

การพัฒนาการติดไม้ปราศจากฟอร์มาลดีไฮด์จากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์  
ปรับปรุงด้วยน้ำมันทัง

DEVELOPMENT OF FORMALDEHYDE-FREE WOOD ADHESIVE  
FROM POLY (VINYL ALCOHOL) MODIFIED WITH TUNG OIL

วรวิทย์ ชุ่มชื่น  
WORAWIT CHUMCHUEN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2553

KMITL-2010-SC-M-014-011

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การพัฒนากาวติดไม้ปราศจากฟอร์มาลดีไฮด์จากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์  
ปรับปรุงด้วยน้ำมันทัง

DEVELOPMENT OF FORMALDEHYDE – FREE WOOD ADHESIVE  
FROM POLY(VINYL ALCOHOL) MODIFIED WITH TUNG OIL



วรวิทย์ ชุ่มชื่น

WORAWIT CHUMCHUEN

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน...110354  
วัน,เดือน,ปี...- 1 พ.ย. 2553

b...12263125  
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2553

KMITL-2010-SC-M-014-011

**DEVELOPMENT OF FORMALDEHYDE – FREE WOOD ADHESIVE  
FROM POLY(VINYL ALCOHOL) MODIFIED WITH TUNG OIL**

**WORAWIT CHUMCHUEN**

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR DEGREE OF  
MASTER OF SCIENCE IN POLYMER TECHNOLOGY  
FACULTY OF SCIENCE  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**2010**

**KMITL-2010-SC-M-014-011**

**COPYRIGHT 2010**

**FACULTY OF SCIENCE**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**คณะวิทยาศาสตร์**  
**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**  
**ใบรับรองวิทยานิพนธ์**

**หัวข้อวิทยานิพนธ์**      การพัฒนาแนวคิดไม้ปราศจากฟอร์มาลดีไฮด์จากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์  
 ปรับปรุงด้วยน้ำมันทัง  
 Development of formaldehyde-free wood adhesive from poly  
 (vinyl alcohol) modified with tung oil

**นักศึกษา**                      นายวรวิทย์ ชุ่มชื่น

**รหัสประจำตัว**                50067903






**ปริญญา**                        วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

**สาขาวิชา**                    เทคโนโลยีพอลิเมอร์

**อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์**      ผศ.ดร.ภัทราวุธ                      มนต์วิเศษ

**อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม**   ผศ.ดร.ปทุมมา                      ศิริพันธ์ โนน

**อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม**   นายวรธรรม                        อุ่นจิตติชัย

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ชลลดา	ฤตวิรุฬห์	
ผศ.ดร.ภัทราวุธ	มนต์วิเศษ	
ผศ.ดร.ปทุมมา	ศิริพันธ์ โนน	
นายวรธรรม	อุ่นจิตติชัย	
รศ.ดร.ทวีชัย	อมรศักดิ์ชัย	

**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**  
**KING MONKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**  
 วันที่สอบ ๗ มีนาคม พ.ศ. 2553 เวลา 9.30-12.00 น.  
 สถานที่สอบ ณ อาคารปฏิบัติการใหม่ คณะวิทยาศาสตร์ ห้อง 316

สำนักทะเบียนและประมวลผล สจล.  
 วันที่ส่งเล่มวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์  
 วันที่ ๒๔ เดือน ๓ พ.ศ. ๕๓  
 ลงชื่อ 

**คณะวิทยาศาสตร์รับรองแล้ว**  
  
 (รองศาสตราจารย์ ดร.คุณณี ธาระบริพัฒน์)  
**คณบดีคณะวิทยาศาสตร์**

วันที่ ๗ เดือน ๓ พ.ศ. ๕๓

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาการติดไม้ปราศจากฟอร์มัลดีไฮด์จากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปรับปรุงด้วยน้ำมันถั่ง
นักศึกษา	วรวิทย์ ชุ่มชื่น
รหัสประจำตัว	50067903
ปริญญา	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีพอลิเมอร์
ปีการศึกษา	2551
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.ภัทราวุธ มนต์วิเศษ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผศ.ดร.ปยุตธมา ศิริพันธ์ โนน
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	นายวรรณธรรม อุ่นจิตติชัย

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาถึงการพัฒนาการติดไม้ปราศจากฟอร์มัลดีไฮด์จากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และน้ำมันถั่ง ซึ่งเตรียมการโดยการผสมสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับน้ำมันถั่ง โดยปรับเปลี่ยนปริมาณน้ำมันถั่งในช่วง 0 – 20 % โดยน้ำหนักและความหนืดของสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ คือ 500, 800, 1,000, 2000 และ 3,000 เซนติพอยส์ โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา กาวที่เตรียมได้จะถูกนำไปทดสอบสมบัติเชิงกลตามมาตรฐานการติดไม้ DIN EN 204-1991 (สถานะแห้งและสถานะแห้งหลังแช่น้ำ) พบว่า การเติมน้ำมันถั่งสามารถพัฒนาความแข็งแรงดึงแบบเฉือนและความต้านทานน้ำของกาวได้ ซึ่งสูตรกาวที่มีน้ำมันถั่ง 15 และ 20 % โดยน้ำหนัก มีค่าความแข็งแรงดึงแบบเฉือนสูงกว่าค่ามาตรฐาน คือ 10 MPa (สถานะแห้ง) และ 8 MPa (สถานะแห้งหลังแช่น้ำ) ซึ่งสูตรกาวที่มีน้ำมันถั่ง 20 % โดยน้ำหนัก เตรียมโดยกอดัดที่อุณหภูมิ 95 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง มีค่าความแข็งแรงดึงแบบเฉือนสูงสุด คือ 13.0 MPa (สถานะแห้ง) และ คือ 11.3 Mpa (สถานะแห้งหลังแช่น้ำ)

<b>Thesis Title</b>	Development of formaldehyde-free wood adhesive from PVOH modified with tung oil
<b>Student</b>	Mr.Worawit chumchuen
<b>Student ID.</b>	50067903
<b>Degree</b>	Master of Science
<b>Program</b>	Polymer Technology
<b>Academic</b>	2008
<b>Thesis Advisor</b>	Prof.Dr.Pathavuth Monvisade
<b>Thesis Coadvisor</b>	Prof.Dr.Punnama Siriphannon
<b>Thesis Coadvisor</b>	Mr.Woratham Oonjittichai

### **ABSTRACT**

This research studied on the development of formaldehyde-free wood adhesives from poly(vinyl alcohol) (PVA) and tung oil. The adhesives were prepared by mixing the PVA solutions with tung oil in the presence of catalyst. Quantity of tung oil was varied in the range of 0-20wt% and viscosity of PVA solution was adjusted at 500, 800, 1,000, 2,000 and 3,000 cps. Catalysts were added into the PVA mixtures. The adhesives were tested according to the standard of wood adhesive DIN EN 204-1991 (Seq.1 and 2). It was found that the presence of tung oil could improve the tensile shear strength and water resistance of adhesives. The tensile shear strengths of adhesives containing 15 wt% and 20 wt% of tung oil were higher than the standard values of 10 Mpa (Seq.1) and 8 MPa (Seq.2). The wood adhesive with 20 %wt tung oil applied on wood at 95°C for 2 hrs gained the highest values of 13.1 MPa and 11.3 MPa for the standard test of Seq.1 and Seq.2, respectively.

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยทุนวิจัยมหัศจรรย์ สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีภายใต้โครงการเชื่อมโยงภาคการผลิตกับงานวิจัยทุน สกว-อุตสาหกรรมระดับปริญญาโท (สกว.) ประจำปี 2551 สัญญาเลขที่ MRG-WI515S129 และความเห็นในรายงานผลการวิจัยเป็นของผู้ได้รับทุน สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัทรารุช มนต์วิเศษ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปณณมาศิริพันธ์ โนนและอาจารย์วรธรรม อุ่นจิตติชัย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งกรุณาให้คำปรึกษาชี้แนะหัวข้อเรื่อง แนววิธีการคิด ขั้นตอนในการดำเนินงาน การค้นคว้าหาข้อมูลเพิ่มเติมอันเป็นประโยชน์วิเคราะห์และสรุปผลการศึกษาและติดตามดูแลเอาใจใส่ในช่วงการดำเนินงานทุกระยะ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือตรวจตราข้อผิดพลาดสำนวนและเนื้อหาสาระ อีกทั้งยังช่วยหาหนังสือเพื่อการค้นคว้าวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีจนถึงการนำเสนอวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชลลดา ฤตวิรุฬห์และรองศาสตราจารย์ ดร.ทวิชัย อมรศักดิ์ชัย ที่ได้กรุณาสละเวลาอันมีค่าเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์และได้กรุณาอ่านและให้แนะนำในการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆจนงานวิจัยนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยความเรียบร้อย

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ให้ความดูแล ช่วยเหลือตลอดหลักสูตรการศึกษา และให้ความสะดวกในการทำวิทยานิพนธ์

ขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องสมุดต่างๆที่เป็นแหล่งข้อมูลที่สำคัญในการเรียนและทำงานวิจัยฉบับนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณเพื่อนๆและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่าน ที่ให้กำลังใจแก่ผู้วิจัย จนได้รับความสำเร็จในครั้งนี้ คุณประโยชน์และความดีใดๆอันพึงมีที่ได้จากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่บุพการีและครูบาอาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และขอให้ผลแห่งความดีนั้นนำความดีความสงบสุขสู่สังคมและประชาชาติโดยรวม

วรวิทย์ ชุ่มชื่น

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภาษาอังกฤษ.....	II
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูปภาพ.....	VIII
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>3</b>
2.1 ประเภทของกาวติดไม้.....	3
2.1.1 กาวเรซินชนิดแข็งตัวเมื่อร้อน (Thermosetting resins).....	3
2.1.2 กาวเรซินชนิดอ่อนตัวเมื่อร้อน ( Thermoplastic resins) .....	6
2.1.3 กาวระบบร้อนเหลว ( Hot-Melt system ).....	7
2.2 น้ำมัน.....	9
2.2.1 องค์ประกอบของน้ำมัน.....	9
2.2.2 กรดไขมัน.....	9
2.2.3 ชนิดของน้ำมัน.....	11
2.2.4 การวิเคราะห์น้ำมัน.....	11
2.3 น้ำมันทั้ง.....	13
2.4 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์.....	15
2.5 พอลิเมอร์ไโรเซชั่น.....	15
2.5.1 พอลิเมอร์ไโรเซชั่นแบบลูกโซ่หรือแบบรวมตัว.....	15
2.5.2 พอลิเมอร์ไโรเซชั่นแบบขั้นหรือแบบควบแน่น.....	17

