ่งกำหนดไว้ที่ไม่ต่ำกว่า 8 MPa อย่างไรก็ตามค่าที่ได้ยังไม่สามารถผ่านมาตรฐานมอก.876 ขณะที่ในสูตรกาวที่ไม่มีการเติมสารเร่งปฏิกิริยาผ่านเกณฑ์มาตรฐานได้เพียงบางสูตร สำหรับค่ามอดูลัสยืดหยุ่นและค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า มีแนวโน้มเช่นเดียวกับค่าความแข็งแรงดัดโค้งงอ 3 จุด กล่าวคือเมื่อมีการเติมสารเร่งปฏิกิริยาจะให้ผลที่สูงกว่าการไม่เติมสารเร่งปฏิกิริยา สำหรับค่าที่มอดูลัสที่ได้จากกาวสูตรที่เติมสารเร่งปฏิกิริยาค่าอยู่ในช่วง 1509 - 1742 MPa และสูตรที่ไม่เติมค่าที่ได้ในช่วง 1100 - 1230 MPa ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นยังไม่สามารถผ่านค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ได้คือ มาตรฐาน JIS A 5908 กำหนดไว้ที่ไม่ต่ำกว่า 2000 MPa และมาตรฐาน มอก.876 กำหนดไว้ไม่ต่ำกว่า 1800 MPa และในสมบัติความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นไม้พาร์ทิเคิลค่าที่ได้จากการทดสอบอยู่ในช่วง 0.4 - 0.5 MPa ในสูตรที่ไม่มีการเติมสารเร่งปฏิกิริยาและ 0.7 - 1.1 MPa ในสูตรที่มีการเติมสารเร่งปฏิกิริยา อย่างไรก็ตามค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นไม้พาร์ทิเคิลผ่านค่ามาตรฐาน JIS A 5908 และ มอก.876 ในทุกสูตรทั้งที่เติมและไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา โดยกำหนดที่ 0.3 MPa และ 0.4 MPa ตามลำดับ

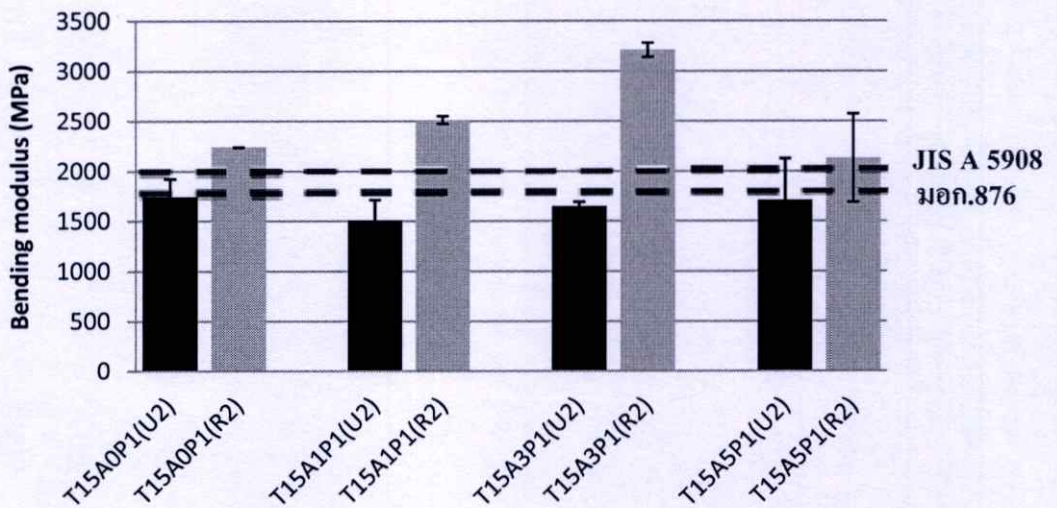
4.2.2.3 ผลของสารตัวเติมซิลิกา

สารตัวเติมซิลิกาที่นำมาเติมในสูตรกาวนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มสมบัติความแข็งแรงของกาว ซึ่งจะช่วยให้แผ่นไม้พาร์ทิเคิลมีความแข็งแรงสูงขึ้นด้วย โดยปัจจัยที่ทำการศึกษาในส่วนนี้คือปริมาณของสารตัวเติมซิลิกา โดยปรับเปลี่ยนปริมาณของสารตัวเติมซิลิกาที่ 0, 1, 3 และ 5 phr ใช้สูตรกาวทั้งกลุ่มน้ำมันทั้งและน้ำมันลินสีด ที่มีการเติมสารเร่งปฏิกิริยา กรดพาราโทลูอินซัลโฟนิค ใช้ไม้ยูคาลิปตัส ขนาดเบอร์ 2 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.13 - 4.15



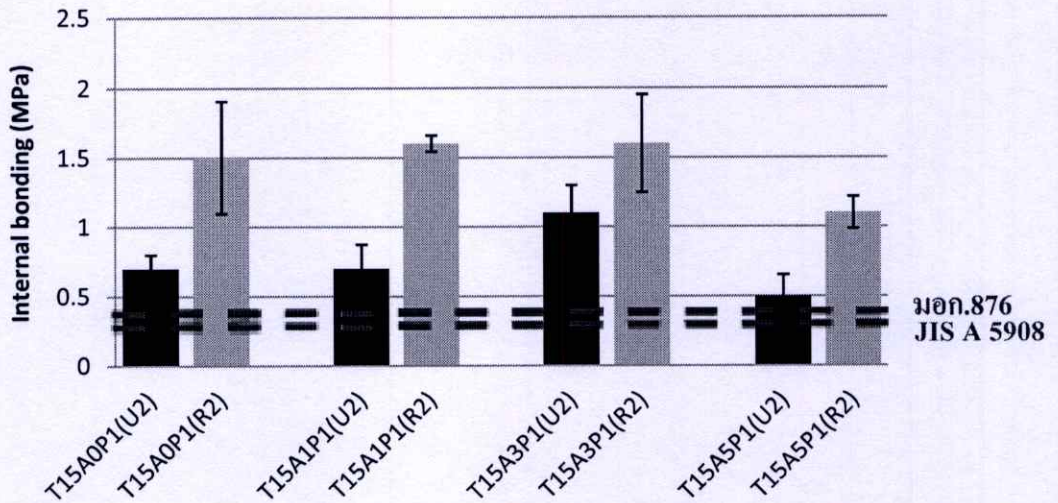
รูปที่ 4.13 ผลของค่าความแข็งแรงดัดโค้งงอ 3 จุดของแผ่นไม้พาร์ทิเคิลโดยศึกษาปัจจัยปริมาณของซิลิกาในสูตรกาว (ปริมาณของสารตัวเติมซิลิกา)

จากรูปที่ 4.13 แสดงค่าความแข็งแรงดัดโค้งงอ 3 จุด พบว่าค่าความแข็งแรงดัดโค้งงอ 3 จุด เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณซิลิกาเพิ่มขึ้นจนถึง ปริมาณซิลิกา 3 phr แต่เมื่อเพิ่มปริมาณซิลิกาเป็น 5 phr พบว่าสมบัติค่าความแข็งแรงดัดโค้งงอ 3 จุดลดลง เนื่องจากซิลิกาเกิดการรวมตัวกันเป็นกลุ่ม เมื่อปริมาณซิลิกามากขึ้น และอาจไปเกาะกะหรือขัดขวางกลไกการเชื่อมโยงทางเคมีอื่นๆ จึงทำให้ค่าความแข็งแรงลดลง จากผลการทดลองจึงสรุปได้ว่าที่ปริมาณ 3 phr เป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุด



รูปที่ 4.14 ค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของแผ่นไม้พาร์ทิเคิลโดยศึกษาปัจจัยปริมาณของซิลิกาในสูตรกาว (ปริมาณของสารตัวเติมซิลิกา)

รูปที่ 4.14 แสดงถึงผลของค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของแผ่นไม้พาร์ทิเคิล สำหรับแผ่นไม้พาร์ทิเคิลที่ขึ้นรูปจากไม้ยูคาลิปตัสไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับแผ่นไม้พาร์ทิเคิลที่ขึ้นรูปจากไม้ยางพาราซึ่งแนวโน้มของค่าที่ทดสอบได้มีทิศทางเดียวกับค่าความแข็งแรงดัดโค้งงอ 3 จุดคือค่าจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีการเติมปริมาณสารตัวเติมที่เพิ่มขึ้นและจะลดลงเมื่อเติมที่ 5 phr เช่นเดียวกัน จากผลการทดลองจากสูตรกาว T15A3P1(U2) เป็นสูตรที่ให้ค่าความแข็งแรงสูงที่สุดคือ 3100 MPa และสามารถผ่านตามมาตรฐานมอก.876 และ JIS A 5908 ที่กำหนดไว้ที่ 1800 และ 2000 MPa ตามลำดับ ซึ่งในสูตร T15A5P1(U2) เมื่อปริมาณซิลิกาที่ 5 phr ผลการทดสอบจะลดลงค่าที่ได้คือ 2100 MPa เป็นสาเหตุมาจากปริมาณซิลิกาที่มากเกินไป เนื่องจากละอองซิลิกามีอนุภาคขนาดเล็กซึ่งมีพื้นที่ผิวสัมผัสมาก จึงทำให้เกิดการรวมตัวกันของซิลิกาเป็นก้อนและไปเกาะกะในระบบการเชื่อมโยงในกาว ส่งผลต่อสมบัติของแผ่นไม้พาร์ทิเคิล โดยเฉพาะค่าความแข็งแรงดัดโค้งงอ ค่ามอดุลัส และค่าความต้านทานแรงดึงดึงจากกับผิวหน้า



รูปที่ 4.15 ค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นไม้พาร์ทิเคิลโดยศึกษาปัจจัยปริมาณของซีลิกาในสูตรกาว (ปริมาณของสารตัวเติมซิลิกา)

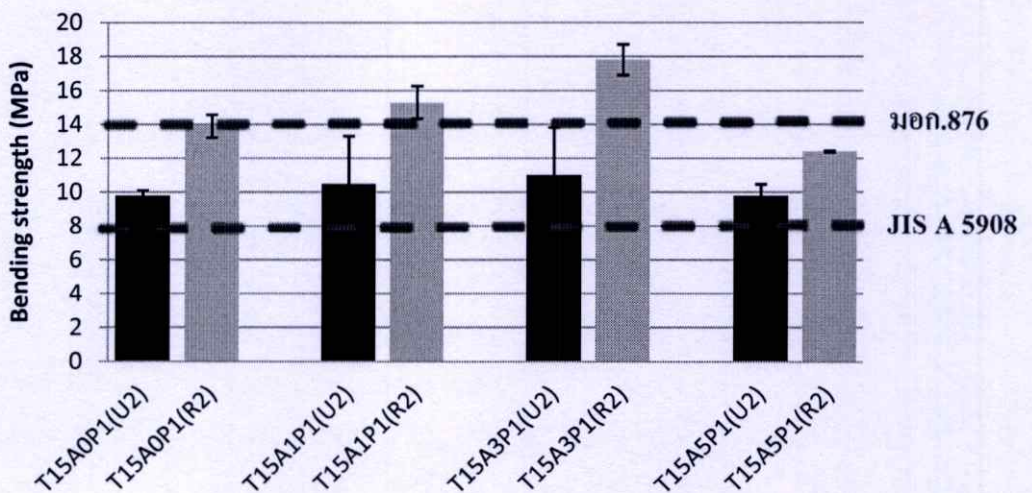
รูปที่ 4.15 แสดงค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นไม้พาร์ทิเคิลค่าที่ได้จากการทดสอบอยู่ในช่วง 0.8 - 1.8 MPa และค่าทั้งหมดสามารถผ่านตามที่ค่ามาตรฐานกำหนดไว้ที่ 0.3 MPa สำหรับมาตรฐาน JIS A 5908 และ 0.4 MPa สำหรับมาตรฐานมอก.876 ทั้งนี้แนวโน้มของการเพิ่มของค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นไม้เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณสารตัวเติมซึ่งเป็นผลมาจากการเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงพันธะไฮโดรเจนของหมู่ไฮดรอกซิลบนพื้นผิวของซีลิกากับหมู่ไฮดรอกซิลในพอลิไวนิลอัลกอฮอล์น้ำซัคแห่งธรรมชาติ และหมู่ไฮดรอกซิลของเซลลูโลสในไม้ และเมื่อเติมซีลิกาในปริมาณ 5 phr พบว่าค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นไม้พาร์ทิเคิลลดลงซึ่งมีแนวโน้มเดียวกับทั้งสองสมบัติที่กล่าวมาข้างต้น

4.2.2.4 ผลของชนิดไม้

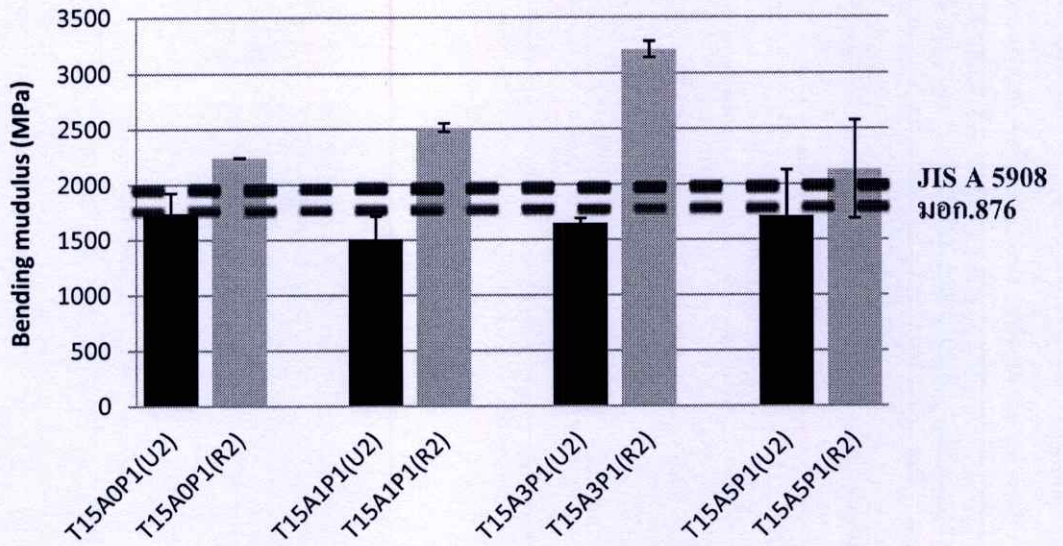
สำหรับงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ไม้สองชนิดคือ ไม้ยูคาลิปตัสและไม้ยางพารา เนื่องจากไม้ทั้งสองชนิดเป็นไม้เศรษฐกิจของประเทศไทยมีการใช้งาน ส่งออกและรวมถึงนำแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ในปริมาณที่สูง ยิ่งไปกว่านั้นในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาในงานแผ่นไม้พาร์ทิเคิลซึ่งการขึ้นรูปแผ่นไม้พาร์ทิเคิลเป็นการนำเศษไม้ที่เหลือจากการใช้งานอื่นๆ มาทำการขึ้นรูปเป็นแผ่นไม้พาร์ทิเคิล ซึ่งสามารถลดปริมาณการตัดต้นไม้ได้เป็นอย่างมาก ซึ่งผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของแผ่นไม้พาร์ทิเคิลจากไม้ทั้งสองชนิดดังกล่าวแสดงรายละเอียดดังนี้

ผลการศึกษาสมบัติเชิงกลของแผ่นไม้พาร์ทิเคิลที่ขึ้นรูปจากไม้ที่ต่างชนิดกันระหว่างไม้ยูคาลิปตัสและไม้ยางพารา ด้วยกาวสูตรที่ใช้ไขมันทั้งเป็นองค์ประกอบและขึ้นรูปด้วยไม้ขนาดเบอร์ 2 แสดงดังรูปที่ 4.16 – 4.18 ผลจากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าแผ่นไม้พาร์ทิเคิลจากไม้ยางพาราให้ค่า