## สารบัญ (ต่อ)

2.6 เทคนิคการสังเคราะห์พอลิเมอร์.....	17
2.6.1 เทคนิคพอลิเมอร์ไรเซชันแบบบัลค์.....	18
2.6.2 เทคนิคพอลิเมอร์ไรเซชันแบบสารละลาย.....	18
2.6.3 เทคนิคพอลิเมอร์ไรเซชันแบบแขวนลอย.....	18
2.6.4 เทคนิคพอลิเมอร์ไรเซชันแบบอิมัลชัน.....	18
2.7 การเกิดอนุภาคพอลิเมอร์คอลลอยด์.....	19
2.8 ความหนืด.....	19
2.9 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อไม้.....	20
2.9.1 ความละเอียดของเนื้อไม้.....	21
2.9.2 เส้นไม้.....	21
2.10 การใช้และทดสอบกาวติดไม้.....	22
2.10.1 ความชื้นของไม้ที่จะนำมาประสาน.....	22
2.10.2 การเตรียมชิ้นไม้ประสาน.....	23
2.10.3 ระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการตาก.....	23
2.10.4 การเก็บรักษาและการผสมกาวและสารเร่งแห้ง.....	24
2.10.5 การตาก.....	25
2.10.6 ระยะเวลาการประกบไม้.....	25
2.10.7 แรงดันที่ใช้ในการอัด.....	26
2.10.8 อุณหภูมิในการอัด.....	26
2.10.9 ระยะเวลาในการอัด.....	26
2.10.10 การทำความสะอาด.....	26
2.10.11 การตรวจสอบการผลิตและผลิตภัณฑ์.....	27
2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	27
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....</b>	<b>29</b>
3.1 สารเคมี.....	29
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	29
3.3 การเตรียมกาว.....	30
3.3.1 การเตรียมสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์.....	30

## สารบัญ (ต่อ)

3.3.2 การวัดหาค่าความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield viscometer.....	30
3.3.3 การเตรียมกาวติดไม้.....	31
3.4 การทดสอบสมบัติเชิงกลของกาว.....	33
3.4.1 การเตรียมชิ้นไม้ทดสอบ.....	33
3.4.2. การทดสอบค่าความแข็งแรงดึงเฉือน.....	36
3.5.การทดสอบการบวมตัวของกาว.....	38
<b>บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล.....</b>	<b>39</b>
4.1 การหาความชื้นของไม้ที่จะนำมาทดสอบ.....	39
4.2 ความหนืด.....	40
4.3 การหา % Solid content (Non-volatile).....	42
4.4 สมบัติเชิงกลของกาว.....	43
4.5 การทดสอบ % wood failure.....	48
4.6 การบวมตัวของกาว.....	51
4.7 เทคนิค FTIR.....	53
4.8 เทคนิค DSC.....	57
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>60</b>
เอกสารอ้างอิง.....	61
ภาคผนวก ก (ความแข็งแรงดึงแบบเฉือน).....	63
ประวัติผู้เขียน.....	79

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของกรดไขมันชนิดต่างๆ.....	10
3.1 ปริมาณสารเคมีที่ใช้เตรียมกาวตามสูตร โดยน้ำหนัก.....	32
3.2 รายละเอียดของสภาวะควบคุมขึ้นตัวอย่างไม้ติดกาวก่อนการทดสอบในแต่ละประเภทความ ทนทานตามมาตรฐาน EN 204-1991.....	36
3.3 การแบ่งประเภทของความทนทานของกาวติดไม้ประสานและกาวติดแผ่นไม้ประกอบ.....	37
4.1 ค่าความหนืดของสูตรกาวที่มีส่วนผสมของน้ำมันทั้ง 10% โดยน้ำหนัก.....	40
4.2 ค่าความหนืดของสูตรกาวที่มีส่วนผสมของน้ำมันทั้ง 15% โดยน้ำหนัก.....	41
4.3 ค่าความหนืดของสูตรกาวที่มีส่วนผสมของน้ำมันทั้ง 20% โดยน้ำหนัก.....	41
4.4 ค่าความหนืดของสูตรกาวที่มีส่วนผสมของน้ำมันทั้ง 15% และปริมาณตัวริเริ่ม 2% โดยน้ำหนัก.....	41
4.5 % Solid content ของกาวสูตร 1-4.....	43
4.6 แสดงสูตรกาวต่างๆต่อ% wood failure.....	48
4.7 น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงของกาวสูตรต่างๆหลังแช่น้ำ.....	51
ก-1 ค่าความแข็งแรงดึงแบบเฉือนขึ้นทดสอบของกาวสูตร 0 สภาวะการทดสอบที่ 1.....	63
ก-2 ค่าความแข็งแรงดึงแบบเฉือนขึ้นทดสอบของกาวสูตร 1 สภาวะการทดสอบที่ 1.....	64
ก-3 ค่าความแข็งแรงดึงแบบเฉือนขึ้นทดสอบของกาวสูตร 1 สภาวะการทดสอบที่ 2.....	65
ก-4 ค่าความแข็งแรงดึงแบบเฉือนขึ้นทดสอบของกาวสูตร 2 สภาวะการทดสอบที่ 1.....	66
ก-5 ค่าความแข็งแรงดึงแบบเฉือนขึ้นทดสอบของกาวสูตร 2 สภาวะการทดสอบที่ 2.....	67
ก-6 ค่าความแข็งแรงดึงแบบเฉือนขึ้นทดสอบของกาวสูตร 3 สภาวะการทดสอบที่ 1.....	68
ก-7 ค่าความแข็งแรงดึงแบบเฉือนขึ้นทดสอบของกาวสูตร 3 สภาวะการทดสอบที่ 2.....	69
ก-8 ค่าความแข็งแรงดึงแบบเฉือนขึ้นทดสอบของกาวสูตร 4 สภาวะการทดสอบที่ 1.....	71
ก-9 ค่าความแข็งแรงดึงแบบเฉือนขึ้นทดสอบของกาวสูตร 4 สภาวะการทดสอบที่ 2.....	72
ก-10 ค่าความแข็งแรงดึงแบบเฉือนขึ้นทดสอบของกาวสูตร 5 สภาวะการทดสอบที่ 1.....	73
ก-11 ค่าความแข็งแรงดึงแบบเฉือนขึ้นทดสอบของกาวสูตร 5 สภาวะการทดสอบที่ 2.....	75
ก-12 ค่าความแข็งแรงดึงแบบเฉือนขึ้นทดสอบของกาวสูตร 8 สภาวะการทดสอบที่ 1.....	75
ก-13 ค่าความแข็งแรงดึงแบบเฉือนขึ้นทดสอบของกาวสูตร 8 สภาวะการทดสอบที่ 2.....	76
ก-14 ค่าความแข็งแรงดึงแบบเฉือนขึ้นทดสอบของกาวสูตร 9 สภาวะการทดสอบที่ 1.....	77
ก-15 ค่าความแข็งแรงดึงแบบเฉือนขึ้นทดสอบของกาวสูตร 9 สภาวะการทดสอบที่ 1.....	78

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การเกิดอนุภาคพอลิเมอร์คอลลอยด์.....	19
2.2 การเกิดแรงเฉือนของของไหล.....	20
3.1 การเตรียมชิ้นไม้ ทากาวและการอัดไม้.....	34
3.2 การแช่ชิ้นไม้.....	37
3.3 การทดสอบความแข็งแรงดึง.....	38
4.1 ความแข็งแรงดึงแบบเฉือน(Seq.1) ของกาวสูตรต่างๆ.....	44
4.2 ความแข็งแรงดึงแบบเฉือน(Seq.2) ของกาวสูตรต่างๆ.....	44
4.3 ความแข็งแรงดึงแบบเฉือน(Seq.1) ของกาวสูตรต่างๆ.....	45
4.4 ความแข็งแรงดึงแบบเฉือน(Seq.2) ของกาวสูตรต่างๆ.....	46
4.5 ความแข็งแรงดึงแบบเฉือน(Seq.1) ของกาวสูตร 3 และ 8.....	46
4.6 ความแข็งแรงดึงแบบเฉือน(Seq.2) ของกาวสูตร 3 และ 8.....	47
4.7 ความแข็งแรงดึงแบบเฉือน(Seq.1) ของกาวสูตร 4 และ 9.....	47
4.8 ความแข็งแรงดึงแบบเฉือน(Seq.2) ของกาวสูตร 4 และ 9.....	47
4.9 โครงสร้างการยึดติดระหว่างผิวไม้.....	50
4.10 การแตกหักหรือฉีกขาดของกาวกับไม้.....	50
4.11 อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์.....	53
4.12 อินฟราเรดสเปกตรัมของน้ำมันทัง.....	54
4.13 อินฟราเรดสเปกตรัมของกาวสูตร 2 D.....	54
4.14 อินฟราเรดสเปกตรัมของกาวสูตร 3 D.....	55
4.15 อินฟราเรดสเปกตรัมของกาวสูตร 4 D.....	55
4.16 อินฟราเรดสเปกตรัมของกาวสูตร 5 D.....	56
4.17 อินฟราเรดสเปกตรัมของกาวสูตร 6 D.....	56
4.18 เทอร์โมแกรมของกาวสูตร 1D.....	58
4.19 เทอร์โมแกรมของกาวสูตร 2D.....	58
4.20 เทอร์โมแกรมของกาวสูตร 3D.....	58
4.21 เทอร์โมแกรมของกาวสูตร 3D.....	59

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาของการวิจัย

กาว หมายถึงสารที่ใช้สำหรับยึดเหนี่ยวผิวหน้าของวัสดุสองชิ้นให้สามารถยึดติดกันได้โดยกาวต้องมีความแข็งแรงเพียงพอต่อการนำไปใช้ประโยชน์ในงานต่างๆ ตามต้องการ แม้ว่าในบางครั้งเราอาจจะไม่ได้เป็นผู้ที่ต้องใช้กาวในการปฏิบัติงานโดยตรง แต่ก็เป็นผู้ใช้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่มีการใช้กาวเป็นสารเชื่อมยึดประกอบขึ้นมา ได้แก่ เครื่องใช้ในสำนักงาน เครื่องเรือน วัสดุตกแต่งบ้าน เป็นต้น เฟอร์นิเจอร์ เครื่องเรือนที่มีทั้งผลิตจากไม้จริง (Solid wood ) และจากไม้ประกอบ (Wood composites) ซึ่งตัวอย่างของไม้ประกอบ เช่น แผ่นชิ้นไม้อัด แผ่นใยไม้อัด แผ่นไม้อัด แผ่นไม้บางประสาน และไม้ประสาน เป็นผลิตภัณฑ์ที่จำเป็นต้องใช้กาวมากที่สุด ในอดีตเริ่มใช้กาวที่ทำจากโคลน มูลสัตว์ แล้วพัฒนาเป็นกาวจากเล็บเท้าสัตว์ เขา กระดุกสัตว์ กระดุกปลา กาวจากพืชจำพวกแป้ง กาวหนัง กาวเลือด กาวนม กาวยาง จากธรรมชาติ เช่น ยางสน (Resin) ยางไม้ (Gum) และแซลแล็ค ปัจจุบันมีการใช้น้อยลงจนเกือบไม่มีการใช้กาวธรรมชาติแล้ว เพราะมีการผลิตกาวสังเคราะห์ กาวสังเคราะห์แรกๆ เกิดจากการพัฒนาจากฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์ที่เรียกว่า Bakelite [1,8]