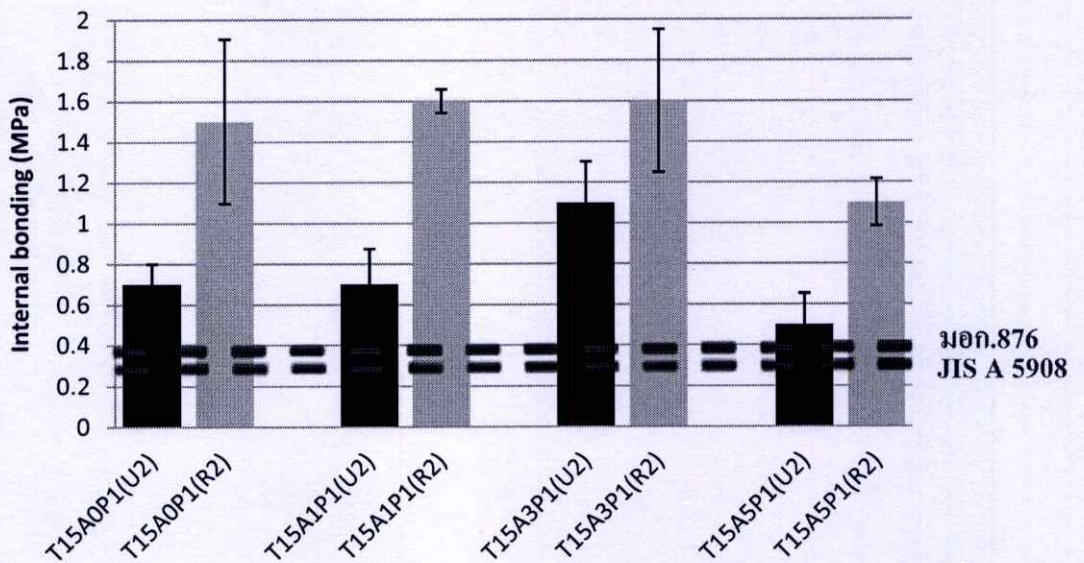
ความแข็งแรงที่สูงกว่าแผ่นไม้พาร์ทิเคิลจากไม้ยูคาลิปตัสในกรณีที่ใช้กาวสูตรเดียวกัน โดยค่าความแข็งแรงดัดโค้งงอ 3 จุดของแผ่นไม้พาร์ทิเคิลที่ขึ้นรูปด้วยไม้ยูคาลิปตัสอยู่ในช่วง 9.8 – 10.5 MPa และแผ่นไม้พาร์ทิเคิลจากไม้ยางพาราค่าที่ได้อยู่ในช่วง 12.4 – 17.8 MPa ซึ่งค่าที่ได้จากการทดสอบสามารถผ่านค่ามาตรฐาน JIS A 5908 ที่กำหนดไว้ที่ไม่ต่ำกว่า 8 MPa แต่สำหรับมาตรฐานมอก.876 กำหนดไว้ที่ 14 MPa ผ่านได้เพียงแผ่นไม้พาร์ทิเคิลที่ขึ้นรูปจากไม้ยางพารา สำหรับค่ามอดุลัสยืดหยุ่นที่ได้จากการทดสอบแผ่นไม้พาร์ทิเคิลจากไม้ยูคาลิปตัสให้ค่าอยู่ในช่วง 1509 – 1742 MPa และแผ่นไม้พาร์ทิเคิลจากไม้ยางพารามีค่าในช่วง 2132 – 3154 MPa โดยแผ่นไม้พาร์ทิเคิลจากไม้ยางพาราสามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานทั้งมาตรฐาน มอก.876 และ JIS A 5908 ได้กำหนดค่ามาตรฐานไว้ที่ 1800 และ 2000 MPa ตามลำดับ ซึ่งแผ่นไม้พาร์ทิเคิลที่ขึ้นรูปจากไม้ยูคาลิปตัสไม่สามารถผ่านได้ทั้งสองมาตรฐาน สำหรับสมบัติความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นไม้พาร์ทิเคิลที่ขึ้นรูปจากไม้ยูคาลิปตัสค่าที่ได้อยู่ในช่วง 0.5 – 1.1 MPa และแผ่นไม้พาร์ทิเคิลที่ขึ้นรูปจากไม้ยางพาราค่าที่ได้อยู่ในช่วง 1.1 – 1.6 MPa ซึ่งมาตรฐาน JIS A 5908 และ มอก.876 ได้กำหนดค่ามาตรฐานไว้ไม่ต่ำกว่า 0.3 MPa และ 0.4 MPa ตามลำดับ ไม้ทั้งสองชนิดสามารถผ่านตามค่าที่มาตรฐานกำหนดไว้ทั้งสองมาตรฐาน สาเหตุที่ทำให้แผ่นไม้พาร์ทิเคิลที่ขึ้นรูปจากไม้ยางพารามีสมบัติที่ดีกว่าไม้ยูคาลิปตัส เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของชิ้นไม้ทั้งสองชนิดแตกต่างกัน ไม้ยางพารามีลักษณะที่โค้งมนและนิ่มกว่าไม้ยูคาลิปตัส จึงทำให้ชิ้นไม้สามารถจัดเรียงตัวได้ดีกว่าและขึ้นรูปแผ่นไม้พาร์ทิเคิลได้ดีกว่าไม้ยูคาลิปตัส สำหรับไม้ยูคาลิปตัสมีลักษณะเป็นเส้นไม้ที่แข็งกว่าไม้ยางพาราจึงทำให้การจัดเรียงตัวในขณะที่ขึ้นรูปเป็นไปได้ยากกว่าในไม้ยางพารา จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้แผ่นไม้พาร์ทิเคิลที่ขึ้นรูปจากไม้ยางพารามีค่าสมบัติเชิงกลที่ดีกว่าแผ่นไม้พาร์ทิเคิลที่ขึ้นรูปด้วยไม้ยูคาลิปตัส



รูปที่ 4.16 ค่าความแข็งแรงดัดโค้งงอ 3 จุด ของแผ่นไม้พาร์ทิเคิล (ชนิดของไม้ในกรณีน้ำมันทั้ง)



รูปที่ 4.17 ค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของแผ่นไม้พาร์ทิเคิล (ชนิดของไม้ในกรณีน้ำมันทั้ง)

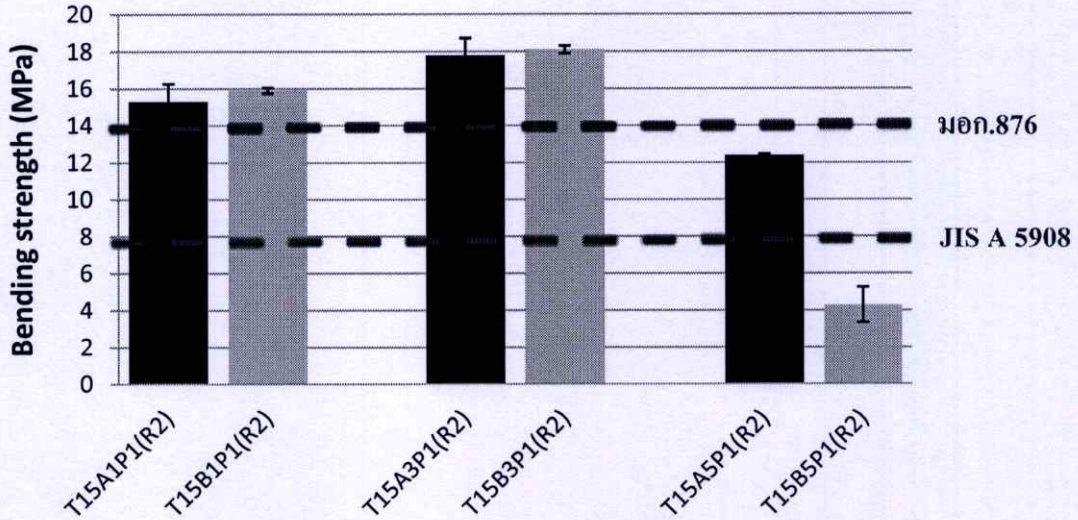


รูปที่ 4.18 ค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นพาร์ทิเคิล (ชนิดของไม้ในกรณีน้ำมันทั้ง)

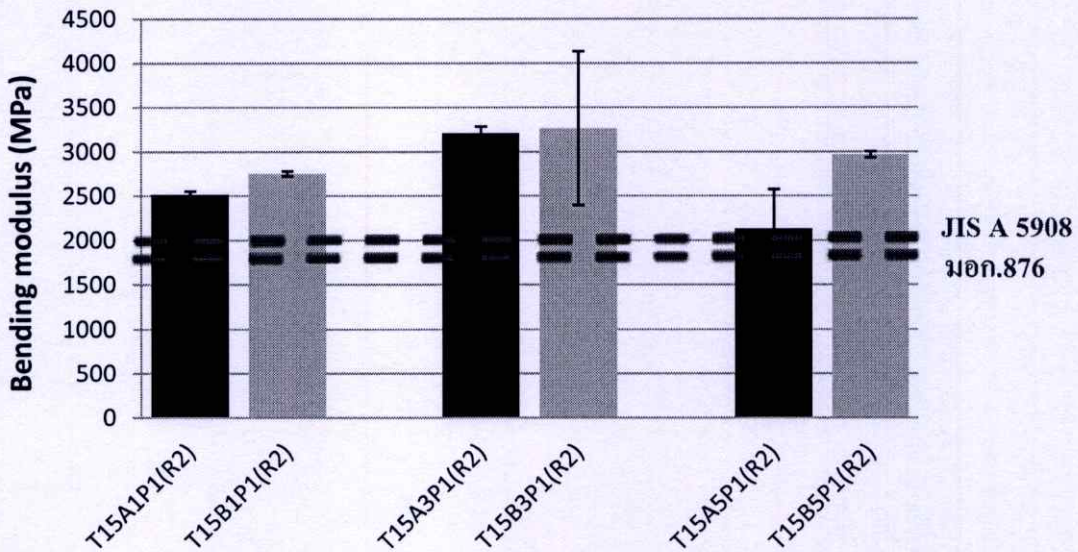
4.2.2.5 ผลจากชนิดของสารตัวเติมซิลิกา

ในงานวิจัยนี้ซิลิกาทำหน้าที่เป็นสารตัวเติมและช่วยเสริมแรงในกาวยที่ศึกษา ปัจจัยที่ทำการศึกษาคือปริมาณของสารตัวเติมซิลิกามีการปรับเปลี่ยนปริมาณของสารตัวเติมซิลิกาที่ 0 – 5 phr และชนิดของซิลิกา โดยมีการใช้ซิลิกาสองชนิดคือ ชนิด A และ ชนิด B (ชนิด A Scintran[®] และ ชนิด B HL200) โดยชนิด A มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่าชนิด B เมื่อทำการปรับเปลี่ยนชนิดของสารตัวเติมซิลิกาทำให้ผลการทดสอบที่ได้แตกต่างกันเนื่องมาจากซิลิกาทั้งสองชนิดมี

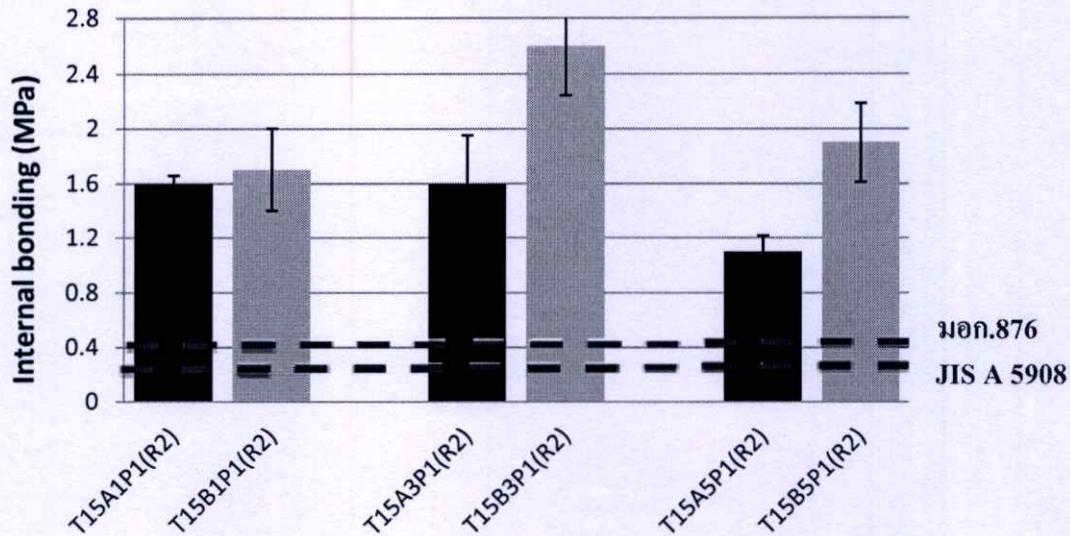
ขนาดที่แตกต่างกันจึงทำให้มีผลต่อการผสมและการกระจายตัวในเนื้อกาวย โดยซิลิกาที่มีขนาดเล็กกว่าจะพื้นที่ผิวมากกว่า ซึ่งหมายถึงปริมาณหมู่ไฮดรอกซิลที่พื้นผิว นำไปสู่โอกาสของการเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงด้วยพันธะไฮโดรเจนที่สูงขึ้น



รูปที่ 4.19 ค่าความแข็งแรงดัดโค้งงอ 3 จุด ของแผ่นไม้พาร์ทิเคิลที่ใช้ซิลิกาต่างชนิดกัน



รูปที่ 4.20 ค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของแผ่นไม้พาร์ทิเคิลที่ใช้ซิลิกาต่างชนิดกัน



รูปที่ 4.21 ค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นไม้พาร์ทิเคิลที่ใช้ซิติกาต่างชนิดกัน

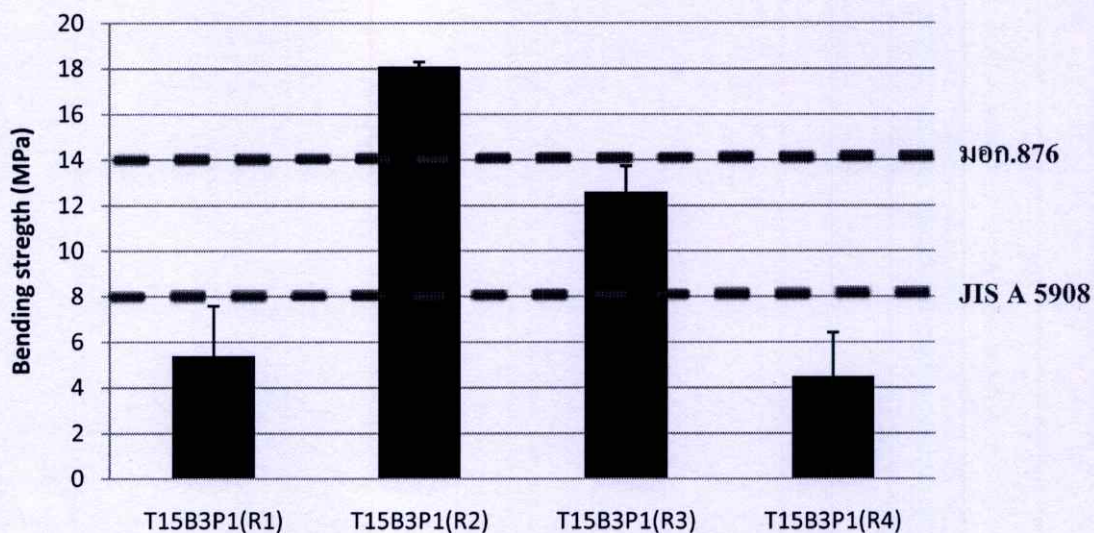
จากรูปที่ 4.19 – 4.21 แสดงผลการทดสอบของสมบัติเชิงกลทั้ง 3 สมบัติคือ ความแข็งแรงดัดโค้งงอ 3 จุด ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นและค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นไม้พาร์ทิเคิลที่มาจากสูตรกาวที่มีการเลือกใช้ชนิดของสารตัวเติมซิติกาที่ต่างกัน จากผลการทดสอบพบว่าสูตรกาวที่ใช้สารตัวเติมซิติกาชนิด B ให้ค่าความแข็งแรงที่สูงกว่าชนิด A เนื่องจากซิติกาชนิด B มีขนาดเล็กกว่าชนิด A จึงทำให้มีผลต่อการผสมเข้ากับเนื้อกาวที่ดีกว่าและมีพื้นที่ผิวสูงกว่า ทำให้ซิติกาสามารถเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่าง:

- : หมู่ไฮดรอกซิลของสารตัวเติมซิติกากับหมู่ไฮดรอกซิลของพอลิไวนิลอัลกอฮอล์
- : หมู่ไฮดรอกซิลของสารตัวเติมซิติกากับหมู่ไฮดรอกซิลของเซลลูโลสในไม้
- : หมู่ไฮดรอกซิลของสารตัวเติมซิติกากับหมู่ไฮดรอกซิลของน้ำมันชักแห้งธรรมชาติ

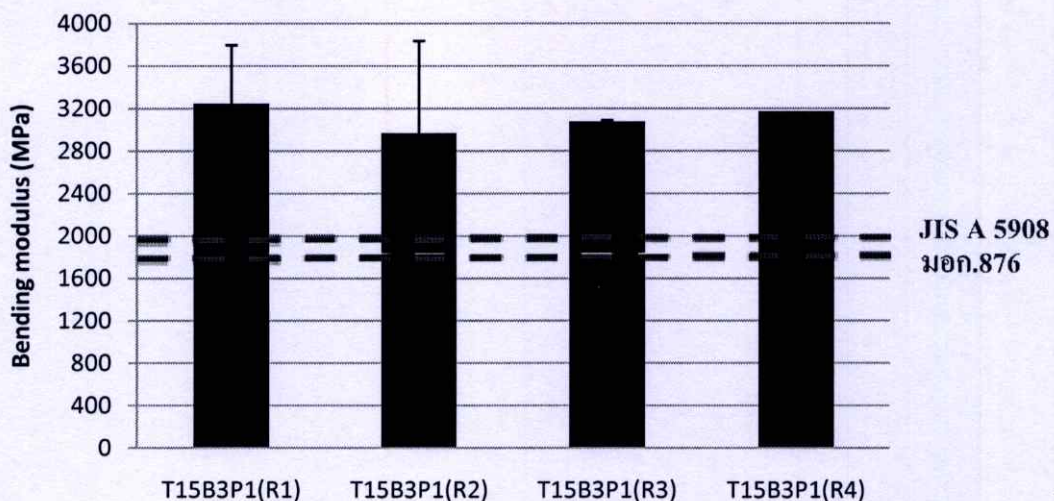
ได้ดีขึ้นจึงส่งผลให้สมบัติต่างๆมีค่าที่ดีกว่าการใช้ซิติกาชนิด A ในสูตรกาว ผลจากการทดสอบค่าความแข็งแรงดัดโค้งงอ 3 จุดในสูตรกาวที่ใช้ซิติกาชนิด A ค่าที่ได้อยู่ในช่วง 9.8 – 10.5 MPa และสำหรับชนิด B ค่าที่ได้อยู่ในช่วง 4.3 – 15.7 MPa สำหรับค่าความแข็งแรงดัดโค้งงอ 3 จุด ของแผ่นไม้พาร์ทิเคิลจากกาวสูตร T15B5P1(R2) มีค่าค่อนข้างต่ำ อาจเนื่องมาจากการใช้ซิติกาในปริมาณที่มากเกินไป ทำให้เกิดการรวมตัวเป็นกลุ่มก้อนของซิติกาส่งผลให้ค่าดังกล่าวลดลง สำหรับค่ามอดูลัสยืดหยุ่น เมื่อใช้กาวที่มีซิติกาชนิด A และ B ค่าที่ได้ 1509 – 1712 MPa และ 2267 – 3664 MPa ตามลำดับและสมบัติค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นไม้พาร์ทิเคิลค่าที่ได้จากการทดสอบอยู่ในช่วง 0.5 – 1.1 และ 1.7 - 2.6 MPa ตามลำดับ จากผลการทดสอบทั้งหมดนี้เป็นการยืนยันว่าซิติกาชนิด B มีประสิทธิภาพสูงกว่าซิติกาชนิด A

4.2.2.6 ผลของขนาดชิ้นไม้

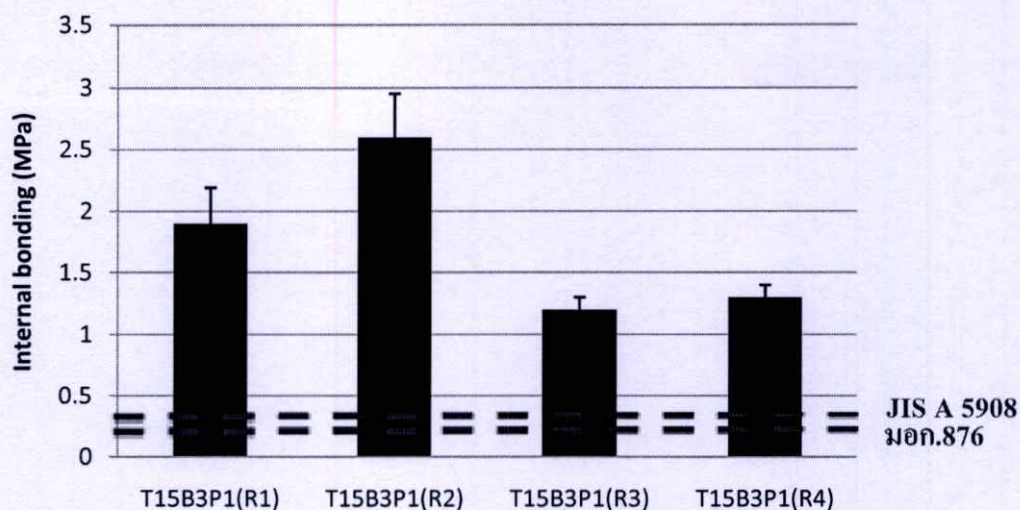
ในปัจจัยขนาดของชิ้นไม้เป็นการทดสอบเพื่อหาขนาดชิ้นไม้ที่ดีที่สุดและให้ค่าความแข็งแรงที่สุดรวมถึงเป็นการยืนยันประสิทธิภาพของกาวว่าสามารถใช้ได้กับไม้ทุกชนิดและทุกขนาด ขนาดชิ้นไม้ที่แตกต่างกันให้ค่าการทดสอบที่แตกต่างกันออกไปซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.22 – 4.24



รูปที่ 4.22 ค่าความแข็งแรงดัดโค้งงอ 3 จุด ของแผ่นไม้พาร์ทิเคิลที่ใช้ขนาดของชิ้นไม้ต่างกัน



รูปที่ 4.23 ค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของแผ่นไม้พาร์ทิเคิลที่ใช้ขนาดของชิ้นไม้ต่างกัน



รูปที่ 4.24 ค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นไม้พาร์ทิเคิลที่ใช้ขนาดของ ชั้นไม้ต่างกัน

จากรูปที่ 4.22 - 4.24 แสดงผลค่าความต้านทานแรงดึงโค้งงอ 3 จุด ค่ามอดุลัส และค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นไม้พาร์ทิเคิลตามลำดับ ซึ่งเป็นผลจากแผ่นไม้พาร์ทิเคิลที่ขึ้นรูปโดยใช้ชั้นไม้ที่มีขนาดต่างกันเพื่อศึกษาสมบัติของขนาดชั้นไม้ ซึ่งผลจากการทดสอบจะเห็นว่าไม้ขนาดเบอร์ 2 จะให้ค่าสมบัติที่ดีกว่าไม้ขนาดอื่นๆ ทั้งนี้ยังเป็นการยืนยันคุณภาพของกาวยที่ศึกษาว่าสามารถใช้ได้กับไม้ทุกชนิดและทุกรูปร่าง จากผลการทดสอบแผ่นไม้พาร์ทิเคิลที่ขึ้นรูปจากชั้นไม้ที่ต่างขนาดกันค่าสมบัติเชิงกลที่ได้ก็แตกต่างกัน ค่าสมบัติเชิงกลของแผ่นพาร์ทิเคิลที่ขึ้นรูปจากชั้นไม้ที่ต่างขนาดกันจะให้ค่าความแข็งแรงที่ต่างกันออกไป ทั้งนี้ชั้นสมบัติต่างๆ จะขึ้นอยู่กับวิธีการใช้งานเนื่องจากชั้นไม้แต่ละขนาดจะให้ค่าสมบัติหรือความแข็งแรงที่แตกต่างกันเนื่องมาจากลักษณะทางกายภาพของชั้นไม้จึงส่งผลต่อความยากง่ายและรวมถึงการจัดเรียงตัวในเวลาขึ้นรูปเป็นแผ่นไม้พาร์ทิเคิล จากการทดสอบผลที่ได้คือไม้เบอร์ 2 แสดงสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุดเนื่องจากชั้นไม้มีขนาดและลักษณะทางกายภาพที่เหมาะสมในการขึ้นรูปเป็นแผ่นไม้พาร์ทิเคิลที่สุดจึงทำให้ค่าจากการทดสอบส่งผลให้ไม้ขนาดเบอร์ 2 แสดงค่าความแข็งแรงสูงสุด สำหรับในไม้ขนาดเบอร์ 1 เนื่องจากชั้นไม้มีขนาดใหญ่กว่าเบอร์ 2 จึงส่งผลต่อการจัดเรียงตัวในการขึ้นรูปแผ่นไม้พาร์ทิเคิลเพราะจะเกิดการขัดขวางกันของชั้นไม้จึงทำให้แผ่นไม้พาร์ทิเคิลมีความแข็งแรงน้อยกว่า สำหรับชั้นไม้ขนาดเบอร์ 3 และ 4 จะมีขนาดชั้นไม้ที่เล็กกว่าจึงทำให้ง่ายสำหรับการขึ้นรูปเป็นแผ่นไม้พาร์ทิเคิลแต่จะให้ความแข็งแรงที่ไม่ดี เนื่องจากชั้นไม้ที่มีขนาดเล็กและสั้นจึงทำให้มีความสามารถในการถ่ายเทแรงได้น้อยจึงทำให้แผ่นไม้พาร์ทิเคิลที่ขึ้นรูปจากไม้ขนาดเบอร์ 3 และ 4 ให้ความแข็งแรงที่น้อยกว่า จากการทดสอบที่กล่าวมาข้างต้นไม้ขนาดต่างๆตั้งแต่เบอร์ 1 - 4 สามารถผ่านค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ได้เกือบทั้งหมด ซึ่งไม้แต่ละขนาดก็ให้ค่าความแข็งแรงในแต่ละ

ละสมบัติที่แตกต่างกันทั้งนี้จึงไม่สามารถระบุได้ว่าไม้ขนาดไหนดีที่สุดทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับการใช้งานที่นำไปใช้งานให้เหมาะสม

4.2.2.7 ผลของน้ำมันผสม

สำหรับปัจจัยศึกษาในเรื่องน้ำมันผสมเป็นการแก้ปัญหาข้อเสียของน้ำมันทั้งเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันลินสีด เนื่องจากน้ำมันทั้งมี

- กลิ่นฉุน
- สีเข้ม
- ราคาสูง
- หาซื้อยาก (ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ)

ดังนั้นจึงพยายามแก้ปัญหานี้โดยการผสมน้ำมันทั้งและน้ำมันลินสีดเนื่องจากน้ำมันลินสีดไม่มีกลิ่นฉุนและสีค่อนข้างใสกว่าน้ำมันทั้ง จึงพยายามลดปริมาณการใช้งานของน้ำมันทั้งแต่ทั้งนี้ผลจากการผสมน้ำมันในอัตราส่วนต่างๆพบว่าสมบัติยังคงให้ค่าความแข็งแรงผ่านค่ามาตรฐานที่กำหนดแต่ผลการทดสอบสมบัติต่างๆจะมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับกาวสูตรที่ใช้ น้ำมันทั้งเพียงอย่างเดียวซึ่งผลแสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบสมบัติของแผ่นไม้พาร์ทิเคิลที่ขึ้นรูปด้วยกาวสูตรน้ำมันผสม

สูตร	Bending stress (MPa)	Bending modulus (MPa)	Internal bonding (MPa)	Density kg/m ³ (มอก)	Density kg/m ³ (JIS)	Moisture content % (มอก)	Moisture content % (JIS)
T15A3P1(R2)	15.5	2267	2.6	706.0	807.0	13.0	8.1
T5L10A3P1 (R2)	15.6	3534	1.9	744.3	738.3	2.6	2.6
T10L5A3P1 (R2)	14.9	2032	1.8	766.5	845.4	2.6	2.6
T7.5L7.5A3P1 (R2)	13.0	2973	1.6	778.0	791.0	1.8	1.3
มาตรฐาน JIS A 5908	8	2000	0.3	400 - 900		5 - 13	
มาตรฐาน มอก. 876	14	1800	0.4	400 - 900		5 - 13	

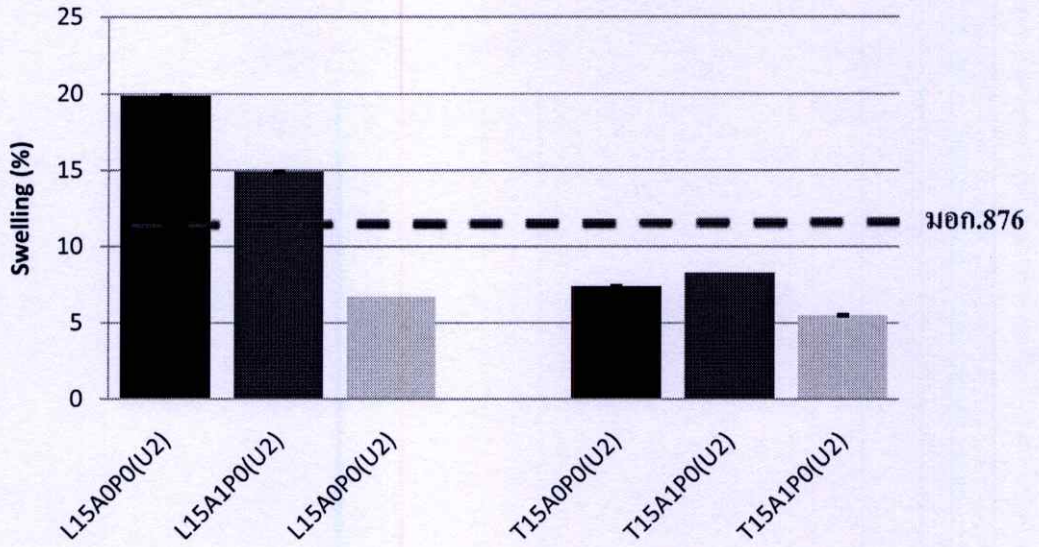
จากตารางที่ 4.5 แสดงผลของสมบัติต่างๆของแผ่นไม้พาร์ทิเคิลที่ขึ้นรูปจากสูตรกาวที่ใช้ไขมันผสมเป็นองค์ประกอบเพื่อเปรียบเทียบสมบัติกับกาวสูตรที่ใช้ไขมันทั้งเพียงอย่างเดียว จากผลการทดสอบค่าที่ได้จากแผ่นไม้พาร์ทิเคิลที่ขึ้นรูปด้วยกาวสูตรที่ใช้ไขมันผสมให้ค่าที่น้อยกว่ากาวสูตรที่ใช้ไขมันทั้งเพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ตามค่าที่ได้จากการทดสอบสมบัติต่างๆสามารถผ่านตามค่ามาตรฐานที่กำหนดมีเพียงในสูตร T7.5L7.5A3P1(R2) มีค่าความแข็งแรงดัดโค้งงอ 3 จุดอยู่ที่ 13 MPa ซึ่งไม่สามารถผ่านตามค่ามาตรฐาน มอก.876 ที่กำหนดไว้ที่ 14 MPa นอกจากนี้ทุกค่าสามารถผ่านทั้งสองมาตรฐานได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการใช้งานว่าต้องการค่าความแข็งแรงเท่าไรซึ่งกาวสูตรไขมันผสมเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการขึ้นรูปแผ่นไม้พาร์ทิเคิล

4.2.3 ค่าการพองตัวทางความหนาของแผ่นไม้พาร์ทิเคิล

สมบัติในด้านการพองตัวทางความหนาของแผ่นไม้พาร์ทิเคิลที่ขึ้นรูปจากสูตรกาวที่ศึกษาโดยมีปัจจัยการศึกษาต่างๆ คือ

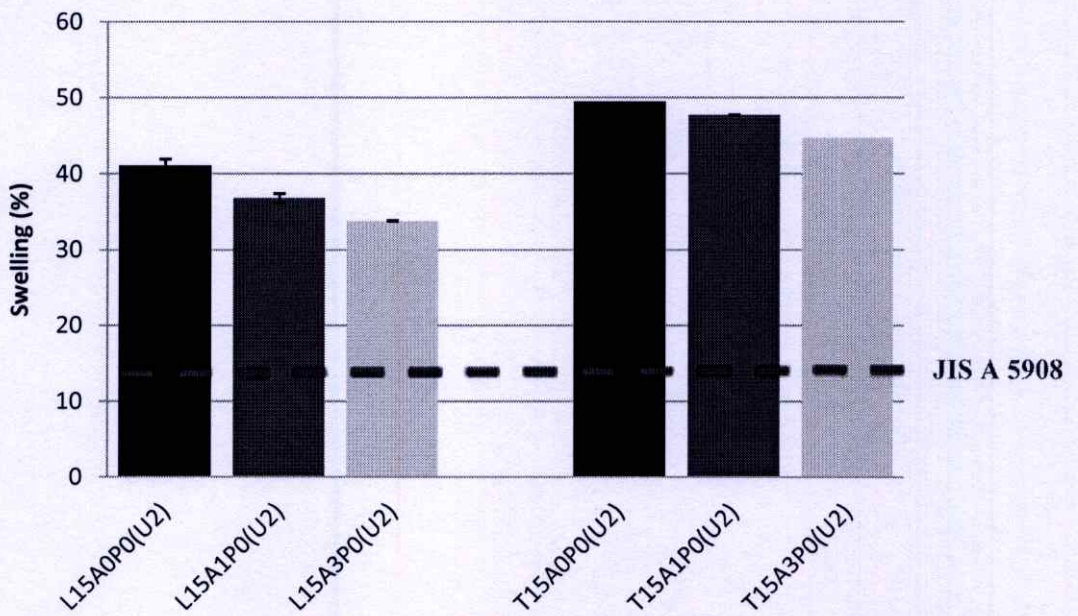
- ชนิดของน้ำมันชักแห้งธรรมชาติ ได้แก่ น้ำมันทั้งและน้ำมันลินสีด
- ชนิดของสารตัวเติมซิลิกา ชนิด A และ B (ชนิด A Scintran[®] และ ชนิด B HL200)
- ปริมาณของสารตัวเติมซิลิกาที่ 0, 1, 3 และ 5 phr
- ผลของการเติมและไม่เติมสารเร่งปฏิกิริยา
- ชนิดของชั้นไม้ ได้แก่ ไม้ยูคาลิปตัสและไม้ยางพารา
- ขนาดของชั้นไม้ที่มีความละเอียดเบอร์ 1, 2, 3 และ 4

เช่นเดียวกับสมบัติอื่นๆ ที่ได้ทำการทดสอบมาข้างต้นซึ่งผลแสดงดังรูปที่ 4.25 – 4.34



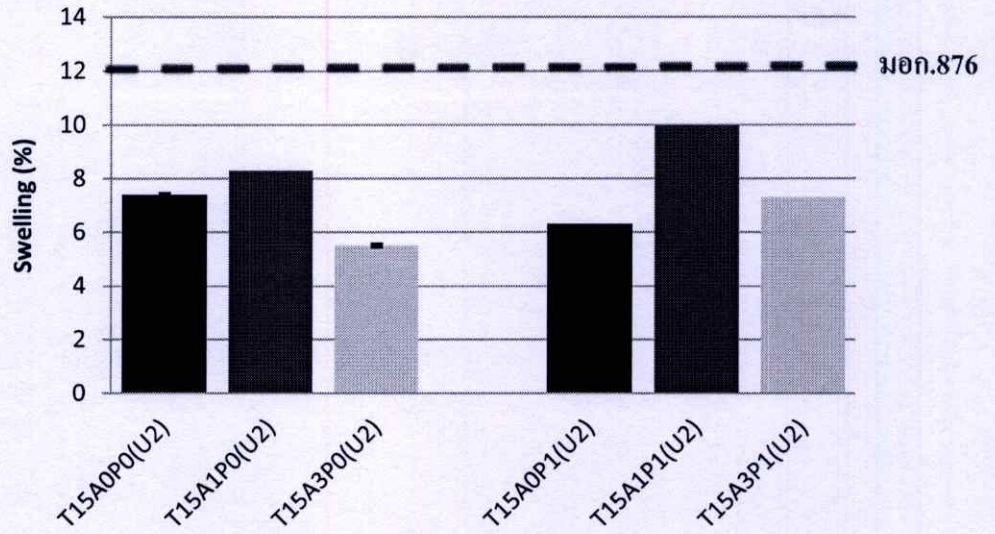
รูปที่ 4.25 ค่าการพองตัวของความหนาในกรณีที่ใช้ น้ำมันชกแห้งต่างชนิดกัน

(มาตรฐาน มอก.876)

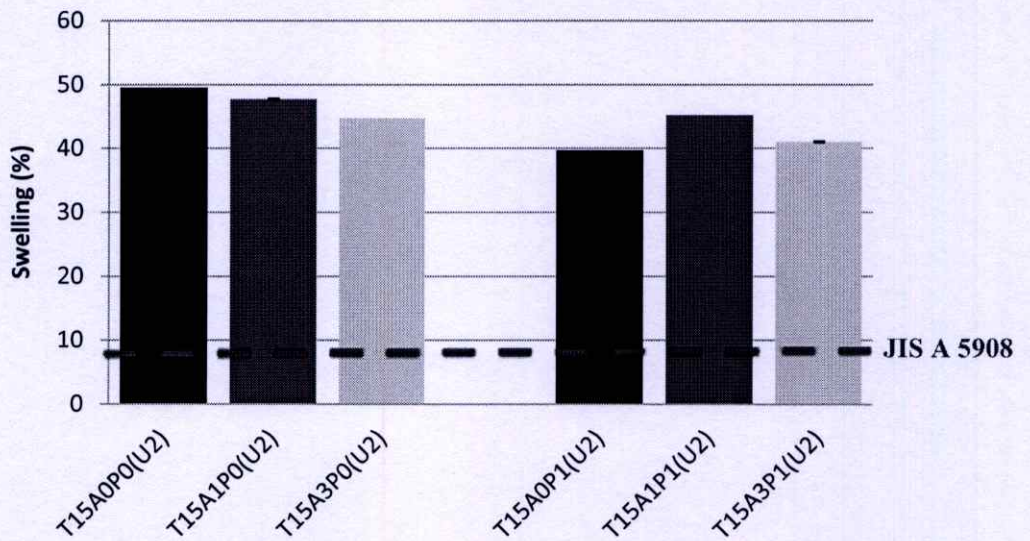


รูปที่ 4.26 ค่าการพองตัวของความหนาในกรณีที่ใช้ น้ำมันชกแห้งต่างชนิดกัน

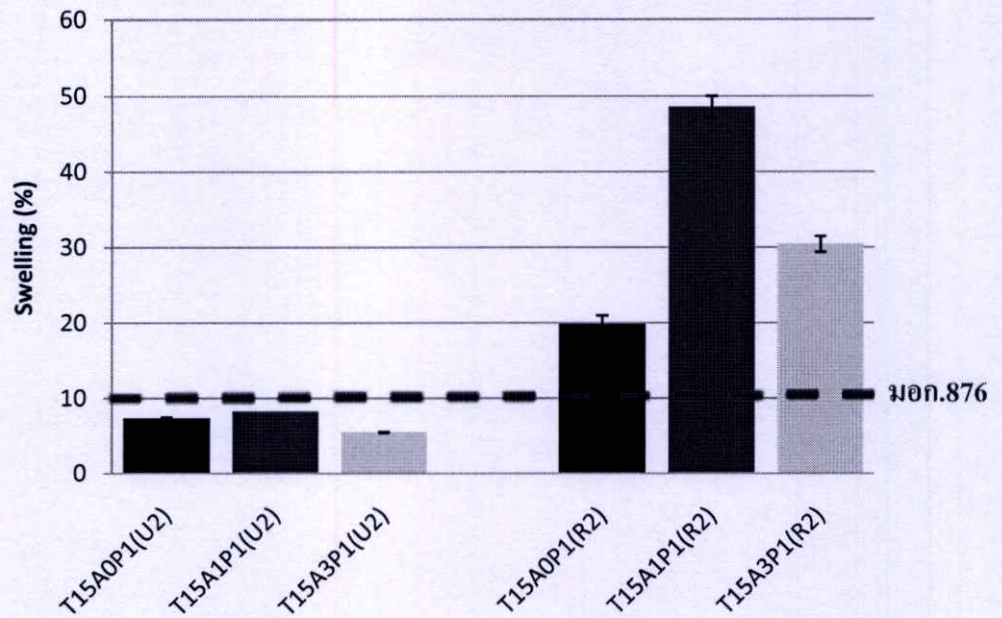
(มาตรฐาน JIS A 5908)



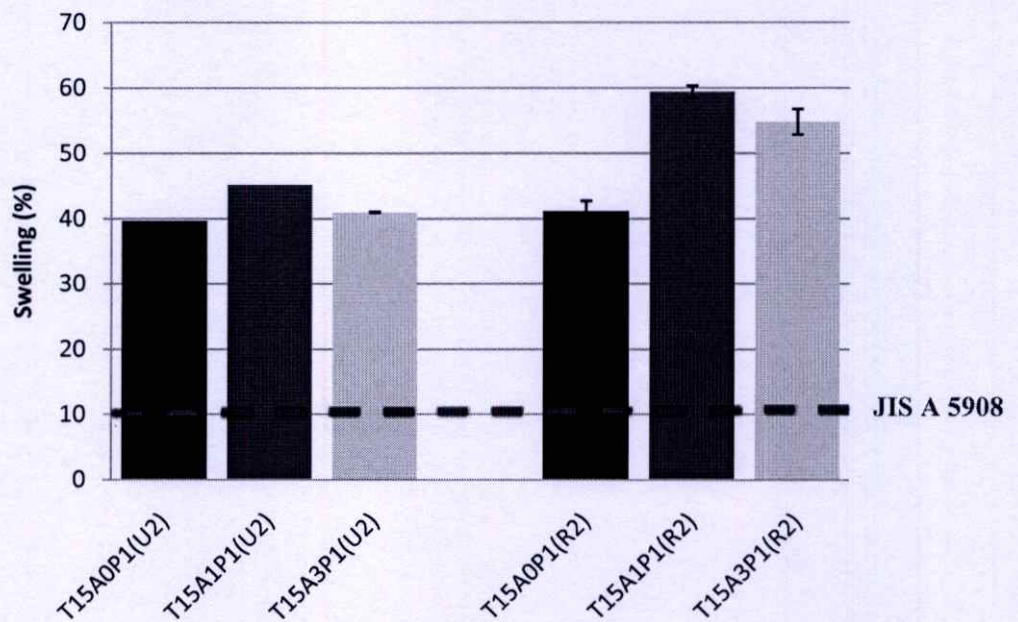
รูปที่ 4.27 ค่าการพองตัวทางความหนาในกรณีที่เติมและไม่เติมสารเร่งปฏิกิริยา
(มาตรฐาน มอก.876)



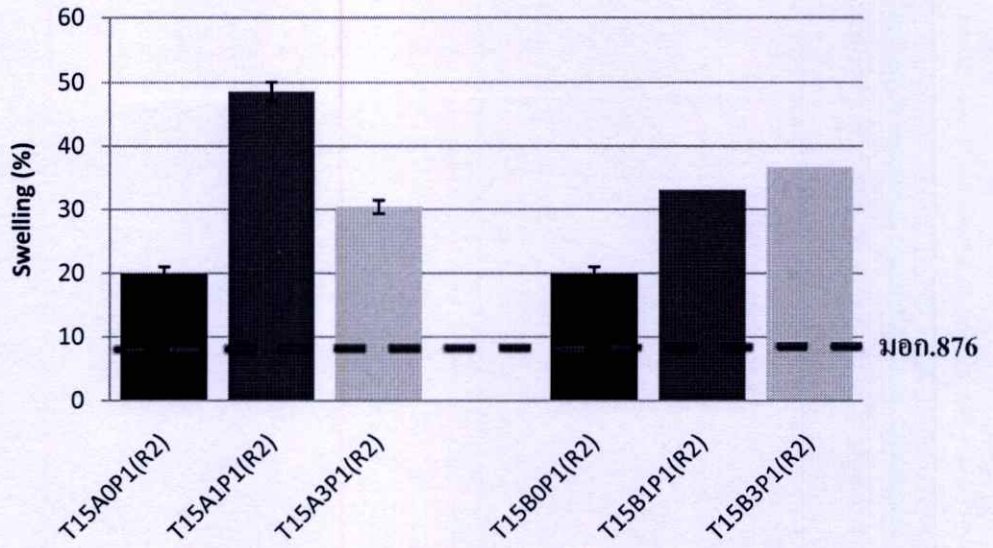
รูปที่ 4.28 ค่าการพองตัวทางความหนาในกรณีที่เติมและไม่เติมสารเร่งปฏิกิริยา
(มาตรฐาน JIS A 5908)