ปัจจุบันอุตสาหกรรมเกี่ยวกับไม้ในประเทศไทยมีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว สามารถสร้างรายได้ให้ทั้งภาคเกษตรกรรมคือผู้ที่ปลูกไม้ที่นำมาใช้และภาคอุตสาหกรรม ไม้และเฟอร์นิเจอร์ รวมทั้งผู้ส่งออกชิ้นส่วนและเฟอร์นิเจอร์ไม้คิดเป็นมูลค่าไม่ต่ำกว่า 10,000 ล้านบาท ซึ่งถือว่าเป็นอันดับหนึ่งของเอเชีย กาวสำหรับงานเฟอร์นิเจอร์ไม้ ส่วนมากจะมีฟอร์มัลดีไฮด์เป็นส่วนประกอบหลัก โดยฟอร์มัลดีไฮด์ได้แทรกอยู่ในผลิตภัณฑ์ต่างๆมากมายหลายชนิด ได้แก่ อุปกรณ์เครื่องเรือน เฟอร์นิเจอร์ไม้ ไม้อัดกาว (Particle board) ที่ใช้ทำเฟอร์นิเจอร์สำนักงานในปัจจุบัน โฟมพลาสติก (ชนิดยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์) ที่ใช้เป็นฉนวน กระดาษที่ใช้ในชีวิตประจำวัน เช่น กระดาษเช็ดมือ-เช็ดหน้า กระดาษห่อหน้า รวมทั้งถุงบรรจุของ กระดาษไข (ที่ใช้รองอาหาร) สารทำความสะอาดในบ้าน วัสดุเคลือบผิว พื้นกระดากปิดผนัง แผ่นหลังของพรม เสื้อผ้าอัดกิลิปถาวร วัสดุเคลือบผิว ของใช้ต่างๆประเภทครึ่งเดียวทิ้ง พวกนี้ถูกเคลือบหรือพ่นด้วยยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน ทั้งนี้ ประเภทครึ่งเดียวทิ้ง สิ่งของต่างๆเหล่านี้คือที่มาของสารพิษในอากาศ ในอาคารบ้านเรือน และที่ทำงาน ซึ่งฟอร์มัลดีไฮด์สามารถระเหยออกสู่อากาศได้ หากสูดดมไอระเหยเข้าไปเกิน 0.1 ส่วนในล้านส่วน (ppm) จะสร้างให้เกิดการระคายเคืองต่อเยื่อเมือกในดวงตา จมูก และลำคอ ยิ่งไปกว่านั้นฟอร์มัลดีไฮด์ ยังเป็นสารที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีได้ง่าย สามารถรวมตัวกับโปรตีน จึงทำให้เกิดการแพ้ที่ผิวหนัง การสัมผัสกับฟอร์มัลดีไฮด์ จึงทำให้เกิดการระคายเคืองตา และปวดศีรษะ

และถ้าหากความเข้มข้นสูงมาก ๆ ตั้งแต่ 100 ppm ขึ้นไปอาจทำให้เสียชีวิตได้ นอกจากนี้ฟอรั่มลดีไฮด์ยังจัดอยู่ในกลุ่มของสารก่อมะเร็งอีกด้วย [2 ,3]

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงพัฒนาการที่ปราศจากฟอรั่มลดีไฮด์โดยใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ร่วมกับน้ำมันทั้งโดยศึกษาความแข็งแรงดึงเดือนตามมาตรฐาน EN 204-205 ในสภาวะปกติและสภาวะที่ขึ้นงานผ่านการแช่น้ำตามมาตรฐานเพื่อศึกษาถึงความต้านทานน้ำของกาวที่พัฒนาขึ้น

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เตรียมกาวปราศจากฟอรั่มลดีไฮด์จากสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับน้ำมันทั้งในระบบอิมัลชัน
2. ศึกษาถึงผลของสภาวะการเตรียมต่อสมบัติเชิงกลและการต้านทานน้ำของกาวพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ปรับปรุงด้วยน้ำมันทั้ง

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. เตรียมกาวจากสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับน้ำมันทั้งในระบบอิมัลชันซึ่งมีโซเดียมลอริลซัลเฟตเป็นอิมัลซิฟายเออร์และมีโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตเป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยาและกรดพาราโทลูอินซัลโฟนิคเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
2. ศึกษาผลของความหนืดเริ่มต้นของสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์โดยใช้ความหนืด 500,800,1,000, 2000 และ 3,000 เซนติพอยส์ ต่อสมบัติเชิงกลและสมบัติการต้านทานน้ำของกาว
3. ศึกษาผลของปริมาณน้ำมันทั้งในช่วง 10 – 20 % โดยน้ำหนักต่อสมบัติเชิงกลและสมบัติการต้านทานน้ำของกาว
4. ศึกษาผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อสมบัติเชิงกลและสมบัติการต้านทานน้ำของกาว
5. ศึกษาผลการยึดติดไม้ตามมาตรฐาน EN 204-205

## 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. นำสารธรรมชาติมาใช้ประโยชน์
2. ได้องค์ความรู้ในการนำสารธรรมชาติมาใช้ในการเตรียมกาวติดไม้ปราศจากฟอรั่มลดีไฮด์
3. สามารถนำองค์ความรู้นี้ไปพัฒนาต่อยอดผลิตกาวติดไม้ปราศจากฟอรั่มลดีไฮด์ชนิดอื่นๆ

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานต่างๆที่เกี่ยวข้องในการวิจัยโดยจะกล่าวถึงพื้นฐานของ กาวชนิดต่างๆที่นิยมใช้ในงานไม้ การเกิดอนุภาคพอลิเมอร์คอลลอยด์, องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อ ไม้, ขั้นตอนการติดกาวไม้ รายละเอียดของสภาวะการควบคุมขึ้นตัวอย่างไม้ก่อนการทดสอบและการ แบ่งประเภทของความทนทานของกาวติดไม้ ซึ่งเนื้อหาทั้งหมดนี้จำเป็นสำหรับการศึกษาและ ประเมินประสิทธิภาพของกาวติดไม้ปราศจากฟอร์มัลดีไฮด์จากน้ำมันทั้ง

กาว หมายถึง สารที่ใช้สำหรับยึดผิวหน้าของวัสดุสองชิ้นให้สามารถยึดกันไว้โดยมีความ แข็งแรงของวัสดุที่เชื่อมยึดกันเพียงพอต่อการนำไปใช้ประโยชน์ในงานต่างๆ ตามความต้องการ

กาวแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ คือ

### 1. กาวธรรมชาติ (Natural adhesives)

กาวธรรมชาติส่วนใหญ่ได้มาจากพืช เช่น ยางเหนียวของต้น ไม้ แป้งมันสำปะหลัง แป้ง ข้าวโพด และแป้งมันฝรั่ง หรือจากสัตว์ เช่น กาวที่ผลิตขึ้นจากหนังและกระดูกสัตว์ ซึ่งโดยปกติกาวที่ ได้จากธรรมชาติจะมีความแข็งแรงและมีความต้านทานน้ำต่ำกว่ากาวที่ได้จากการสังเคราะห์

### 2. กาวสังเคราะห์ (Synthetic adhesives)

เป็นกาวที่ผลิตจากพลาสติกประเภทเทอร์โมเซต และเทอร์โมพลาสติก ซึ่งกาวประเภทเทอร์ โมเซตจะไม่สามารถทำให้อ่อนตัวหรือละลายได้อีก หลังจากได้รับการอบด้วยความร้อนแล้ว แต่กาว ประเภทเทอร์โมพลาสติกสามารถทำให้อ่อนได้อีก โดยการให้ความร้อนอีกครั้ง หรือด้วยตัวทำละลาย

## 2.1 ประเภทของกาวติดไม้ [1]

กาวสังเคราะห์ที่ใช้ในงานไม้แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ

2.1.1. กาวเรซินชนิดแข็งตัวเมื่อร้อน (Thermosetting resins) เป็นกาวที่ได้รับความร้อนจะแปรสภาพเป็นแผ่นแข็งที่ไม่สามารถหลอมละลายได้อีก การแข็งตัวเป็นการทำปฏิกิริยาทางเคมีเกิดเป็น โมเลกุลที่มีโครงสร้างสามมิติ กลายสภาพเป็นของแข็งในเวลาเดียวกันกับเกิดการยึดติดกับไม้ กาว ชนิดนี้แบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่ม

2.1.1.1. กาวเรซินชนิดที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างฟอร์มัลดีไฮด์กับยูเรีย เมลามีน ฟีนอล หรือสารอื่น

2.1.1.2. กาวชนิดที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาแทนนินกับฟีนอลหรือฟอร์มัลดีไฮด์

2.1.1.3. การเรซินชนิดไอโซไซยานต

2.1.1.4. กาวอีพอกซี

### 2.1.1.1.1 กาวยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ (UF, Urea Formaldehyde)

กาวชนิดแรกที่ได้รับการพัฒนาอย่างกว้างขวาง ซึ่งมีการใช้กันมารวม 60 กว่าปีแล้ว เป็นกาวที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เริ่มจากใช้ฟอร์มัลดีไฮด์ผสมกับยูเรียให้ความร้อนในส่วนผสมที่เป็นต่างทำให้เกิดเมธิลอลยูเรีย แต่ยังไม่เป็นกาว แล้วทำปฏิกิริยาในส่วนผสมที่เป็นกรด จึงหยุดปฏิกิริยาโดยเติมด่างให้มีสภาพเป็นกลาง แล้วกำจัดน้ำออกจากส่วนผสมที่มากขึ้นจากการเกิดปฏิกิริยาควบแน่นจนได้ส่วนผสมกาวที่เข้มข้นหรือจะระเหยน้ำต่อไปจนได้เป็นผงโดยนำกาวเข้มข้นไปพ่นผ่านรูเล็กๆในปล่องความร้อนที่ให้ความร้อนสูงถึง 200 องศาเซลเซียส กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ มีการจำหน่ายกันทั้งในสภาพของเหลว และเป็นผง เป็นผงก็จะแบ่งเป็นแบบหนึ่งส่วนและชนิด 2 ส่วน โดยชนิดหนึ่งส่วนก็จะมีสารผสมสารเร่งแข็งด้วย หากชนิด 2 ส่วน ก็จะแยกเป็นส่วนกาวผงยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ 1 ส่วนอีกส่วนหนึ่งก็จะเป็นสารเร่งแข็งที่อาจจะผสมสารเพิ่มอื่นได้ด้วย เช่น แป้งสาลี แป้งอื่นๆ แคลเซียมซัลเฟต หรือ ผงดินขาว (kaolin) การเตรียมกาวโดยนำกาวผงหลักหรือกาวน้ำ มาผสมกับน้ำ แล้วผสมกับสารช่วยให้กาวแข็งตัว (hardener) เมื่อผสมเข้ากันได้ดีแล้ว จึงนำไปทาบนผิวไม้ที่จะทำการยึดติด สารช่วยให้กาวแข็งตัวจะมีสภาพเป็นกรด ซึ่งจะปรีเริ่มให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีเชื่อมตัวทางขวาง ที่หยุดปฏิกิริยาไว้ขณะทำการสังเคราะห์กาวเกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์ขึ้น โดยมีการให้ความร้อนกับแนวกาวเป็นตัวเร่งให้แข็งตัวยิ่งขึ้น สารช่วยให้กาวแข็งตัวที่ใช้กับกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ควรเป็นชนิดกรดอ่อนมากๆ เนื่องจากหากใช้กรดแก่จะทำให้ผิวไม้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเป็นผลให้แนวกาวเสียหาย การลดการปลดปล่อยสารฟอร์มัลดีไฮด์จากผลิตภัณฑ์ไม้ที่ใช้กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ ควรลดสัดส่วนโมลฟอร์มัลดีไฮด์ต่อยูเรีย (F:U) ในการสังเคราะห์กาวเรซินจาก 1.8:1 หรือ 2.0:1 ให้ต่ำกว่า 1.6:1 หรือในบางกรณีต่ำถึง 1.2:1 การใช้สัดส่วนโมล F:U ต่ำๆ นอกจากจะทำให้ต้องเพิ่มระยะเวลาในการสังเคราะห์เรซินแล้ว กาวที่ได้จะต้องใช้ระยะเวลาในการทำให้แข็งตัวนานขึ้นด้วย และยังทำให้ความแข็งแรงของการยึดติดมีแนวโน้มต่ำลง ความต้านทานความชื้นลดลง ระยะเวลาการเก็บรักษา (ความเสถียร) ลดลง การลดสารฟอร์มัลดีไฮด์ของกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ในการปฏิบัติงานนั้นสามารถทำได้โดยเติมสารเพิ่มอื่น เช่น ยูเรีย เมลามีน แทนนิน โซเดียมไดซัลไฟต์ และกรดอนินทรีย์อย่างอ่อนๆ แต่ก็จะทำให้การคงทนต่อน้ำและอุณหภูมิที่สูงขึ้นต่ำลง ซึ่งก็จะไม่แนะนำให้ใช้ในการต่อไม้ที่ต้องใช้ในที่ๆ มีความชื้นและความร้อน

กาวเรซินยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ พบมีการใช้โดยทั่วไปในการผลิตแผ่นไม้อัด แผ่นปาร์ติเกิล แผ่น MDF แผ่นไม้ไผ่ระแนง และนิยมใช้กันมากในการปิดผิวไม้บางบนงานเครื่องเรือน แต่ก็ต้องระมัดระวังว่าเป็นกาวที่เหมาะสมต่อการใช้งานเพียงพอนทนทานต่อความชื้นแต่ไม่ต้านทานน้ำ

### 2.1.1.1.2 กาวเมลามีน-ฟอร์มัลดีไฮด์ (MF, Melamine Formaldehyde)

กาวเมลามีน-ฟอร์มัลดีไฮด์ เป็นกาวที่คล้ายคลึงกับกาว UF มีการนำมาใช้หลังกาว UF ประมาณ 20 กว่าปี กาว UF และ MF จะเกิดจากการทำปฏิกิริยาของส่วนอะมิโน (Amino) กับสารฟอร์มัลดีไฮด์ ภายในสภาวะที่ให้ความร้อนกับสารละลายผสมที่เหมือนกัน แต่ฟอร์มัลดีไฮด์จะทำปฏิกิริยารวดเร็วกว่า MF มากกว่า UF ด้วยเหตุนี้การทำกาว MF จึงมีการปลดปล่อยสารระเหยฟอร์มัลดีไฮด์ที่น้อยกว่ากาว UF กาว UF และ MF ใช้สารช่วยให้แข็งตัวที่เหมือนกัน แม้แต่สารเติมแต่งก็จะใช้สารเหมือนกัน ลักษณะของกาว จะเป็นกาวขาวใส เหมือนกัน ซึ่งก็จะทำให้แนวกาวที่ใส กาว MF จำเป็นต้องใช้อุณหภูมิที่ทำให้แข็งตัวที่สูงกว่า UF แต่มีความต้านทานน้ำและอุณหภูมิที่สูงได้ดีกว่า ข้อเสียคือราคา MF สูง ซึ่งสูงกว่าราคา UF ถึง 4-5 เท่า จึงมีการนำมาผสมกับกาว UF เพื่อลดต้นทุนราคาลง เรียกว่า MUF glues ซึ่งคุณสมบัติของกาว MUF ขึ้นอยู่กับสัดส่วนของการผสมระหว่าง MF และ UF ยกตัวอย่างเช่น สัดส่วนการผสมของกาว MF ต่อ UF = 40:60 ก็จะช่วยปรับปรุงความต้านทานต่อสภาวะแรงในการบ่มรุนแรงได้อย่างเห็นได้ชัด กาวเมลามีนมักนิยมใช้ในการผลิตแผ่น PB ที่มีคุณสมบัติพิเศษ โดยเฉพาะการต้านทานต่อความชื้นและสภาพฝนฟ้าอากาศร้อนของแผ่น MDF กาวเมลามีน ยังมีการใช้ในการต่อไม้ที่ต้องการใช้ในงานในสภาพที่เปียกชื้นด้วย

### 2.1.1.1.3 กาวฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์ (PF, Phenol Formaldehyde)

กาวเรซิน PF มีการผลิตใช้ก่อน UF และ MF เรซิน แต่กลับนำมาใช้ในงานไม้ในราวปี ค.ศ.1930 มีการใช้กันมากในการผลิตแผ่นไม้อัดชนิดใช้งานในทะเล (Marine Plywood) และแผ่นเส้นใยไม้ (Fiber board,FB) และ Oriented strand board (OSB) สำหรับใช้งานในการก่อสร้าง กาว PF มี 2 ชนิด คือ รีโซล (Resoles) และ โนวอลแลค (Novolacs) ชนิด Resoles เป็นชนิดที่ใช้ในการผลิตแผ่นบอร์ดเช่น ไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง (Medium density fiber board, MDF) Resoles เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างฟอร์มัลดีไฮด์กับ ฟีนอล ในสารละลายต่าง Resoles ต้องใช้อุณหภูมิในการแข็งตัวที่สูงและได้แนวกาวที่มีความต้านทานน้ำและความร้อนและเชื้อรา สำหรับกาว PF ชนิด Novolacs สังเคราะห์ขึ้นในสภาวะที่เป็นกรดและมีสัดส่วนของฟอร์มัลดีไฮด์ที่ต่ำ หากจะต้องทำให้เป็นกาวอัดร้อนจะใช้ Hexamethylene Tetramine ผสม ส่วนใหญ่ใช้ในงานประดิษฐ์กรรมไม้เพื่อผลิตชิ้นงานที่พิเศษ ใช้ผลิต Wafer board ชนิดพิเศษโดยใช้ Novolacs และใช้ในการผลิต Densified wood. โดยการนำไม้บางคล้ายกับการทำไม้อัดมาแช่ อัดกาวในสารละลายกาว แล้วปล่อยให้กาวไหลออก แล้วจึงนำมาเรียงประกบกันตามความหนาที่ต้องการ แล้วอัดด้วยแรงดันสูงมาก เพื่อลดความหนาและได้ไม้ซึ่งมีความแน่นมีสมบัติทนทานต่อการสึกหรอได้ดีมาก

2.1.1.1.4 กาวฟีนอล-เรซอร์ซินอล ฟอร์มัลดีไฮด์ (P-RF, Phenol-Resorcinol Formaldehyde) P-RF resins ผลิตโดยการเติม resorcinol ผสมในกาว resole ที่ระยะสุดท้ายของการสังเคราะห์ เป็นกาวสีน้ำตาลเข้มใช้ในการผลิตคานไม้ประสาน (Laminated beams) โดยมีข้อดี 2 ลักษณะ คือ มีความต้านทานน้ำ และมีความไวในการทำปฏิกิริยาซึ่งหมายความว่าสามารถใช้เป็นกาว

ที่อุณหภูมิต่ำมากๆ ซึ่งบางครั้งต่ำถึง 5 องศาเซลเซียส ใช้ Paraformaldehyde เป็นสารเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) และรอยต่อไม้จะแข็งตัวที่อุณหภูมิได้ถึง 70 องศาเซลเซียส และมีมักนิยมใช้ผงไม้ผสมใน กาวเพื่อ ปรับปรุงคุณสมบัติการอุดช่องว่างไม้ในการติดไม้แปรรูป

#### 2.1.1.2 กาวแทนนิน (Tannin Resins )

สารแทนนินเป็นสารฟีนอลประเภทหนึ่งตามธรรมชาติเกิดอยู่ในเนื้อไม้และเปลือกไม้ใน ปริมาณมาก โดยเฉพาะในเปลือกไม้โอ๊ก และวอตเติล แทนนินทำปฏิกิริยากับ PF resin หลังจากกำจัด สารอื่นแล้ว เช่น น้ำตาล และ gums จากการสกัด การใช้งานกาวแทนนินยังไม่แพร่หลายนัก แต่ก็มี การนำไปใช้ในบางประเทศเพื่อผลิตแผ่น particle board และ MDF ซึ่งจะทำให้มีความต้านทาน ความชื้นได้ดี