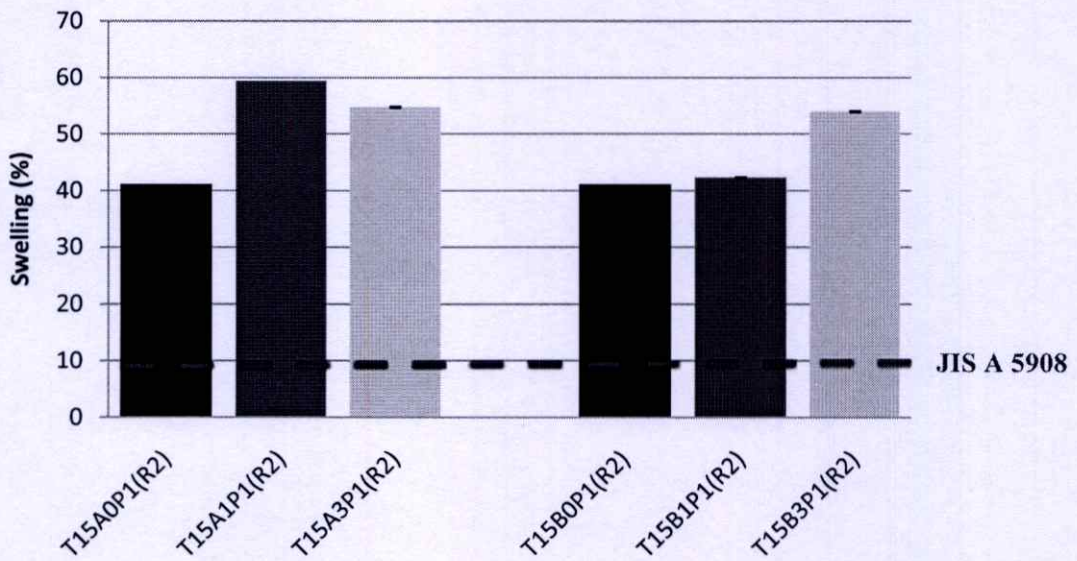
รูปที่ 4.29 ค่าการพองตัวของความหนาในกรณีใช้ไม้ต่างชนิดกัน (มาตรฐาน มอก.876)



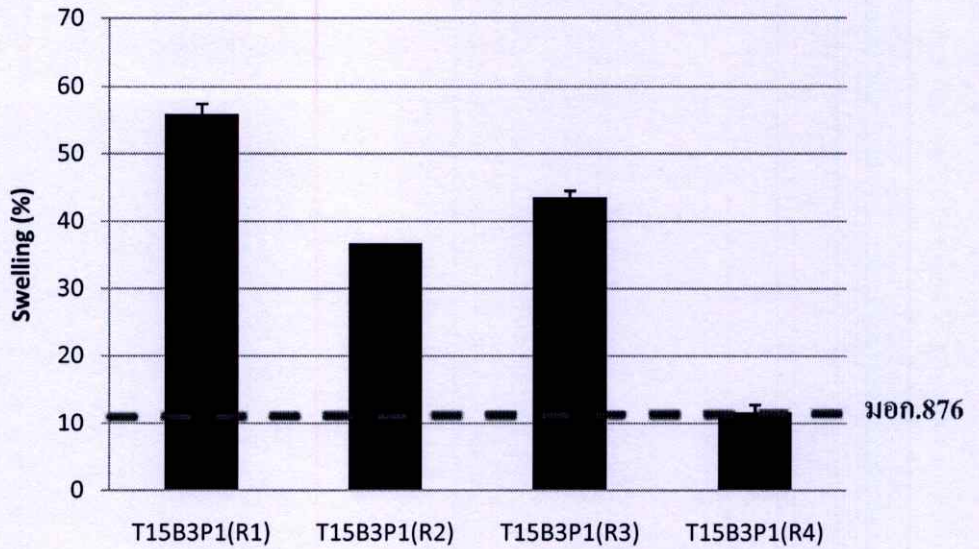
รูปที่ 4.30 ค่าการพองตัวของความหนาในกรณีใช้ไม้ต่างชนิดกัน (มาตรฐาน JIS A 5908)



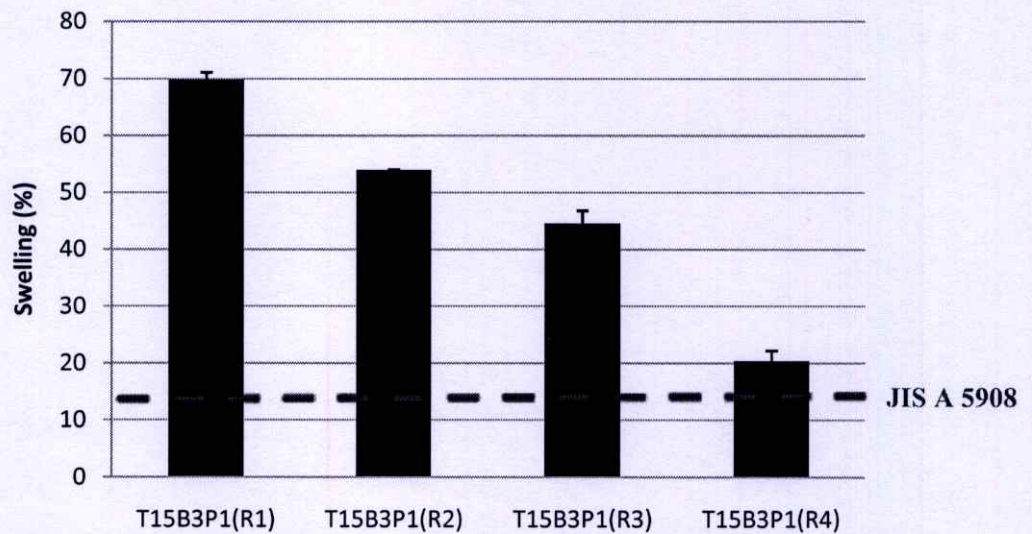
รูปที่ 4.31 ค่าการพองตัวของความหนาในกรณีใช้สารตัวเติมซิลิกาต่างชนิดกัน
(มาตรฐาน มอก.876)



รูปที่ 4.32 ค่าการพองตัวของความหนาในกรณีใช้สารตัวเติมซิลิกาต่างชนิดกัน
(มาตรฐาน JIS A 5908)



รูปที่ 4.33 ค่าการพองตัวของความหนาในกรณีใช้ชิ้นไม้ต่างขนาดกัน (มาตรฐาน มอก.876)



รูปที่ 4.34 ค่าการพองตัวของความหนาในกรณีใช้ชิ้นไม้ต่างขนาดกัน (มาตรฐาน JIS A 5908)

จากรูป 4.25 - 4.34 แสดงค่าการพองตัวของความหนาซึ่งค่ามาตรฐานได้กำหนดไว้ที่ไม่เกิน 12% ในมาตรฐาน JIS A 5908 และที่ 14% ในมาตรฐาน มอก.876 ซึ่งทั้งสองมาตรฐานมีขั้นตอนในการทดสอบแตกต่างกันสำหรับเวลาในการทดสอบแช่น้ำของมาตรฐาน JIS A 5908 แช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และแช่น้ำ 1 ชั่วโมงในมาตรฐาน มอก.876 ซึ่งผลจากการทดสอบมีทั้ง 7 สูตรที่ผ่านได้แก่

1. L15A3P0 Eucalyptus
2. T15A0P0 Eucalyptus
3. T15A1P0 Eucalyptus

4. T15A3P0 Eucalyptus
5. T15A0P1 Eucalyptus
6. T15A3P1 Eucalyptus
7. T15A5P1 Eucalyptus

กาวทุกสูตรที่สามารถผ่านค่ามาตรฐานแล้วแต่เป็นแผ่นไม้พาร์ทิเคิลที่ขึ้นมาจากไม้ยูคาลิปตัสค่าที่ได้จากการทดสอบอยู่ในช่วง 5.54 – 10.34% เนื่องมาจากชิ้นไม้ยูคาลิปตัสมีลักษณะที่เป็นเส้นและค่อนข้างแข็งจึงทำให้น้ำซึมผ่านและดูดซับน้ำได้ไม่ค่อยดี ในทางกลับกันลักษณะของชิ้นไม้ยางพารามีลักษณะ โคงมันและนุ่มเหมือนขี้เลื่อยจึงเป็นสาเหตุที่ทำให้สามารถดูดซับน้ำได้ค่อนข้างดี จึงเป็นสาเหตุทำให้แผ่นไม้พาร์ทิเคิลที่ขึ้นจากไม้ยางพาราจึงไม่สามารถผ่านตามค่ามาตรฐานที่กำหนด จึงสามารถสรุปได้ว่าปัจจัยที่สำคัญที่ทำให้การพองตัวของความหนาเพิ่มขึ้นมาจากชนิดของชิ้นไม้ที่นำมาขึ้นรูป ซึ่งสามารถยืนยันได้จากในกรณีที่ขึ้นรูปจากกาวสูตรเดียวกันแต่ต่างชนิดของไม้พบว่าแผ่นไม้ที่ขึ้นรูปจากไม้ยูคาลิปตัสสามารถผ่านมาตรฐาน สำหรับแผ่นไม้พาร์ทิเคิลที่ขึ้นรูปจากไม้ยางพาราจะมีค่าการพองตัวของความหนามากกว่า

ตารางที่ 4.6 ค่าการทดสอบของแผ่นไม้พาร์ทิเคิลจากสูตรกาวที่ดีที่สุด

สูตร	Bending stress (MPa)	Bending modulus (MPa)	Internal bonding (MPa)	Density kg/m ³ (มอก)	Density kg/m ³ (JIS)	Moisture content % (มอก)	Moisture content % (JIS)	Swelling %	
								มอก	JIS
T15B3P1 (R2)	15.5	2267	2.6	760	807	13.0	8.1	37	54
JIS A 5908	8	2000	0.3	400-900		5-13		8	
มอก.876	14	1800	0.4	400-900		5-13		12	

หมายเหตุ : แผ่นไม้พาร์ทิเคิลขึ้นรูปจากชิ้นไม้ยางพาราเบอร์ 2

จากตารางที่ 4.6 แสดงค่าสมบัติต่างๆของแผ่นไม้พาร์ทิเคิล จากการศึกษปัจจัยต่างๆ ที่ได้ทำการศึกษาและปรับเปลี่ยนทำให้ได้กาวสูตรที่เหมาะสมที่สุดคือกาวที่ใช้ไขมันทั้งและใส่สารตัวเติมซิลิกา 3 phr รวมถึงใส่ตัวเร่งปฏิกิริยาโดยขึ้นรูปด้วยไม้ยางพารา หลังจากนั้นได้นำกาวสูตรที่ดีที่สุดมาขึ้นรูปแผ่นไม้พาร์ทิเคิลเพื่อทดสอบคุณสมบัติต่างๆของแผ่นไม้พาร์ทิเคิล โดยที่ค่าที่ได้จากการทดสอบผ่านค่ามาตรฐานที่ใช้ทดสอบทุกสมบัติในส่วนของของค่าความหนาแน่นของแผ่นไม้พาร์ทิเคิลสามารถผ่านค่ามาตรฐานที่กำหนดทั้งสองมาตรฐาน JIS A 5908 และ มอก.876 โดยค่า

ความหนาแน่นที่ทดสอบได้อยู่ที่ประมาณ $622.8 - 878.8 \text{ kg/m}^3$ ซึ่งอยู่ในช่วงมาตรฐานที่กำหนดไว้ที่ $400 - 900 \text{ kg/m}^3$ ซึ่งผลของความหนาแน่นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ความดัน อุณหภูมิและเวลาในการกดอัดรวมถึงชนิดของกาวและชนิดของไม้ สำหรับค่าความชื้นของแผ่นไม้พาร์ทิเคิลที่ได้จากการขึ้นรูปด้วยกาวที่ศึกษาซึ่งค่าความชื้นที่ได้จากการทดสอบอยู่ในช่วง $1.3 - 13.0\%$ ซึ่งสามารถผ่านค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ในช่วง $5 - 13\%$ ซึ่งปัจจัยอีกปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความชื้นคือชนิดของไม้ เนื่องจากไม้ต่างชนิดกันก็มีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกันออกไป จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้ความสามารถดูดความชื้นที่ต่างกันจากการศึกษาแผ่นไม้พาร์ทิเคิลที่ขึ้นรูปด้วยไม้ยางพารามีค่าความชื้นที่สูงกว่าไม้ยูคาลิปตัส

ค่าความต้านทานแรงดัดโค้งงอ 3 จุดที่ได้จากกาวที่มีส่วนผสมของสารตัวเติมซิลิกาจะส่งผลดีขึ้นเมื่อมีปริมาณของซิลิกาเพิ่มขึ้น แต่ที่ 5 phr ผลค่าความต้านทานแรงดัดโค้งงอ 3 จุดลดลงเนื่องมาจากเป็นปริมาณที่มากเกินไปจนทำให้ซิลิกาอาจจะเกาะหรือรวมตัวกันเป็นก้อนและไปขัดขวางการเชื่อมโยงในเนื้อกาวทำให้สมบัติของกาวลดลงและในสูตรของกาวที่เหมาะสมที่สุดจากการศึกษาให้ค่าความแข็งแรงดัดโค้งงอ 3 จุด 15.5 MPa ซึ่งผ่านค่ามาตรฐานค่อนข้างมากค่ามาตรฐานกำหนดไว้ที่ไม่ต่ำกว่า 8 MPa และ 14 MPa ตามมาตรฐาน JIS A5908 และ มอก.876 ตามลำดับ ทั้งนี้ในส่วนของคุณสมบัติค่ามอดูลัสของแผ่นไม้พาร์ทิเคิลที่ขึ้นรูปจากกาวที่ศึกษาสามารถผ่านค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ต้องไม่ต่ำกว่า 1800 MPa และ 2000 MPa ตามมาตรฐานมอก.876 และ JIS A 5908 ตามลำดับ ค่าที่ได้จากการทดสอบอยู่ที่ 2267 MPa เหตุผลที่ทำให้ค่าความต้านทานแรงดัดโค้งงอและค่ามอดูลัสแสดงค่าที่สูงและสามารถผ่านค่ามาตรฐานได้มาจากการเกิดการเชื่อมโยงพันธะทางเคมีของหมู่ไฮดรอกซิลใน PVA เชื่อมโยงกับหมู่ไฮดรอกซิลในซิลิกา รวมไปถึงการเชื่อมโยงของหมู่ไฮดรอกซิลในเซลลูโลสในไม้เชื่อมโยงกับหมู่ไฮดรอกซิลในกาว ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เพิ่มความแข็งแรงและรวมไปถึงสมบัติอื่นๆ เพิ่มขึ้นด้วย

ในส่วนของคุณสมบัติความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าจากการทดสอบแผ่นไม้พาร์ทิเคิลที่ขึ้นรูปจากกาวสูตรที่ดีที่สุดยังคงสามารถผ่านค่ามาตรฐานเช่นกันจากค่าที่ได้จากการทดสอบได้ค่าแรงต้านทานตั้งฉากกับผิวหน้า 2.6 MPa ซึ่งค่ามาตรฐานกำหนดไว้ที่ 0.3 MPa และ 0.4 MPa ตามมาตรฐาน JIS A5908 และ มอก.876 ตามลำดับ เหตุผลที่ทำให้ได้ค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าเพิ่มสูงขึ้นยังคงเป็นเหตุผลเดียวกับแรงดัดโค้งงอและค่ามอดูลัสและรวมถึงการเกิดปฏิกิริยา Trans-esterification ระหว่างหมู่เอสเทอร์ของน้ำมันชักแห้งธรรมชาติและหมู่ไฮดรอกซิลใน PVA และสารตัวเติมซิลิกา ซึ่งทำให้กาวมีสมบัติที่ดีขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับกาวสูตรต่างๆ

สมบัติสุดท้ายที่จะกล่าวถึงคือการพองตัวทางความหนาในสมบัตินี้จากการศึกษากาวที่ทำการศึกษามีทั้งสูตรที่ผ่านและไม่ผ่านค่ามาตรฐานที่กำหนด สาเหตุหลักที่มีผลต่อสมบัติในกรณีที่ใช้กาวสูตรเดียวกันแต่ต่างชนิดกันของไม้จะเห็นได้ชัดว่าชนิดของไม้เป็นอีกปัจจัยหนึ่ง แผ่นไม้พาร์ทิเคิลที่ขึ้นรูปด้วยกาวสูตรเดียวกันแต่ต่างชนิดไม้กันจะเห็นได้ว่าไม้ยางพาราจะมีการพองตัว

ทางความหนาที่มากกว่าทั้งนี้เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของชิ้นไม้ ซึ่งลักษณะของชิ้นไม้
ยางพาราค่อนข้างนิ่มและกลวงจึงทำให้เมื่อทำการทดสอบการพองตัวทางความหนาจึงสามารถดูด
ซับน้ำได้ดีกว่าไม้ยูคาลิปตัสซึ่งมีลักษณะเป็นเสี้ยนไม้ที่มีลักษณะแข็งและค่อนข้างเนื้อไม้แน่นกว่า
ไม้ยูคาลิปตัสซึ่งทำให้ดูดซับน้ำได้ไม่ดีเท่าไม้ยางพารา

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการเตรียมกาวผสม ไม้ปราศจากฟอร์มาลดีไฮด์ จากพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ที่ทำการปรับปรุงสมบัติด้วยน้ำมันชักแห้งธรรมชาติได้แก่ น้ำมันทังและน้ำมันลินสีด เนื่องจากน้ำมันทังสามารถเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยง โดยมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นกรดอิลิโอสเตอริกซึ่งมีพันธะคู่ 3 พันธะอยู่ในรูปคอนจูเกต จึงทำให้สามารถเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงได้อย่างรวดเร็ว และมีความแข็งแรง โดยในการเตรียมกาวผสมสูตรมีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา ตัวริเริ่มปฏิกิริยา และสารตัวเติมซลิคา ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่ากาวสูตรที่มีน้ำมันทังเป็นองค์ประกอบให้ค่าความแข็งแรงที่ดีกว่าสูตรที่มีน้ำมันลินสีดเป็นองค์ประกอบ

เมื่อได้กาวผสมสูตรแล้วนำมาศึกษาผลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อสมบัติของแผ่น ไม้พาร์ทิเคิล โดยนำไปเทียบตามมาตรฐานมอก.876 และ JIS A 5908 ซึ่งได้ผลการทดลองโดยสรุปดังนี้

- ผลของชนิดของน้ำมันชักแห้งธรรมชาติระหว่างน้ำมันทังและน้ำมันลินสีด โดยน้ำมันทังให้สมบัติที่ดีกว่าน้ำมันลินสีดเนื่องจากน้ำมันมีตำแหน่งพันธะคู่ที่เป็นระบบคอนจูเกตแต่ในน้ำมันลินสีดไม่เป็นระบบคอนจูเกต
- ผลของการเติมและไม่เติมสารตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่าการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาช่วยทำให้สมบัติต่างๆ มีค่าสูง เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาช่วยทำให้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันในระบบเกิดได้ดียิ่งขึ้น
- ผลของปริมาณสารตัวเติมซลิคาที่ต่างกันพบว่าเมื่อมีปริมาณซลิคา 3 phr จะส่งผลให้ความแข็งแรงเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเติมซลิคาเพิ่มขึ้นเป็น 5 phr ค่าความแข็งแรงจะลดลงเนื่องจากสารตัวเติมซลิคาจับตัวกันเป็นกลุ่มจึงเกาะและขัดขวางการเกิดปฏิกิริยาของระบบ จึงสรุปได้ว่าภายใต้กรอบการวิจัยนี้ ปริมาณสารตัวเติมซลิคาที่ 3 phr เหมาะสมที่สุด
- ผลจากชนิดของไม้ที่นำมาขึ้นรูปเป็นแผ่นไม้พาร์ทิเคิลระหว่างไม้อยูคาลิปตัสและไม้อย่างพารา ผลจากการศึกษาไม้อย่างพาราให้ผลของสมบัติเชิงกลที่ดีกว่าไม้อยูคาลิปตัสซึ่งเป็นผลมาจากลักษณะทางกายภาพของขึ้นไม้อย่างพารามีลักษณะที่โค้งมนและนิ่มกว่าไม้อยูคาลิปตัส จึงทำให้ง่ายต่อการขึ้นรูปเป็นแผ่นไม้พาร์ทิเคิลและสามารถจัดเรียงตัวได้ดีกว่าไม้อยูคาลิปตัส

- ผลของชนิดสารตัวเติมซิลิกาได้แก่ ชนิด A และ B พบว่าชนิด B ให้ผลที่ดีกว่าเนื่องชนิด B มีขนาดอนุภาคเล็กกว่าและมีพื้นที่ผิวที่มากกว่าจึงทำให้ทำการผสมเข้ากับเนื้อกาวได้ดีและเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงด้วยพันธะไฮโดรเจนได้ดีกว่าชนิด A
- ผลจากขนาดของชิ้นไม้ที่นำมาขึ้นรูปเป็นแผ่นไม้พาร์ทิเคิลได้แก่ เบอร์ 1, 2, 3 และ 4 พบว่าไม้ขนาดเบอร์ 2 ให้ค่าความแข็งแรงที่ดีที่สุดเนื่องจากชิ้นไม้มีขนาดที่ไม่ใหญ่เกินไปและเล็กเกินไป เมื่อขึ้นรูปเป็นแผ่นพาร์ทิเคิลแล้วสามารถรับแรงได้ดีกว่าขนาดอื่นๆ
- ผลจากน้ำมันผสมโดยทำการผสมน้ำมันทั้งและน้ำมันลินสีดในอัตราส่วนต่างๆคือ T5L10, T7.5L7.5 และ T10L5 ผลจากการทดสอบสมบัติต่างๆแผ่นไม้พาร์ทิเคิลที่ขึ้นรูปด้วยกาวสูตรที่ใช้ น้ำมันผสมสามารถผ่านค่ามาตรฐานที่กำหนดได้ทั้งสองมาตรฐานพบว่าจะให้ค่าสูงในกรณีที่มีอัตราส่วนของน้ำมันทั้งที่มากกว่า

ข้อเสนอแนะ

1. ปรับเปลี่ยนชนิดของน้ำมันชักแห้งเนื่องจากน้ำมันทั้งมีราคาค่อนข้างสูง หายาก มีกลิ่นฉุน และสีเข้มจึงควรมีการปรับเปลี่ยนหรือลดปริมาณการใช้
2. พัฒนาสูตรกาวให้มีความทนความชื้นที่สูงขึ้น โดยอาจจะเพิ่มค่า Solid content (%) หรือเติมสารที่ไม่ชอบน้ำเข้าไปในสูตรกาว
3. พัฒนาสูตรกาวให้มีเสถียรภาพที่ยาวนานเพิ่มขึ้นเพื่อยืดอายุการใช้งาน
4. ปรับเปลี่ยนวัตถุดิบในการขึ้นรูปแผ่นพาร์ทิเคิล เช่น กระดาษ
5. นำแผ่นไม้ที่ได้จากการขึ้นรูปด้วยกาวที่ศึกษาตรวจสอบการปลดปล่อยสารฟอร์มัลดีไฮด์ เพื่อเป็นการยืนยันการปราศจากสารฟอร์มัลดีไฮด์

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายภคพล ถักนาพรวิสิฐ
วัน เดือน ปีเกิด	10 มีนาคม พ.ศ. 2530
ที่อยู่	234/82 หมู่ที่ 1 ต.หนองกระทุ่ม อ.เมืองนครราชสีมา จ.นครราชสีมา 30000
ประวัติการศึกษา	2551 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ (หลักสูตรนานาชาติ) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 2555 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ (ทุนวิจัย มหาบัณฑิต สกว.) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ
ผลงานวิจัยการ	เรื่อง กาวติดไม้ไร้สารฟอร์มัลดีไฮด์จากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับน้ำมันชัก แห้งธรรมชาติสำหรับงานแผ่นพาร์ทิเคิล (FORMALDEHYDE-FREE WOOD ADHESIVE FROM POLY(VINYL ALCOHOL) AND NATURAL DRYING OIL FOR PARTICAL BOARD) ตีพิมพ์วารสาร มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ปีที่3 (ฉบับพิเศษที่ 2) มีนาคม 2554 Volume 3 เรื่อง ผลของสารตัวเติมซิลิกาต่อสมบัติเชิงกลในกาวปราศจากสารฟอร์มัล - ดีไฮด์สำหรับงานแผ่นไม้พาร์ทิเคิล (EFFECT OF SILICA ON MECHANICAL PROPERTIES OF PARTICAL BOARD USING FORMALDEHYDE-FREE ADHESIVE) The 8 th International Symposium on Advanced Materials in Asia Pacific Rim (ISAMAP) and International Workshop on Nanogrid Materials (IWNM) on November 2- 5 2011 at Novotel Ambassador Hotel Busan, Korea. เรื่อง กาวไม้ไร้สารฟอร์มัลดีไฮด์จากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับน้ำมันชักแห้ง ธรรมชาติสำหรับงานแผ่นพาร์ทิเคิล (EFFECT OF SILICA ON MECHANICAL PROPERTIES OF PARTICAL BOARD USING FORMALDEHYDE FREE ADHESIVE) การประชุมวิชาการ โครงการทุน

วิจัยมหาบัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ครั้งที่ 6 วันที่ 4-6
เมษายน พ.ศ.2555

เรื่อง กาวไม้ไร้สารฟอร์มัลดีไฮด์จากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับน้ำมันชักแห้ง
ธรรมชาติสำหรับงานแผ่นพาร์ทิเคิล (EFFECT OF SILICA ON
MECHANICAL PROPERTIES OF PARTICAL BOARD USING
FORMALDEHYDE FREE ADHESIVE) การประชุมวิชาการ โครงการ
ปริญญาเอกกาญจนาภิเษก ครั้งที่ 13 วันที่ 6-8 เมษายน พ.ศ.2555

เอกสารอ้างอิง

- [1] RTY9. “กำหนดและระเบียบการปลดปล่อยสารฟอร์มาลดีไฮด์” 2552. [Online]. Available :
<http://www.ryt9.com/s/prg/510610/>
- [2] Green.in.th. “ตามหาฟอร์มาลดีไฮด์” 2552. [Online]. Available :
<http://www.green.in.th/node/1252>
- [3] Scribd. “**Non toxic legislation for laminate and wood flooring**” 2552. [Online]. Available :
<http://www.scribd.com/doc/2385618/NON-TOXIC-LEGISLATION-FOR-LAMINATE-AND-WOOD-FLOORING>
- [4] Forest.go.th. “**Adhesive**” 2552. [Online]. Available :
<http://www.forest.go.th/Forprod/WoodComposite/adhesiveweb/kind.htm>
- [5] Polymer chemistry. “แนวคิดพื้นฐานและเคมีพอลิเมอร์” 2550. [Online]. Available :
http://www.sci.buu.ac.th/~chemistry/staff/thanida/Polymer_Chemistry/image_files/chapter_1_11.html
- [6] Mtec. “พอลิไวนิลแอลกอฮอล์” 2550. [Online]. Available :
<http://www.mtec.or.th/labs/mech/tips16.html>
- [7] Pttchemical. “พอลิไวนิลแอลกอฮอล์” 2549. [Online]. Available :
<http://www.pttchemical.com/library/dictionary/polyvinylalcohol/index.shtml>
- [8] มาลินี ชัยสุภกิจสินธ์. “เคมีพอลิเมอร์” กรุงเทพฯ. โครงการตำราคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2540
- [9] ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์. “เคมีพอลิเมอร์พื้นฐาน” กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. 2527
- [10] อรุญา สรวารี. สารเคลือบผิว. กรุงเทพฯ. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2542
- [11] Cyberlab. “น้ำมันชักแห้งธรรมชาติ” 2548. [Online]. Available :
<http://cyberlab.lh1.ku.ac.th/elearn/faculty/veterin/vet69/Biochemistry%20Web%20Job/lipid/fatty%20acid.htm>
- [12] Matchon. “น้ำมันชักแห้งธรรมชาติ” 2548. [Online]. Available :
http://www.matchon.co.th/matchon/view_news.php?newsid=01cho04190952§ionid=0144&day=2009-09-19
- [13] เกษตรพอเพียง. “น้ำมันชักแห้งธรรมชาติ” 2548. [Online]. Available :
www.kasetporpeang.com/forums/index.php?topic=5782.0
- [14] Google. “น้ำมันทัง” 2550. [Online]. Available :
<http://www.thewoodworks.com.au/site/datasheets/tungoil.html>

- [15] การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดในน้ำมัน. 2548. ASTM D 1639: Standard Method for Acid Value of Organic Materials
- [16] ค่าสะพอนิฟิเคชันของน้ำมัน. 2548. ASTM D 1962: Standard Test Method for Saponification Value of Drying Oils, Fatty Acids, and Polymerized Fatty Acids
- [17] ค่าไฮดรอกซิล. 2548. ASTM D 1957: Standard Test Method for Hydroxyl Value of Fatty Oils and Acids
- [18] Wikipedia. “**Linseed oil**” 2548. [Online]. Available :
http://en.wikipedia.org/wiki/Drying_oil
- [19] Wikipedia. “**Linseed oil**” 2548. [Online]. Available :
http://en.wikipedia.org/wiki/Linseed_oil
- [20] Vcharkarn. “**เส้นใยลินิน**” 2550. [Online]. Available :
<http://www.vcharkarn.com/vcafe/62564>
- [21] Wikipedia. “**Linseed oil**” 2550. [Online]. Available :
http://en.wikipedia.org/wiki/Linseed_oil
- [22] Wikipedia. “**Tung oil**”.2550. [Online]. Available : http://en.wikipedia.org/wiki/Tung_oil
- [23] Dss.go.th. “**สารลดแรงตึงผิว**” 2550. [Online]. Available : http://www.dss.go.th/dssweb/st-articles/files/cp_7_2548_surfactant.pdf
- [24] Wikipedia. “**สารลดแรงตึงผิว**” 2550. [Online]. Available :
http://en.wikipedia.org/wiki/Sodium_lauryl_sulfate
- [25] Thaigoodview. “**ตัวเร่งปฏิกิริยา**” 2550. [Online]. Available :
<http://www.thaigoodview.com/library/teachershow/nongkhai/onuma-b/chemical/sec01p16.htm> .
- [26] Wikipedia. “**P-Toluenesulfonic acid**” 2550. [Online]. Available :
http://en.wikipedia.org/wiki/P-Toluenesulfonic_acid
- [27] Wikipedia. “**Potassium persulfate**” 2550. [Online]. Available :
http://en.wikipedia.org/wiki/Potassium_persulfate
- [28] ชีรศักดิ์ พรหมเทพ รายงานการวิจัยเรื่อง “**การศึกษาพฤติกรรมการกระจายตัวของซิลิกาจากซีเมนต์ แกลบข้าว**” สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พฤษภาคม 2548, หน้า 3-9
- [29] Thaiwood. “**ไม้**” 2550. [Online]. Available : <http://www.thaiwoodcentral.com/>
- [30] Material Chula. “**ไม้**” 2550. [Online]. Available :