#### 2.1.1.3 กาวไอโซไซยาเนต (Isocyanate Resins )

แม้ว่าจะถูกใช้เป็นที่ Casting resins และตัวกลางของสี (Paint media) ตั้งแต่ราวปี ค.ศ.1950 แต่ ทางด้านงานไม้กลับมีการใช้กันน้อยหรือไม่ได้รับความสนใจในการนำมาใช้เลย จนถึงปี ค.ศ.1975 ปัจจุบันถูกใช้ในการผลิต PB,MDF และ OSB เมื่อต้องการชิ้นงานที่มีความทนทานสูง โดยมันจะเกิด การยึดเหนี่ยวทางเคมีกับ ลิกนิน และเซลลูโลสในไม้ มีราคาสูงแต่เมื่อเทียบปริมาณการใช้ในการผลิต PB แล้วใช้ในปริมาณที่ต่ำและถูกที่สุดกว่าคู้มค่า เช่น เนื่องจากการยึดเหนี่ยวแบบธรรมชาตินี้จะช่วย ลดการใช้ไม้วัตถุดิบได้ถึง 15% โดยจะให้ความแข็งแรงทางกลที่ระดับเดียวกัน

#### 2.1.1.4 กาวเรซินอีพอกซี (Epoxy Resins)

อีพอกซี เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่าง bisphenol-A กับ epichlorhydrin ได้เป็น resin ที่มี น้ำหนักโมเลกุลต่างๆกัน จึงมีคุณสมบัติต่างกันไป สารหลายชนิดสามารถนำมาใช้เป็นสารเร่งแข็ง (สารทำให้แข็งตัว) แต่ที่ใช้กันมากแพร่หลายในขณะนี้คือ polyamides epoxy resins จะแข็งตัวที่ อุณหภูมิห้องโดยใช้แรงดันอัดข้อต่อไม้เล็กน้อย มันมีคุณสมบัติในการอุดช่องว่างได้ดี โดยหากใช้ใน งานไม้จะใช้ Epoxy ที่เป็นของเหลวมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำและไม่ใส่ตัวทำละลายอื่นซึ่งจะแข็งตัวโดย ปฏิกิริยาแบบรวมตัว (Addition reaction) ซึ่งไม่มีการสูญเสียผลผลิตจากปฏิกิริยาจึงมีการสูญเสีย ปริมาณเพียงเล็กน้อย ขณะที่มันแข็งตัว

2.1.2 กาวเรซินชนิดอ่อนตัวเมื่อร้อน (Thermoplastic resins) หรือร้อนเหลว (hot-melts) ต้องให้ ความร้อน จึงกลายเป็นสารยึดติดเมื่อเย็น

2.1.2.1 กาวพอลิไวนิลอะซิเตต (PVAc resin) PVAc นี้โดยปกติใช้อยู่ในรูปอิมัลชัน แม้ว่าจะ แข็งตัวโดยการใช้ความร้อนบ้าง แต่ก็ยังคงอ่อนตัวที่อุณหภูมิสูงๆ มันสามารถถูกปรับปรุงให้มีความ หนืดสูงหรือต่ำ แข็งหรืออ่อนหยุ่นได้ (Rigidify or flexibility) และข้อมสีหรือใส่รงควัตถุเพื่อให้เกิด สีอะไรก็ได้ เป็นกาวที่มี 2 แบบ ที่ใช้งาน ไม้คือ

2.1.2.1.1) แบบ โฮโม โพลีเมอร์ ซึ่งจะอ่อนตัวทันทีเมื่อได้รับความร้อน

2.1.1.1.2) แบบโคโพลีเมอร์ ซึ่งจะมีการใช้สารเร่ง (Catalyst) เพื่อการยึดเหนี่ยวทำให้มีความต้านทานน้ำและความร้อนดีขึ้น แป้งข้าวโพดหรือแป้งชนิดอื่น สามารถเติมลงไปผสมเพื่อเพิ่มความหนืดและป้องกันให้กาวเชื่อมออกจากข้อต่อหรือผ่านทะลุ pores ของไม้บางออกมา สารเติมจำพวกแร่ธาตุ (Mineral fillers) ก็อาจใช้กันแต่ต้องระมัดระวังอย่าสัมผัสหรือใช้กับวัสดุที่มีฤทธิ์เป็นด่าง ซึ่งมันจะลดการแข็งตัวของกาวไป การผสมเกลือโลหะ (Metallic salts) เช่น โครเมียมหรืออลูมิเนียมไนเตรท จะปรับปรุงให้การต้านทานน้ำดีขึ้น แต่ก็จะทำให้อายุการใช้งานของกาว (Pot life) สั้นลง การเติม UF และ MF และ ไอโซไซยาเนตเรซิน ก็จะช่วยปรับปรุงสมบัติของกาวได้ กาว PVAc ใช้กันแพร่หลายสำหรับการติดไม้บาง การติดกระดาษ และ PVC foils กับ แผ่น Particle board Hardboard และ MDF และสำหรับการประกอบตู้โต๊ะ เป็นต้น

### 2.1.3. กาวระบบร้อนเหลว (Hot-Melt Systems)

#### 2.1.3.1 กาวร้อนเหลวชนิด EVA (EVA Hot-Melts)

กาว Ethylene vinyl acetate เป็นส่วนผสมของ EVA resin ซึ่งเป็นตัวหลักในการเกิดการยึดติด (Adhesion) และเหนียว (Tack) และตัวเติมแต่งพวกแร่ธาตุ (Mineral filler) เพื่อเป็นตัวเสริมการยึดติด (cohesion) และลดการซึมของกาวและยังช่วยลดต้นทุนด้วย นอกจากนี้ยังมีส่วนผสมของขี้ผึ้งเล็กน้อย เพื่อควบคุมระยะเวลาการเปิดและอัตราเร่งการแข็งตัว และยังมี anti-oxidant เพื่อใช้ลดแนวโน้มการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในหม้อต้มกาวที่ร้อน การผลิตเริ่มโดยการใส่เรซิน, สารเติมแต่ง (filler) สารแอนติออกซิเดนต์ ลงในเครื่องผสมแบบ Z-blade ที่ร้อน ซึ่งเป็นเครื่องที่ใช้บดและตัดเรซินร้อนและให้แน่ใจว่าผสมได้ทั่วถึงสมบูรณ์ ทันทีที่ส่วนผสมเข้ากันได้ดี ส่วนผสมอื่นที่เหลือถูกเติมและผสมคลุกต่อไปอีก 30 นาที หลังจากนั้นส่วนผสมทั้งหมดจะถูกเทสู่โต๊ะเย็นที่จัดทำขึ้นให้กาวแข็งตัวก่อนจะทำการตัดเป็นเม็ดๆหรืออัดรีด (Extrude) ออกมาเป็นเม็ดหรือรูปร่างต่างๆขนาดต่างๆตามต้องการ รูปร่างของกาวเป็นสิ่งสำคัญมากในการนำไปใช้เพื่อให้แน่ใจว่าได้รับความร้อนที่เร็วในการตากาว สำหรับการติดขอบ (Edge-bander) โดยปราศจากการเกิดการเสื่อมสภาพของกาวจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน เม็ดกาวมักจะถูกเคลือบด้วยแป้ง talc เพื่อป้องกันการจับเป็นก้อนในถุง เครื่องอัดรีด (Extruders) มีการใช้สำหรับการผสมด้วยเหมือนกัน และสามารถผลิตกาวในลักษณะต่อเนื่อง ซึ่งช่วยให้สามารถทำเป็นเม็ดๆ ได้ง่ายขึ้นมาก อย่างไรก็ตาม เครื่องอัดรีดก็ไม่ใช่ว่าจะประสบความสำเร็จเสมอไป เนื่องจากการผสมของส่วนผสมต่างๆ ไม่ละเอียดเหมือน Z-blade Mixer แต่เป็นการดีในการเริ่มต้น หรือ เปิดเครื่องสำหรับ Z-blade หรือ blender อื่น โครงสร้างพื้นฐานของ EVA polymer อาจจะมีปริมาณ Vinyl acetate สูง ปานกลางและ ต่ำ หากมีอะซิเตดในปริมาณสูงจะทำให้มีคุณสมบัติเกิดการยึดติดเข้ากันได้ดีกับสารเติมอื่น มีระยะเวลาก่อนประกบ (Open time) ให้นานขึ้น มีความต้านทานความร้อนต่ำลง ละลายในตัวทำละลายได้มากขึ้น กาวร้อนเหลว EVA นี้ นิยมใช้กันมากถึง 80% ในการติดแถบขอบของแผ่นไม้ และก็มีการใช้กันบ้างในการประกบติดไม้ โดยเฉพาะในการใช้

ระบบกาวคู่ ร่วมกับกาว PVAc ในระบบนี้กาวร้อนเหลวจะใช้เพื่อยึดข้อต่อหรือส่วนที่ต้องการเชื่อมติด ในขณะที่กาว PVAc แข็งตัวและเป็นแรงยึดติดหลัก

### 2.1.3.2 กาวพอลิเอไมด์ (Polyamide Resins)

กาวพอลิเอไมด์มีการใช้ในปริมาณน้อย ส่วนใหญ่สำหรับการติดขอบที่ต้องการความต้านทานสูงต่ออุณหภูมิที่สูงขึ้น กาวชนิดนี้คล้ายในลอนและเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างกรดไขมัน โพลีเมอร์ที่เป็นกรดไขมัน (Fatty acid polymers) กับ ไดอะมีน (Diamine) ถ้าหากต้องการนำมาใช้งานเนื่องจากจุดหลอมเหลวจะสูงมากและง่ายต่อการ oxidation ซึ่งสามารถทำให้สมบัติการยึดติดเสียไป ดังนั้นในบางครั้งจึงมีการใช้เครื่องทากาวที่ปิดอยู่ในก๊าซไนโตรเจน กาวโพลีเอไมด์ มีการใช้ใน USA สำหรับการติดขอบ แต่จะไม่แพร่หลายในที่อื่น เนื่องจากมีราคาแพงกว่า EVA และ โพลียูรีเทนหลายเท่าตัว

### 2.1.3.3 กาวพอลิโอลีฟินส์ (Polyolefines)

กาวชนิดนี้ใช้กันไม่แพร่หลายนักในอุตสาหกรรมไม้ เนื่องจากสมบัติการยึดติดยังไม่เด่น แต่สำหรับการติดแถบขอบแล้ว กาวพอลิโอลีฟินส์อยู่ในระดับปานกลางของการต้านทานความร้อน ระหว่างการใช้ EVA และ กาวโพลีเอไมด์ และยังมีราคาที่ยอมรับได้ กาวนี้เป็นส่วนผสมของ Polypropylene, Polyethylene และ เรซินอื่นคล้ายกับ Isobutyl-isoprene rubber เพื่อทำให้เกิดการแตะติด (Tack) มีลักษณะการหลอมเหลวที่ดีกว่า พอลิโอลีฟินส์มีความแข็งแรงการยึดเหนี่ยวที่ดีและช่วงของการหลอมเหลวแคบกว่า ซึ่งจะช่วยให้การแข็งตัวเร็วขึ้น แต่สมบัติการเป็นกาวด้อยกว่าเมื่อใช้กับพื้นผิวที่ราบเรียบอย่างเช่น PVC

### 2.1.3.4 กาวเรซินโพลียูรีเทน (Polyurethane Resins)

กาวเรซินร้อนเหลวโพลียูรีเทน (Polyurethane hot melt resins) ที่ใช้ในการติดแถบขอบจะมีลักษณะการใช้งานและผลิตภัณฑ์คล้ายกับกาวร้อนเหลวเดิม แต่จะทำปฏิกิริยากับความชื้นในอากาศ และวัสดุที่ต้องการติดเกิดเป็นแนวกาวที่มีสมบัติคล้ายกับการเกิดจากกาวชนิดแข็งตัวเมื่อร้อน (Thermosetting resins) กาวเรซินโพลียูรีเทน ทำจากการทำปฏิกิริยาไดออล (diol) กับไดไอโซไซยาเนต (Diisocyanate) เกิดเป็นโครงสร้างร่างแหที่มีหมู่วงไวสูงที่จะทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลต่อไป การใช้งานจะใช้งานที่อุณหภูมิต่ำกว่า EVA เรซิน คือประมาณ 100-140 องศาเซลเซียส ต้องป้องกันความชื้นในการเก็บและระหว่างการใช้ ซึ่งอาจจะต้องใช้อุปกรณ์ปิดที่มีก๊าซไนโตรเจน การใช้กาวนี้จะใช้เฉพาะที่ต้องการใช้งานที่มีการยึดเหนี่ยวสูง เช่น เมื่อต้องการติดกาวตรงรอยแตกของประตูกันไฟ มีราคาสูงประมาณมากกว่า 6 เท่าของ EVA แต่ก็คุ้มค่าหากใช้งานที่มีประสิทธิภาพสูง ในบางกรณีใช้ติดแถบขอบโดยไม่ควบคุมภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน โดยเครื่องจ่ายกาวจะร้อนเหลวบนผิวที่จะติดกาว ทันทีที่แผ่นถูกทากาวแล้ว ด้านหน้าของเครื่องจ่ายกาวจะปิดโดยมีแผ่นเลื่อนมาปิดเพื่อป้องกันกาวจากการสัมผัสกับอากาศหรือความชื้น

## 2.2 น้ำมัน (Oils) [4]

น้ำมันถูกนำมาใช้เป็นสารเคลือบผิวมานานแล้ว แต่ในปัจจุบันการนำน้ำมันเพียงอย่างเดียวมาใช้เป็นสารยึดผิวมีอยู่น้อยมาก อย่างไรก็ตามยังมีการใช้น้ำมันเป็นส่วนผสมของวารันิชหรือสารเคลือบผิวบางชนิดเพื่อจุดประสงค์อย่างอื่น เช่น เพื่อเพิ่มความอ่อนตัวของฟิล์ม ทำให้ไม่เปราะ หรือเพื่อช่วยปรับปรุงสมบัติการละลาย เป็นต้น

น้ำมันที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมเคลือบผิวได้มาจาก 2 แหล่งใหญ่ๆ คือ น้ำมันพืช และน้ำมันจากทะเลซึ่งส่วนใหญ่ ได้แก่ น้ำมันปลา

### 2.2.1 องค์ประกอบของน้ำมัน

น้ำมันเป็นสารประกอบไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) กล่าวคือเป็นไตรเอสเทอร์ ของกลีเซอรอล (Glycerol) กับกรดไขมัน (Fatty acid) ดังนี้



ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาย้อนกลับ ถ้าไฮโดรไลซ์ (Hydrolyze) น้ำมัน จะได้กลีเซอริน (Glycerine) และน้ำมันไขมัน (Fatty oils)

ไขมัน (Fat) ก็จัดเป็นสารประกอบไตรกลีเซอไรด์เหมือนกัน แต่ไขมันต่างจากน้ำมันตรงที่ว่าที่อุณหภูมิห้อง ไขมันมีสถานะเป็นของแข็ง แต่น้ำมันมีสถานะเป็นของเหลว

### 2.2.2 กรดไขมัน

สมบัติของน้ำมันทั้งหลาย ขึ้นอยู่กับธรรมชาติของกรดไขมันที่มีอยู่ในโครงสร้าง โดยกรดไขมันจะมีผลต่อสมบัติการแห้งตัวของน้ำมัน

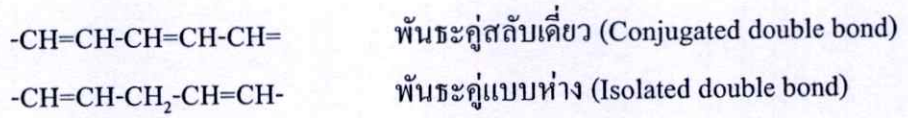
กรดไขมันเป็นสารที่ประกอบด้วยหมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl group) ต่ออยู่กับสายโซ่ ไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon chain) ซึ่งประกอบด้วยคาร์บอนตั้งแต่ 9 ถึง 22 อะตอม แต่ส่วนใหญ่ประกอบด้วยคาร์บอน 18 อะตอม

กรดไขมัน แบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. กรดไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty acid) คือ กรดไขมันที่ไม่มีพันธะคู่ (Double bond) ในโครงสร้าง คาร์บอนแต่ละตัวบนสายโซ่จะต่ออยู่กับไฮโดรเจนอย่างน้อย 2 ตัว เนื่องจากไม่มีพันธะคู่ ดังนั้นน้ำมันที่มีแต่กรดไขมันอิ่มตัวอยู่ในโครงสร้างจะมีสมบัติไม่แห้งตัว ตัวอย่างของกรดไขมันไม่อิ่มตัว ได้แก่ กรดสเตียริก (Stearic acid) กรดปาล์มมิติก (Palmitic acid) เป็นต้น โครงสร้างของกรดไขมันเหล่านี้แสดงไว้ในตารางที่ 2.1

2. กรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid) สายโซ่ไฮโดรคาร์บอนประกอบด้วยพันธะคู่ตั้งแต่ 1 พันธะขึ้นไป และตำแหน่งของพันธะคู่ของกรดไขมันแต่ละชนิดก็จะแตกต่างกันไป พันธะคู่ที่มีอยู่ในกรดไขมัน มีผลต่อสมบัติการแห้งตัวของน้ำมัน เพราะปฏิกิริยาการแห้งตัวของน้ำมันเป็นปฏิกิริยาระหว่างออกซิเจนกับพันธะคู่ของโมเลกุลน้ำมัน ยังมีพันธะคู่มากเท่าไร การแห้งตัวก็จะ

ยิ่งเร็วขึ้น นอกจากนี้ตำแหน่งพันธะคู่ก็มีผลต่อสมบัติการแข็งตัวของน้ำมัน ถ้ามีพันธะคู่สลับเดี่ยวจะเกิดปฏิกิริยาและแข็งตัวได้เร็วกว่าพันธะคู่สลับห่าง



ตารางที่ 2.1 โครงสร้างของกรดไขมันชนิดต่างๆ

กรดไขมัน	ชื่อเคมี	โครงสร้าง
Palmitic	hexadecanoic	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>14</sub> COOH
stearic	octadecanoic	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>16</sub> COOH
Oleic	9-octadecanoic	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> CH=CH(CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> COOH
Ricinoleic	12-hydroxyl-cis-9-octadecanoic	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub>   OH CHCH <sub>2</sub> CH=CH(CH <sub>2</sub> )COOH
Linoleic	cis-cis-9,12-octadecadienoic	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> CH=CHCH <sub>2</sub> CH=CH(CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> COOH
Linolenic	cis-cis-cis-9,12,15-octadecadienoic	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH=CHCH <sub>2</sub> CH=CHCH <sub>2</sub> CH=CH(CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> COOH
Eleostearic	9,11,13-octadecatrienoic	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> CH=CHCH=CHCH=CH(CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> COOH แอลฟา (cis-trans-trans) บีตา (trans-trans-trans)
Lecanic	4-keto-9,11,13-octadecatrienoic	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> CH=CHCH=CHCH=(CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> CO(CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> COOH แอลฟา (cis-trans-trans) บีตา (trans-trans-trans)
Parinaric	9,11,13,15-octadecatetraenoic	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH=CHCH=CHCH=CHCH=CH(CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> COOH

### 2.2.3 ชนิดของน้ำมัน

อาจแบ่งน้ำมันตามสมบัติในการแห้งตัว ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณความไม่อิ่มตัวของกรดไขมันที่มีอยู่ในน้ำมันนั้นๆ และแบ่งได้เป็น 3 ชนิด คือ

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

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

3. น้ำมันไม่แห้ง (Non-drying oil) ไม่สามารถแห้งตัวได้ น้ำมันชนิดนี้ประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัวเป็นส่วนใหญ่ มักใช้ประโยชน์เป็นพลาสติกไซเซอรส์สำหรับเรซิน ที่ใช้เป็นสารยึดใน แล็กเกอร์ ตัวอย่างของน้ำมันไม่แห้งได้แก่ น้ำมันละหุ่ง เป็นต้น

### 2.2.4 การวิเคราะห์น้ำมัน (Analysis of oils)

ไม่ว่าจะเป็นน้ำมันใดก็ตามก่อนที่จะนำมาใช้งานต้องตรวจสอบคุณภาพเสียก่อน โดยทำตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ เช่น มาตรฐาน B.S. (British Standards) มาตรฐาน ASTM (American Society for Testing and Materials) มาตรฐาน AOCs (American Oil Chemists Society) เป็นต้น สำหรับประเทศไทย ก็มีมาตรฐาน มอก (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม) นำมาใช้ในการรับรองคุณภาพของผลิตภัณฑ์ประเภทต่างๆ

1. ค่าความเป็นกรด (Acid Value) นิยามไว้ว่า เป็นจำนวนมิลลิกรัมของโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่ต้องใช้ในการทำให้กรดอิสระเป็นกลางในน้ำมัน 1 กรัม

ค่าความเป็นกรด เป็นค่าที่บอกถึงปริมาณความเป็นกรดอิสระที่มีในน้ำมัน มีวิธีการหา ดังนี้ ชั่งน้ำมันให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน ละลายในตัวกลางที่เป็นกลาง (ไอโซโพรพานอล:โทลูอิน อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก) แล้วไทเทรตกับสารละลายมาตรฐาน โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่มีความเข้มข้น 0.1 N (0.1 N KOH) ใช้ฟีนอล์ฟทาเลิน (Phenolphthalein) เป็นอินดิเคเตอร์ คำนวณหาค่าความเป็นกรดโดยใช้สูตร