<http://www.material.chula.ac.th/RADIO44/june/radio6-9.htm>

- [31] Wikipedia. "Silica" 2550. [Online]. Available : <http://en.wikipedia.org/wiki/Silica>
- [32] Baannatura. "ไม้" 2550. [Online]. Available :
<http://www.baannatura.com/th/mat/content/detail/114.html>
- [33] ณัฐชา ปานสกุล "การปรับปรุงสมบัติเชิงกลและการต้านทานน้ำของกาวอะครีเลตพอลิยูรีเทนด้วยน้ำมันลินสีด". 2550. คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [34] S.H. Imam, S.H. Gondon and L. Mao and L. Chen. "Environmentally friendly wood adhesive form a renewable plant polymer: characteristics and optimization". 2008. Polymer Degradation and Stability 73 (2001) 529-533.
- [35] S. Tharhate and J. Ngamcharoenthavorn. "Water-resistant enhancement of Drying oil Modified Poly (vinyl alcohol)". 2007. Special Project Book International programs, Faculty of science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang.
- [36] N. Rattanaapiromyakit and P. Lakkanapornwisit. "Preparation and modification of wood-adhesive using PVOH and natural-drying oil". 2008. Special Project Book International programs, Faculty of science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang.
- [37] G.XU, Bai-liang ZHANG, Sheng-yong LIU and Jian-zhi YUE. "Study on Immobilized Lipase Catalyzed Transesterification Reaction of Tung Oil". 2008. Agricultural Sciences in China 5 (2006) 859-864.
- [38] S.Yadav, F.Zafar, A.Hasnat and S.Ahmad "Poly (urethane fatty amide) resin from linseed oil - A renewable resource". 2008. Organic Coatings 64 (2009) 27-32.
- [39] Z.O. Oyman, W. Ming and R. van der Linde. "Oxidation of drying oils containing non-conjugated and conjugated double bonds catalyzed by a cobalt catalyst". 2008. Organic Coatings 54 (2005) 198-204.
- [40] วรวิทย์ ชุ่มชื่น. "การพัฒนากาวติดไปราศจากสารพอร์มัลดีไฮด์จากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปรับปรุงด้วยน้ำมันทั้ง" 2552. วิทยานิพนธ์ สาขาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [41] นพรัตน์ พรพรรณ และรัตนพร ทองสุข. "การเตรียมนกาวติดไม้ไปราศจากสารพอร์มัลดีไฮด์จากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และน้ำมันทั้ง" 2552. โครงการพิเศษ สาขาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[42] มาตรฐานแผ่นพาร์ทิเคิล. 2550. JIS Japanese industrial standard JIS A 5908

[43] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นซีเมนต์อัดชนิดราบ. 2550. มอก.876-2547

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

มาตรฐานการทดสอบแผ่นไม้พาร์ทิเคิล

ตารางที่ ก - 1 มาตรฐาน มอก.876

หมายเหตุ * 1 MPa = 1 N/mm²

ลำดับที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด
		ความหนา มิลลิเมตร
		เกิน 0.6 ถึง 13.0
1	ค่าความหนาแน่น (kg/m ³)	400 - 900
2	ค่าความชื้น(%) ไม่เกิน	13
3	การพองตัวทางความหนา(%) ไม่เกิน	12
4	ความต้านทานแรงดัด MPa * ไม่น้อยกว่า	14
5	มอดุลัสยืดหยุ่น MPa ไม่น้อยกว่า	1800
6	ความต้านทานแรงดัดตั้งฉากกับผิวหน้า MPa ไม่ต่ำกว่า	0.4

ภาคผนวก ข.

มาตรฐานการทดสอบแผ่นไม้พาร์ทิเคิล

ตารางที่ ก - 2 มาตรฐาน JIS A 5908

ลำดับที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด
		ความหนา มิลลิเมตร
		เกิน 6.0 ถึง 13.0
1	ค่าความหนาแน่น (kg/m ³)	400 - 900
2	ค่าความชื้น(%) ไม่เกิน	13
3	การพองตัวตามความหนา(%) ไม่เกิน	12
4	ความต้านทานแรงคัด โค้งงอ 3 จุด ไม่ต่ำกว่า	8
5	มอดุลัสยืดหยุ่น MPa ไม่ต่ำกว่า	2000
6	ความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า MPa ไม่ต่ำกว่า	0.3

ภาคผนวก ก.

ผลการทดสอบสมบัติของกาว

ตารางที่ ก-1 ค่าความหนืด

ลำดับที่	สูตรกาว	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	เฉลี่ย
0	L15A0P0	78	80	76	78
	L15A1P0	89	87	90	89
	L15A3P0	90	91	93	91
	T15A0P0	93	95	96	95
	T15A1P0	108	103	113	108
	T15A3P0	82	80	79	80
	T15A5P0	141	145	145	143
	T15A0P1	124	126	128	126
	T15A1P1	157	142	160	153
	T15A3P1	169	167	168	168
	T15A5P1	209	201	198	203
	L15A0P1	93	107	91	97
	L15A1P1	101	98	105	101
	L15A3P1	112	123	101	112
	L15A5P1	164	160	143	155
	T15B1P1	205	201	199	201
	T15B3P1	268	265	255	262
	T15B5P1	305	300	298	301
	L15B1P1	102	105	99	102
	L15B3P1	120	116	121	118
	L15B5P1	187	208	218	204
T5L10B3P1	167	187	198	184	

ลำดับที่	สูตรการ	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	เฉลี่ย
	T7.5L7.5B3P1	189	201	193	194
	T10L5B3P1	220	224	211	218
1	L15A0P0	101	113	98	104
	L15A1P0	102	98	115	105
	L15A3P0	139	141	136	92
	T15A0P0	143	157	159	153
	T15A1P0	165	163	173	167
	T15A3P0	178	173	168	173
	T15A5P0	197	187	195	193
	T15A0P1	179	164	159	167
	T15A1P1	201	196	210	202
	T15A3P1	217	201	198	205
	T15A5P1	263	265	258	262
	L15A0P1	156	154	173	161
	L15A1P1	165	145	163	157
	L15A3P1	163	173	163	166
	L15A5P1	215	213	201	209
	T15B1P1	271	267	254	264
	T15B3P1	268	320	312	300
	T15B5P1	367	387	367	373
	L15B1P1	125	143	154	140
	L15B3P1	167	172	189	176
	L15B5P1	235	278	267	260
	T5L10B3P1	178	267	279	241
	T7.5L7.5B3P1	197	278	287	254

ลำดับที่	สูตรการ	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	เฉลี่ย
	T10L5B3P1	231	278	275	261
2	L15A0P0	156	164	153	158
	L15A1P0	167	156	168	164
	L15A3P0	178	198	198	191
	T15A0P0	217	213	223	218
	T15A1P0	231	247	254	244
	T15A3P0	310	321	309	313
	T15A5P0	324	318	321	321
	T15A0P1	347	356	351	351
	T15A1P1	351	370	364	362
	T15A3P1	347	369	351	356
	T15A5P1	371	389	368	376
	L15A0P1	287	299	312	299
	L15A1P1	230	254	241	242
	L15A3P1	241	251	253	248
	L15A5P1	276	287	279	281
	T15B1P1	429	439	449	439
	T15B3P1	560	535	561	552
	T15B5P1	630	615	624	623
	L15B1P1	331	321	317	323
	L15B3P1	128	135	123	304
	L15B5P1	216	218	221	291
	T5L10B3P1	457	444	423	441
	T7.5L7.5B3P1	390	413	426	410
T10L5B3P1	408	419	401	409	

ลำดับที่	สูตรการ	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	เฉลี่ย
3	L15A0P0	316	321	311	316
	L15A1P0	323	327	341	330
	L15A3P0	378	383	367	376
	T15A0P0	432	436	441	436
	T15A1P0	461	463	456	460
	T15A3P0	630	641	623	631
	T15A5P0	651	654	673	659
	T15A0P1	689	693	679	687
	T15A1P1	702	700	711	704
	T15A3P1	368	364	356	363
	T15A5P1	721	732	745	733
	L15A0P1	480	498	475	484
	L15A1P1	589	567	573	576
	L15A3P1	490	487	496	491
	L15A5P1	523	532	543	533
	T15B1P1	1280	1297	1263	1280
	T15B3P1	1009	1108	1302	1140
	T15B5P1	1230	1253	1162	1215
	L15B1P1	672	683	665	673
	L15B3P1	592	587	605	595
	L15B5P1	450	463	471	461
	T5L10B3P1	983	997	952	977
	T7.5L7.5B3P1	762	786	778	775
	T10L5B3P1	875	889	863	876

ลำดับที่	สูตรการ	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	เฉลี่ย
4	L15A0P0	612	615	623	617
	L15A1P0	662	656	661	660
	L15A3P0	725	714	734	724
	T15A0P0	875	871	841	862
	T15A1P0	981	972	1002	985
	T15A3P0	1320	1297	1313	1310
	T15A5P0	1323	1470	1423	1405
	T15A0P1	1456	1603	1525	1528
	T15A1P1	1454	1431	1532	1472
	T15A3P1	765	789	761	772
	T15A5P1	1473	1436	1452	1454
	L15A0P1	996	1072	1162	1077
	L15A1P1	1208	1204	1265	1226
	L15A3P1	974	962	991	976
	L15A5P1	1142	1146	1165	1151
	T15B1P1	2418	2438	2532	24623
	T15B3P1	1922	2001	1978	1976
	T15B5P1	2176	2143	2219	2179
	L15B1P1	1437	1456	1345	1413
	L15B3P1	1009	1018	1043	1023
	L15B5P1	980	1043	1002	1008
	T5L10B3P1	1898	1982	1987	1956
	T7.5L7.5B3P1	1687	1654	1872	1738
	T10L5B3P1	1876	1985	1791	1884

ลำดับที่	สูตรการ	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	เฉลี่ย
5	L15A0P0	1308	1342	1530	1393
	L15A1P0	1378	1353	1340	1357
	L15A3P0	1786	1876	1953	1871
	T15A0P0	1987	2001	2043	2010
	T15A1P0	1976	2087	2109	2057
	T15A3P0	2309	2420	2453	2394
	T15A5P0	2658	2675	2590	2641
	T15A0P1	2786	2908	2865	2853
	T15A1P1	2986	3030	3016	3011
	T15A3P1	2907	3010	3002	2973
	T15A5P1	3189	3200	3018	3136
	L15A0P1	2019	2026	2430	2158
	L15A1P1	2507	2561	2419	2496
	L15A3P1	2190	2310	2650	2383
	L15A5P1	2598	2641	2863	2701
	T15B1P1	3235	3365	3426	3341
	T15B3P1	3560	3587	3642	3596
	T15B5P1	3976	3952	4023	3984
	L15B1P1	2878	3092	2981	2984
	L15B3P1	2005	2051	2092	2049
	L15B5P1	1908	1921	2097	1975
	T5L10B3P1	3788	3897	3981	3889
	T7.5L7.5B3P1	3191	3256	3128	3192
T10L5B3P1	3237	3187	3218	3214	

ลำดับที่	สูตรการ	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	เฉลี่ย
6	L15A0P0	2785	2658	2764	2736
	L15A1P0	2754	2643	2638	2678
	L15A3P0	3569	3608	3452	3543
	T15A0P0	3867	3764	3732	3788
	T15A1P0	3876	3853	3821	3850
	T15A3P0	4305	4316	4242	4288
	T15A5P0	4609	4601	4708	4639
	T15A0P1	4656	4612	4625	4631
	T15A1P1	4987	4924	4862	4924
	T15A3P1	4975	4980	4782	4912
	T15A5P1	4803	4852	4815	4823
	L15A0P1	4234	4378	4450	4354
	L15A1P1	4789	4570	4736	4698
	L15A3P1	4298	4320	4427	4348
	L15A5P1	4895	4824	4893	4871
	T15B1P1	4076	4035	4083	4065
	T15B3P1	4834	4754	4785	4791
	T15B5P1	4536	4340	4721	4532
	L15B1P1	4063	4123	4160	4115
	L15B3P1	2988	3001	3012	3000
	L15B5P1	3863	3843	3901	3869
	T5L10B3P1	4365	4134	3908	4136
	T7.5L7.5B3P1	4210	4208	4198	4205
	T10L5B3P1	4625	4610	4619	4618

ตารางที่ ค – 2 solid content (%)

สูตรกาว	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	เฉลี่ย
L15B0P1	27.7	27.9	27.8	27.8
L15B1P1	28.3	28.5	28.6	28.5
L15B3P1	29.7	29.7	29.8	29.7
L15B5P1	31.1	30.9	30.7	30.9
T15B0P1	27.6	27.4	27.9	27.6
T15B1P1	26.0	26.0	26.0	26.0
T15B3P1	43.3	34.0	38.6	38.6
T15B5P1	30.9	30.8	30.9	30.9
T10L5B3P1	27.9	27.9	28.0	27.9
T7.5L7.5B3P1	30.7	30.4	30.1	30.4
T5L10B3P1	30.2	29.7	29.9	29.9

ตารางที่ ค-3 การบวมตัวของฟิล์มกาว (%) (มาตรฐาน มอก.876, 1 ชั่วโมง)

สูตรกาว	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	เฉลี่ย
L15B0P1	0.3	0.4	0.3	0.3
L15B1P1	0.5	0.5	0.5	0.5
L15B3P1	0.5	0.5	0.5	0.5
L15B5P1	0.6	0.6	0.6	0.6
T15B0P1	0.4	0.4	0.4	0.4
T15B1P1	0.5	0.4	0.5	0.5
T15B3P1	0.6	0.6	0.6	0.6
T15B5P1	0.5	0.5	0.5	0.5
T10L5B3P1	0.5	0.6	0.5	0.5
T7.5L7.5B3P1	0.4	0.4	0.4	0.4
T5L10B3P1	0.4	0.4	0.0	0.4

ตารางที่ ค-4 % การบวมตัวของฟิล์มกาว (มาตรฐาน JIS A 5908 , 24 ชั่วโมง)

สูตรกาว	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	เฉลี่ย
L15B0P1	0.4	0.4	0.4	0.4
L15B1P1	0.5	0.5	0.5	0.5
L15B3P1	0.5	0.5	0.5	0.5
L15B3P1	0.7	0.7	0.7	0.7
T15B0P1	0.5	0.5	0.5	0.5
T15B1P1	0.5	0.5	0.5	0.5
T15B3P1	0.7	0.7	0.7	0.7
T15B5P1	0.4	0.4	0.4	0.4
T10L5B3P1	0.5	0.6	0.6	0.6
T7.5L7.5B3P1	0.4	0.4	0.5	0.4
T5L10B3P1	0.5	0.4	0.5	0.5

ภาคผนวก ง.