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

สำหรับรายละเอียด ดูได้จาก ASTM D 1639

2. ค่าสะพอนิฟิเคชัน (Saponification Value) นิยามไว้ว่า เป็นจำนวนมิลลิกรัมของโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่ต้องใช้ในการสะพอนิฟายเอสเทอร์ และสารอื่นๆที่สามารถเกิดสะพอนิฟิเคชันได้ในน้ำมันหนัก 1 กรัม

การหาค่าสะพอนิฟิเคชัน ทำได้โดย ชั่งน้ำมัน เดิมสารละลายแอลกอฮอล์โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (Alcoholic KOH) จากนั้นนำไปกลั่นไหลกลับ (Reflux) จนปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ แล้วนำไปไทเทรตกับสารละลายกรดเกลือมาตรฐานที่มีความเข้มข้น 0.5 N (0.5 N HCl) โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ ทำการทดสอบแบลนค์ (Blank titration) ด้วย กำหนดค่าโดยวิธีสูตร

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

โดยที่ B คือ จำนวนมิลลิตรของสารละลาย HCl ที่ใช้ในการไทเทรตสารละลายแบลนค์

V คือ จำนวนมิลลิตรของสารละลาย HCl ที่ใช้ในการไทเทรตน้ำมัน

N คือ ความเข้มข้นของ HCl

S คือ น้ำหนักเป็นกรัมของน้ำมัน

สำหรับรายละเอียด ดูได้จาก ASTM D 1962

3. สารที่สะพอนิฟายไม่ได้ (Unsapnifiable Matter) สารเหล่านี้เป็นสารที่ละลายได้ในน้ำมัน แต่จะไม่เกิดเป็นสบู่ เมื่อให้ทำปฏิกิริยากับโปแตสเซียมหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ สารเหล่านี้จะละลายในตัวทำละลายน้ำมัน เช่น ปิโตรเลียมอีเทอร์ ไดเอทิลอีเทอร์ เป็นต้น

การหาค่าสารที่สะพอนิฟายไม่ได้ ทำได้โดย หลังจากนำน้ำมันไปทำสะพอนิฟิเคชันแล้ว นำส่วนที่เหลือมาสกัดด้วยตัวทำละลายไขมัน ก็จะสามารถหาเปอร์เซ็นต์ของสารที่สะพอนิฟายไม่ได้ ซึ่งมีอยู่ในน้ำมันได้

4. ค่าไฮดรอกซิล (Hydroxyl Value) เป็นค่าที่บอกถึงปริมาณหมู่ไฮดรอกซิลที่มีอยู่ในน้ำมัน นิยามได้ว่าเป็นจำนวนมิลลิกรัมของโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ที่สมมูล (Equivalent) กับปริมาณหมู่ไฮดรอกซิลที่มีในน้ำมันหนัก 1 กรัม

น้ำมันส่วนใหญ่ไม่มีหมู่ไฮดรอกซิล ยกเว้นน้ำมันละหุ่ง จะพบหมู่ไฮดรอกซิลในส่วนของกรดไขมันที่มีอยู่ในโครงสร้างของน้ำมัน คือ กรดริซิโนลินิก ถึง 90%

การหาค่าไฮดรอกซิลทำได้โดยนำน้ำมันมาทำปฏิกิริยากับสารละลายของแอซีติกแอนไฮไดรด์ในไพริดีน (Pyridine solution of acetic anhydride) จากปฏิกิริยาแอซีติกแอนไฮไดรด์ที่มากเกินไปจะถูกไฮโดรไลซ์เกิดเป็นกรดแอซีติก ซึ่งสามารถหาปริมาณได้โดยการไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานแอลกอฮอล์โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์

สำหรับรายละเอียด ดูได้จาก ASTM D 1957

5. ค่าไอโอดีน (Iodine Value) เป็นการวัดปริมาณความไม่อิ่มตัวที่มีในน้ำมัน นิยามไว้ว่าเป็นจำนวนมิลลิกรัมของไอโอดีน ที่ถูกดูดโดยน้ำมัน 1 กรัม เช่น น้ำมันชนิดหนึ่งมีค่าไอโอดีนเท่ากับ 140 หมายความว่า น้ำมัน 100 กรัม จะทำปฏิกิริยาพอดีกับไอโอดีน 140 กรัม

การหาค่าไอโอดีน ทำได้โดยชั่งตัวอย่างน้ำมันให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน นำมาละลายในตัวทำละลายเฉื่อย เช่น คลอโรฟอร์ม คาร์บอนเตตระคลอไรด์ แล้วเติมสารละลายที่มีหมู่ธาตุฮาโลเจนอิสระ ที่รู้ปริมาณแน่นอนลงไป เก็บไว้ในที่มืด 1 ชั่วโมง เติมน้ำละลายโพแตสเซียมไอโอไดด์ (KI) จะเกิดไอโอดีนออกมา นำมาไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟตที่มีความเข้มข้น 0.1 N (0.1 N  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ) ใช้น้ำแข็งเป็นอินดิเคเตอร์ ทำการทดสอบแบลนด์ด้วย โดยใช้สูตร

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

S

โดยที่ B คือ จำนวนมิลลิตรของ  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  ที่ใช้ในการไทเทรตสารละลายแบลนด์

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

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

S คือ น้ำหนักเป็นกรัมของน้ำมัน

สำหรับรายละเอียด ดูได้จาก ASTM D 1959

### 2.3 น้ำมันทัง (Tung Oil) [4]

ได้จากผลของต้นไม้ 2 ชนิดด้วยกัน คือ *Aleurites frodii* Hemmley และ *Aleurites Montana* มักเรียกกันว่า ชนิด F และ M ตามลำดับ

ต้นทังมีลักษณะคล้ายต้นแอปเปิ้ล แหล่งกำเนิดอยู่ในตะวันออกไกล ปลูกกันมากตามแถบแม่น้ำแยงซีเกียงในประเทศจีน ดังนั้น จึงเรียกน้ำมันทังอีกชื่อหนึ่งได้ว่า China wood oil อาจเรียกสั้นๆว่า Wood oil หรือ Hankow Oil ก็ได้ ผลของต้นทังมีขนาดเท่าส้มผลเล็กๆ ข้างในมีเปลือกแข็ง (Nut) 5 เปลือก แต่ละผลมีน้ำมันอยู่ประมาณ 50 -60 % ซึ่งสามารถบีบเอาออกมาได้ กากที่เหลืออยู่เป็นพืชซึ่งไม่สามารถนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ได้ดังเช่นในกรณีของน้ำมันลินสีด ดังนั้น จึงเอาไปทำปุ๋ยน้ำมันทังมีสีเหลืองอ่อน มีกลิ่นเฉพาะตัว มีความหนาแน่นสูงกว่าน้ำมันลินสีดและมีค่าดัชนีหักเหค่อนข้างสูง น้ำมันทังส่วนใหญ่ ประกอบด้วยกลีเซอไรด์ของกรดแอลฟา-อิลีโอสเตอริกซึ่งมีพันธะคู่สลับเดี่ยว 3 พันธะ น้ำมันชนิด F มีกรดอิลีโอสเตอริกประมาณ 79-82% กรดโอลิอิกประมาณ 12 % และที่เหลือเป็นกรดอิ่มตัว ส่วนน้ำมันชนิด M มีกรดอิลีโอสเตอริกประมาณ 75 - 78% กรดโอลิอิกประมาณ 15 % กรดแอลฟา-อิลีโอสเตอริก มีจุดหลอมเหลว 48 -49 องศาเซลเซียสและจะเปลี่ยนเป็นกรดบีตา ซึ่งมีจุดหลอมเหลว 71 องศาเซลเซียสได้ เมื่อถูกกับแสงสว่างหรือสารฮาโลเจน บีตาอิลีโอสเตอริกมีจุดหลอมเหลวสูงกว่าแอลฟาอิลีโอสเตอริก ดังนั้น น้ำมันทังอาจจะเกิดผลึกของบีตาอิลีโอสเตอริก กลายเป็นน้ำมันที่แข็งเมื่อเก็บไว้นานๆ

สมบัติพิเศษของน้ำมันทั้ง คือสามารถเกิดพอลิเมอร์โดยตรงจากปฏิกิริยาการสังเคราะห์ไดอีน(Diene synthesis) ได้ เนื่องจากน้ำมันทั้งมีกรดอิลีโอสเดอริกอยู่เป็นปริมาณสูง และจะเกิดปฏิกิริยาเนื่องมาจากพันธะคู่สลับเดี่ยว ซึ่งแตกต่างกับน้ำมันลินสีดที่จะเกิดพอลิเมอร์แบบเดียวกันได้ก็ต่อเมื่อเป็นไอโซเมอร์ (Isomer) ก่อน โดยทั่วไป ฟิล์มที่ได้จากน้ำมันทั้งจะแห้งตัวได้เร็วกว่าฟิล์มจากน้ำมันลินสีดมาก แต่ฟิล์มที่ได้มีลักษณะขุ่น และถ้าให้ความร้อนน้ำมันทั้งที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานานๆ จะเกิดปฏิกิริยา (Gelation) อุณหภูมิจะสูงขึ้นเรื่อยๆ น้ำมันจะดำ หรือถ้าอุณหภูมิสูงมากๆ ก็อาจจะติดไฟได้ เวลาที่ต้องใช้ในการทำให้น้ำมันเกิดเป็นเจลที่อุณหภูมิต่างๆ เอามาใช้บอกและตรวจสอบคุณภาพของน้ำมันทั้งได้ เรียกกันว่า gelation test นำมาใช้กำหนดชนิดของน้ำมันทั้งได้ เช่น มาตรฐาน B.S. กำหนดไว้ว่า ที่อุณหภูมิ 276 องศาเซลเซียส ถ้าเป็นน้ำมันชนิด F จะต้องแข็งตัวเป็นเจลในเวลาไม่เกิน 15 นาที และถ้าเป็นชนิด M จะต้องแข็งเป็นเจลในเวลาไม่เกิน 22 นาที

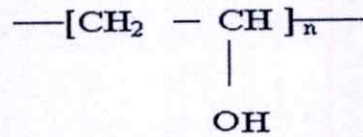
น้ำมันทั้งดิบ (Raw tung oil) ที่จะเอามาใช้ในอุตสาหกรรมเคลือบผิวได้ดี ควรมีคุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ตามที่ ISO ( International Organization for Standardization) กำหนดไว้ดังนี้