ผลการทดสอบสมบัติของแผ่นพาร์ทิเคิล

ตารางที่ ง-1 ค่าความหนาแน่น (มาตรฐาน มอก.876)

สูตรกาว	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	แผ่นที่ 3	เฉลี่ย
L15A0P0(U2)	761	759	772	764
L15A1P0(U2)	653	670	689	671
L15A3P0(U2)	811	843	811	825
T15A0P0(U2)	620	626	623	623
T15A1P0(U2)	675	668	674	672
T15A3P0(U2)	698	710	715	708
T15A5P0(U2)	720	722	719	720
T15A0P1(U2)	715	728	730	725
T15A1P1(U2)	750	764	770	761
T15A3P1(U2)	793	776	788	786
T15A5P1(U2)	864	874	876	872
L15A0P1(R2)	734	737	729	734
L15A1P1(R2)	783	789	783	785
L15A3P1(R2)	664	671	667	668
L15A5P1(R2)	754	762	752	756
T15B1P1(R2)	742	762	747	750
T15B3P1(R2)	754	755	771	760
T15B5P1(R2)	799	780	808	796
T5L10B3P1(R2)	713	716	707	712
T17.5L7.5B3P1(R2)	729	734	731	731
T10L5B3P1(R2)	774	769	783	775

ตารางที่ ง-2 ค่าความหนาแน่น (มาตรฐาน JIS A 5908)

สูตรกาว	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	แผ่นที่ 3	เฉลี่ย
L15A0P0(U2)	712	720	711	714
L15A1P0(U2)	768	773	770	770
L15A3P0(U2)	706	710	708	708
T15A0P0(U2)	713	720	709	714
T15A1P0(U2)	681	686	688	685
T15A3P0(U2)	673	678	677	676
T15A5P1(U2)	670	672	668.3	670.1
T15A0P1(U2)	629	637	639	635
T15A1P1(U2)	731	718	722	724
T15A3P1(U2)	705	718	710	711
T15A5P1(U2)	747	758	757	754
L15A0P1(R2)	740	747	742	743
L15A1P1(R2)	799	802	801	801
L15A3P1(R2)	690	694	691	692
L15A5P1(R2)	808	819	819	815
T15B1P1(R2)	675	693	702	690
T15B3P1(R2)	812	787	822	807
T15B5P1(R2)	705	706	704	705
T5L10B3P1(R2)	811	819	821	817
T17.5L7.5B3P1(R2)	781	776	783	780
T10L5B3P1(R2)	772	771	769	771

ตารางที่ ง-3 ค่าความชื้น (มาตรฐาน มอก.876)

สูตรกาว	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	แผ่นที่ 3	เฉลี่ย
L15A0P0(U2)	2.1	2.1	1.9	2.0
L15A1P0(U2)	2.02	2.08	2.0	2.0
L15A3P0(U2)	2.3	2.3	2.2	2.3
T15A0P0(U2)	2.9	2.9	2.9	2.9
T15A1P0(U2)	2.6	2.7	2.6	2.6
T15A3P0(U2)	1.8	1.8	1.8	1.8
T15A5P0(U2)	1.8	1.8	1.8	1.8
T15A0P1(U2)	4.3	4.5	4.4	4.4
T15A1P1(U2)	4.2	4.3	4.2	4.3
T15A3P1(U2)	4.4	4.4	4.4	4.4
T15A5P1(U2)	4.7	4.7	4.7	4.7
L15A0P1(R2)	2.0	2.0	2.0	2.0
L15A1P1(R2)	4.8	4.9	4.8	4.8
L15A3P1(R2)	1.7	1.7	1.7	1.7
L15A5P1(R2)	2.7	2.7	2.7	2.7
T5L10A3P1(R2)	4.1	4.2	4.2	4.2
T10L5A3P1(R2)	12.0	12.4	13.0	12.0
T7.5L7.5A3P1(R2)	1.9	1.9	1.9	1.9
T15B1P1(R2)	1.7	1.8	1.8	1.8
T15B3P1(R2)	11.8	12.9	12.8	12.5
T7.5L7.5B3P1(R2)	1.7	1.8	1.7	1.8

ตารางที่ ง-4 ค่าความชื้น (มาตรฐาน JIS A 5908)

สูตรกาว	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	แผ่นที่ 3	เฉลี่ย
L15A0P0(U2)	3.2	3.2	3.4	3.3
L15A1P0(U2)	2.3	2.1	2.4	2.3
L15A3P0(U2)	2.4	2.5	2.6	2.5
T15A0P0(U2)	1.8	1.9	1.9	1.9
T15A1P0(U2)	2.3	2.3	2.3	2.3
T15A3P0(U2)	1.8	1.9	1.9	1.9
T15A5P0(U2)	1.7	1.8	1.9	1.8
T15A0P1(U2)	4.8	4.9	4.9	4.9
T15A1P1(U2)	4.7	4.7	4.7	4.7
T15A3P1(U2)	4.7	4.8	4.8	4.8
T15A5P1(U2)	4.9	5.0	4.9	4.9
L15A0P1(R2)	1.8	1.8	1.9	1.8
L15A1P1(R2)	3.2	3.2	3.2	3.2
L15A3P1(R2)	1.2	1.3	1.2	1.2
L15A5P1(R2)	6.9	6.8	6.9	6.9
T5L10A3P1(R2)	3.6	3.7	3.6	3.6
T10L5A3P1(R2)	6.4	6.4	6.5	6.4
T7.5L7.5A3P1(R2)	1.7	1.6	1.8	1.7
T15B1P1(R2)	1.1	1.1	1.1	1.1
T15B3P1(R2)	8.1	8.1	8.1	8.1
T7.5L7.5B3P1(R2)	1.3	1.4	1.3	1.3

ตารางที่ ง-5 ค่าความต้านทานแรงดัด (มาตรฐาน มอก.876)

สูตรกาว	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	แผ่นที่ 3	เฉลี่ย
L15A0P0(U2)	5.5	5.9	5.8	5.7
L15A1P0(U2)	7.1	7.4	7.3	7.3
L15A3P0(U2)	8.7	8.7	9.1	8.9
T15A0P0(U2)	7.8	8.2	7.5	7.8
T15A1P0(U2)	9.1	8.5	8.9	8.8
T15A3P0(U2)	9.1	9.3	9.5	9.3
T15A5P0(U2)	7.2	7.1	7.0	7.1
T15A0P1(U2)	9.8	10.1	9.5	9.8
T15A1P1(U2)	9.9	11.0	10.6	10.5
T15A3P1(U2)	9.1	9.6	14.2	11.0
T15A5P1(U2)	9.7	9.5	10.3	9.8
T15A0P1(R2)	14.3	14.2	13.1	13.9
T15A1P1(R2)	15.4	14.2	16.1	15.3
T15A3P1(R2)	18.1	16.4	17.8	17.8
T15A5P1(R2)	12.4	12.4	12.3	12.4
T5L10A3P1(R2)	13.1	13.5	11.2	12.6
T10L5A3P1(R2)	13.9	13.7	13.0	13.5
T7.5L7.5A3P1(R2)	10.5	11.8	11.9	11.4
L15A0P1(R2)	11.9	11.2	9.8	11.0
L15A1P1(R2)	12.1	12.9	12.9	12.6
L15A3P1(R2)	13.2	13.2	13.1	13.2
L15A5P1(R2)	7.8	9.4	7.6	8.3
T15B1P1(R2)	15.7	15.9	16.0	15.9
T15B3P1(R2)	18.3	17.9	18.1	18.1

ตารางที่ ง-5 (ต่อ) ค่าความต้านทานแรงดัด (มาตรฐาน มอก.876)

สูตรกาว	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	แผ่นที่ 3	เฉลี่ย
T15B5P1(R2)	3.8	5.4	3.7	4.3
T5L10B3P1(R2)	8.5	8.3	10.7	9.2
T10L5B3P1(R2)	15.7	14.7	14.2	14.7
T7.5L7.5B3P1(R2)	13.0	12.0	14.0	13.0
T15B3P1(R1)	3.6	7.1	3.1	5.4
T15B3P1(R3)	11.3	13.2	13.3	12.6
T15B3P1(R4)	3.8	5.2	1.4	4.5
ค่ามาตรฐาน	มอก.876	≤ 14		
	JIS A5908	≤ 8		

ตารางที่ ง-7 ค่ามอดูลัสยืดหยุ่น (มาตรฐาน JIS มอก. 876)

สูตรการ	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	แผ่นที่ 3	เฉลี่ย
L15A0P0(U2)	852	1206	844	967
L15A1P0(U2)	1341	1374	1312	1342
L15A3P0(U2)	1403	1449	1642	1498
T15A0P0(U2)	1145	1287	1260	1230
T15A1P0(U2)	1283	1293	1272	1282
T15A3P0(U2)	1262	1033	1007	1101
T15A5P0(U2)	1078	1083	1073	1078
T15A0P1(U2)	1622	1952	1652	1742
T15A1P1(U2)	1616	1637	1274	1509
T15A3P1(U2)	1691	1603	1650	1648
T15A5P1(U2)	1760	1276	2102	1712
T15A0P1(R2)	2242	2240	2241	2241
T15A1P1(R2)	2476	2514	2552	2514
T15A3P1(R2)	3191	3155	3294	3213
T15A5P1(R2)	2132	2349	1497	2132
T5L10A3P1(R2)	2120	1931	1898	1983
T10L5A3P1(R2)	2932	2835	2698	2822
T7.5L7.5A3P1(R2)	2803	2287	3320	2803
L15A0P1(R2)	1597	1325	1870	1597
L15A1P1(R2)	1424	1540	1657	1540
L15A3P1(R2)	2521	2338	2155	2338
L15A5P1(R2)	1429	1543	1499	1521
T15B1P1(R2)	2751	2723	2779	2751
T15B3P1(R2)	2659	4259	2874	3264

ตารางที่ ง-7 (ต่อ) ค่ามอดูลัสยืดหยุ่น (มาตรฐาน JIS มอก.876)

สูตรการ	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	แผ่นที่ 3	เฉลี่ย
T15B5P1(R2)	2987	2927	2988	2967
T5L10B3P1(R2)	3329	3279	3995	3534
T10L5B3P1(R2)	2032	1805	1840	1892
T7.5L7.5B3P1(R2)	2969	2982	2969	2973
T15B3P1(R1)	2858	3010	3874	3247
T15B3P1(R3)	3091	3066	3066	3075
T15B3P1(R4)	3694	2648	3171	3171
ค่ามาตรฐาน	มอก.876	≤ 1800		
	JIS A5908	≤ 2000		

ตารางที่ ๙-๑ ค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า (มาตรฐาน มอก.876)

สูตรกาว	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	แผ่นที่ 3	เฉลี่ย
L15A0P0(U2)	0.3	0.2	0.3	0.3
L15A1P0(U2)	0.4	0.4	0.4	0.4
L15A3P0(U2)	0.3	0.6	0.4	0.4
T15A0P0(U2)	0.5	0.5	0.6	0.5
T15A1P0(U2)	0.6	0.6	0.5	0.6
T15A3P0(U2)	0.7	0.6	0.6	0.7
T15A5P0(U2)	0.4	0.5	0.4	0.4
T15A0P1(U2)	0.6	0.7	0.8	0.7
T15A1P1(U2)	0.8	0.8	0.5	0.7
T15A3P1(U2)	1.1	1.3	0.9	1.1
T15A5P1(U2)	0.6	0.4	0.7	0.5
T15A0P1(R2)	1.9	1.1	1.4	1.5
T15A1P1(R2)	1.6	1.6	1.5	1.6
T15A3P1(R2)	1.6	2.0	1.3	1.6
T15A5P1(R2)	1.0	1.2	1.2	1.1
T5L10A3P1(R2)	1.3	1.4	1.6	1.4
T10L5A3P1(R2)	1.6	1.4	1.7	1.6
T7.5L7.5A3P1(R2)	1.9	1.8	1.4	1.7
L15A0P1(R2)	0.8	0.7	0.9	0.8
L15A1P1(R2)	1.0	1.1	1.2	1.1
L15A3P1(R2)	1.8	1.7	1.9	1.8
L15A5P1(R2)	0.7	0.8	0.9	0.8
T15B1P1(R2)	1.4	1.7	2.0	1.7
T15B3P1(R2)	2.6	2.9	2.2	2.6

ตารางที่ ง-9 (ต่อ) ค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า (มาตรฐาน มอก.876)

สูตรกาว	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	แผ่นที่ 3	เฉลี่ย
T15B5P1(R2)	2.2	1.7	1.7	1.9
T5L10B3P1(R2)	1.8	1.9	1.9	1.9
T10L5B3P1(R2)	1.6	1.5	2.3	1.8
T7.5L7.5B3P1(R2)	1.5	1.7	1.7	1.5
T15B3P1(R1)	2.2	1.7	1.7	1.9
T15B3P1(R3)	1.2	1.3	1.1	1.2
T15B3P1(R4)	1.3	1.4	1.2	1.3
มาตรฐาน	มอก.876	$\leq 0.4 \text{ N/mm}^2$		
	JIS A5908	$\leq 0.3 \text{ N/mm}^2$		

ตารางที่ ง-11 ค่าการพองตัวของความหนา (มาตรฐาน มอก.876, 1 ชั่วโมง)

สูตรการ	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	แผ่นที่ 3	เฉลี่ย
L15A0P0(U2)	19.8	19.9	19.9	19.9
L15A1P0(U2)	14.8	14.9	14.8	14.9
L15A3P0(U2)	6.7	6.7	6.7	6.7
T15A0P0(U2)	7.3	7.4	7.4	7.4
T15A1P0(U2)	8.3	8.3	8.3	8.3
T15A3P0(U2)	5.5	5.5	5.6	5.5
T15A5P0(U2)	7.1	6.7	6.9	6.9
T15A0P1(U2)	6.3	6.2	6.3	6.3
T15A1P1(U2)	10.0	10.0	10.0	10.0
T15A3P1(U2)	7.2	7.2	7.3	7.3
T15A5P1(U2)	6.5	6.6	6.5	6.5
T15A0P1(R2)	18.7	19.8	20.9	19.9
T15A1P1(R2)	50.3	48.4	47.5	48.7
T15A3P1(R2)	29.3	30.5	31.4	30.4
T15A5P1(R2)	29.0	27.7	27.1	27.9
L15A0P1(R2)	59.0	59.0	59.0	59.0
L15A1P1(R2)	61.0	61.1	61.1	61.1
L15A3P1(R2)	66.2	66.3	66.2	66.2
L15A5P1(R2)	51.6	51.7	51.7	51.7
T5L10A3P1(R2)	37.5	37.6	37.5	37.5
T10L5A3P1(R2)	39.5	39.5	39.5	39.5
T7.5L7.5A3P1(R2)	31.8	31.8	31.9	31.9
T15B1P1(R2)	33.1	33.1	33.1	33.1
T15B3P1(R2)	36.7	36.7	36.7	36.7

ตารางที่ ง-11 (ต่อ) ค่าการพองตัวของความหนา (มาตรฐาน มอก.876, 1 ชั่วโมง)

T7.5L7.5B3P1(R2)	45.0	45.0	44.9	45.0
T15B3P1(R1)	56.3	54.3	57.1	55.9
T15B3P1(R3)	44.5	43.7	42.7	43.6
T15B3P1(R4)	12.9	10.9	11.5	11.7

ตารางที่ ง-12 ค่าการพองตัวของความหนา (มาตรฐาน JIS A 5908, 24 ชั่วโมง)

สูตรการ	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	แผ่นที่ 3	เฉลี่ย
L15A0P0(U2)	40.5	42.1	40.8	41.1
L15A1P0(U2)	36.7	36.8	37.8	36.8
L15A3P0(U2)	33.8	33.9	33.8	33.8
T15A0P0(U2)	49.5	49.5	49.5	49.5
T15A1P0(U2)	47.6	47.7	47.7	47.7
T15A3P0(U2)	44.7	44.7	44.7	44.7
T15A5P0(U2)	44.5	43.4	44.1	44.0
T15A0P1(U2)	39.7	39.7	39.7	39.7
T15A1P1(U2)	45.2	45.2	45.2	45.2
T15A3P1(U2)	40.9	41.0	41.0	41.0
T15A5P1(U2)	37.6	37.6	37.6	37.6
T15A0P1(R2)	39.2	41.0	42.3	41.1
T15A1P1(R2)	59.2	60.4	58.6	59.4
T15A3P1(R2)	32.1	30.6	28.2	30.4
T15A5P1(R2)	28.5	28.7	30.1	28.9
T5L10A3P1(U2)	45.3	45.3	45.3	45.3
T10L5A3P1(U2)	47.1	47.1	47.2	47.1
T7.5L7.5A3P1(U2)	36.5	36.5	36.5	36.5
L15A0P1(R2)	75.1	75.2	75.2	75.2
L15A1P1(R2)	72.5	72.5	72.5	72.5
L15A3P1(R2)	81.5	81.5	81.5	81.5
L15A5P1(R2)	61.8	61.8	61.8	61.8
T15B1P1(R2)	42.2	42.2	42.3	42.2
T15B3P1(R2)	53.9	54.0	54.0	54.0

ตารางที่ ง-12 (ต่อ) ค่าการพองตัวของความหนา (มาตรฐาน JIS A 5908, 24 ชั่วโมง)

T7.5L7.5B3P1(R2)	56.5	56.3	56.4	56.4
T15B3P1(R1)	71.2	68.9	69.7	69.9
T15B3P1(R3)	44.5	42.4	46.9	44.6
T15B3P1(R4)	18.9	19.9	22.4	20.4