	น้ำมันทั้งชนิด F	น้ำมันทั้งชนิด M
ความหนาแน่น 20 องศาเซลเซียส	0.935-0.940	0.930-0.940
40 องศาเซลเซียส	0.921-0.926	0.916-0.925
ดัชนีหักเห 20 องศาเซลเซียส	1.517-1.522	1.511-1.522
40 องศาเซลเซียส	1.510-1.515	1.504-1.515
สารที่ระเหยได้ , ร้อยละ	0.30	0.30
ค่าของกรด	5	5
ค่าสะพอนิฟิเคชัน	189-195	189-195
สารที่สะพอนิฟายไม่ได้ , ร้อยละ	1	1
ระยะเวลาเกิดเป็นเจล (276 องศาเซลเซียส )	15 นาที	22 นาที

สามารถนำน้ำมันทั้งมาผสม และคัมกับเรซินหลายๆชนิด เช่น ชันสน (Rosin) เพื่อทำเป็นวาร์นิชได้ วาร์นิชที่ได้จะแห้งเร็ว ทนทานต่อน้ำ ค่าง การขัดสี และสภาพลมฟ้าอากาศได้ดี ถ้าใช้ฟีนอลิกเรซินผสมกับน้ำมันทั้งทำเป็นสารยึด ฟิล์มที่ได้จากสารยึดจะแห้งตัวภายใน 4 ชั่วโมง ทนทานต่อน้ำและสารเคมีได้ดีมาก สารยึดที่ได้จากน้ำมันทั้ง (Tung-oil based binder) มีข้อเสีย คือฟิล์มที่ได้จะเปราะ เนื่องจากสภาพลมฟ้าอากาศที่เปลี่ยนแปลงเกิดการแตกและหลุดล่อนเร็วกว่าสารยึดที่ทำจากน้ำมันลินสีด (Linseed-oil based binder) ดังนั้น ถ้าต้องการฟิล์มที่แห้งเร็ว แข็งตัว และทนทานต่อน้ำและลมฟ้าอากาศก็ทำได้โดยการปรับอัตราส่วนการใช้ น้ำมันลินสีดและน้ำมันทั้งในสารเคลือบผิวให้พอเหมาะ

## 2.4 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ [6,7]

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีคุณสมบัติที่เด่นคือ เป็นอิมัลซิฟายเออร์ ความเป็นกาวและสามารถเกิดเป็นฟิล์มได้ ทนน้ำมัน ทนสารละลาย ไม่มีกลิ่น สี ทนแรงดึงได้สูง ยืดหยุ่น มีจุดเดือดที่ 230 °C และสลายตัวได้อย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูง



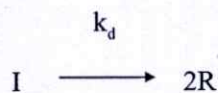
## 2.5 พอลิเมอไรเซชัน (Polymerization)[5,6,7]

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

### 2.5.1 พอลิเมอไรเซชันแบบลูกโซ่หรือแบบรวมตัว

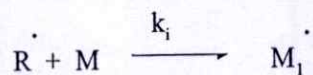
กลไกของการเกิดปฏิกิริยาอาจเป็นแบบฟรีเรดิคัล (Free radical คืออะตอมหรือกลุ่มอะตอมที่มีอิเล็กตรอนเดี่ยว) หรือ แบบอไอออนิก (Ionic) ก็ได้ กลไกแบบปฏิกิริยาลูกโซ่ทุกชนิด มี 3 ขั้นตอน คือ ขั้นริเริ่ม (Initiation) ขั้นแผ่ขยายสายโซ่ (Propagation) และขั้นสิ้นสุดสายโซ่ (Termination) สำหรับปฏิกิริยาฟรีเรดิคัล สารที่ใช้เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยาส่วนใหญ่เป็นพวกเปอร์ออกไซด์อินทรีย์ (Organic peroxide) เช่น เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ (Benzoyl peroxide) และเปอร์ออกไซด์อนินทรีย์ (Inorganic peroxide) เช่น โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต เมื่อให้ความร้อน หรือ แสง พันธะ -O-O- ของเปอร์ออกไซด์อินทรีย์ จะสลายให้อนุมูลอิสระซึ่งทำหน้าที่ริเริ่มปฏิกิริยาลูกโซ่ โดยขั้นตอนทั้งสามของปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบฟรีเรดิคัล คือ

ในขั้นเริ่มต้นจะประกอบไปด้วย 2 ปฏิกิริยา ปฏิกิริยาแรกเป็นการสร้างอนุมูลอิสระโดยการแตกตัวของตัวริเริ่มต้น I เป็นอนุมูลอิสระหนึ่งคู่



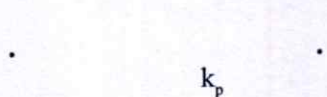
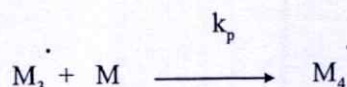
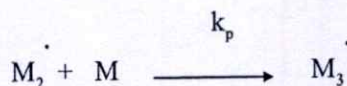
โดยที่  $k_d$  เป็นค่าคงที่ของอัตราเร็วสำหรับการแตกตัวของตัวริเริ่มต้น

ในปฏิกิริยาส่วนที่ 2 คือการเติมของอนุมูลอิสระไปยังโมเลกุลของมอนอเมอร์ตัวแรกทำให้เกิดตัวริเริ่มสายโซ่  $\text{M}_1^\cdot$

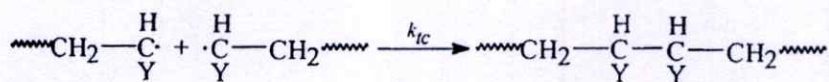


โดย M เป็นโมเลกุลของมอนอเมอร์ และ  $k_i$  คือค่าคงที่ของอัตราเร็วสำหรับขั้นการเริ่มต้น

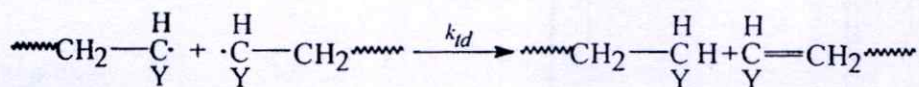
ขั้นขยายสายโซ่ (Propagation step) ประกอบไปด้วยมอนอเมอร์ที่กำลังเจริญเติบโต  $M_1 \cdot$  เติบโตโมเลกุลมอนอเมอร์ในปริมาณมาก



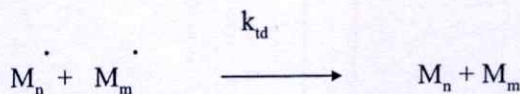
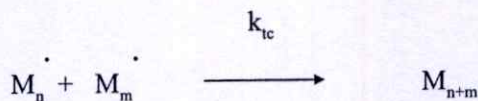
พอลิเมอร์ที่กำลังขยายตัวจะหยุดเจริญเติบโตและสิ้นสุด การสิ้นสุดเกิดจากความว่องไวของอนุมูลอิสระหมดไป โดยปฏิกิริยาระหว่างสองโมเลกุลของอนุมูลอิสระ อนุมูลอิสระสองตัวจะทำปฏิกิริยากัน โดยการรวมตัวกัน (Combination coupling)



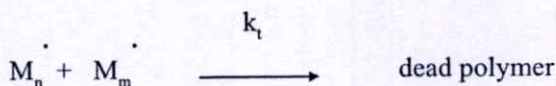
หรือเกิดการแลกเปลี่ยนอนุมูลอิสระไฮโดรเจน โดยการถ่ายโอนไปยังอนุมูลอิสระตัวอื่น เป็นผลมาจากการเกิด โมเลกุลพอลิเมอร์สองตัว และได้ส่วนที่ไม่อิมตัวหนึ่งส่วน



การสิ้นสุดเกิดขึ้นได้โดยการรวมตัวกัน (Combination) หรือการแลกเปลี่ยนอนุมูลอิสระอย่างไม่ได้สัดส่วน โดยอาจจะเขียนทั้งสองแบบนี้ให้อยู่ในรูปอย่างง่ายดังนี้



โดย  $k_{tc}$  และ  $k_{td}$  เป็นค่าคงที่ของอัตราเร็วในการสิ้นสุดปฏิกิริยาโดยการรวมตัวกัน และการแลกเปลี่ยนอนุมูลอิสระอย่างไม่ได้สัดส่วนตามลำดับหรืออาจเขียนปฏิกิริยาสิ้นสุดอย่างง่ายได้ดังนี้



โดย  $k_t$  เป็นค่าคงที่ของอัตราเร็วในการสิ้นสุดปฏิกิริยา

### 2.5.2 พอลิเมอร์ไซเซชันแบบขั้นหรือแบบควบแน่น

พอลิเมอร์ไซเซชันประเภทนี้โดยทั่วไปใช้มอนอเมอร์ 2 ชนิด ซึ่งต่างก็มีหมู่แสดงสมบัติเฉพาะตัว 2 หมู่ในโมเลกุล เนื่องจากมีหมู่แสดงสมบัติเฉพาะตัวสองหมู่ หลังเกิดปฏิกิริยาควบแน่นแล้วยังมีหมู่แสดงสมบัติเฉพาะตัวเหลือที่จะทำปฏิกิริยาต่อไปได้เรื่อยๆ จนได้โมเลกุลที่มีน้ำหนักสูงหรือพอลิเมอร์

พอลิเมอร์แบบควบแน่นที่เตรียมจากมอนอเมอร์ที่มีหมู่แสดงสมบัติเฉพาะตัว 2 หมู่ ได้โครงสร้างเชิงเส้นตันหรือโซ่ยาวเป็นเส้นตรง แต่ถ้ามอนอเมอร์มีหมู่แสดงสมบัติเฉพาะตัว 3 หมู่ หรือมากกว่า หลังเกิดปฏิกิริยาจะได้โครงสร้างของพอลิเมอร์แบบมีกิ่งสาขา และบางครั้งกิ่งสาขาเหล่านี้ อาจเกิดการเชื่อมโยงกันภายในโมเลกุลหรือกับโมเลกุลของพอลิเมอร์อื่นๆ เกิดเป็นพอลิเมอร์แบบเชื่อมโยง (Cross linked polymer) หรือพอลิเมอร์แบบร่างแห (Network polymer) ซึ่งพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแบบร่างแหนี้ มีความแข็งแรงมาก ทนต่อความร้อนได้ดี โดยปกติจะไม่หลอมตัว (สลายตัวก่อนหลอม) และยากที่จะละลายในตัวทำละลายปกติ

## 2.6 เทคนิคการสังเคราะห์พอลิเมอร์ [6]

เทคนิคที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์โดยทั่วไป แบ่งเป็น 4 เทคนิคด้วยกัน คือ

### 2.6.1 เทคนิคพอลิเมอไรเซชันแบบบัลค์ (Bulk polymerization)

เทคนิคพอลิเมอไรเซชันแบบบัลค์เป็นกระบวนการที่ง่ายที่สุด โดยการสังเคราะห์พอลิเมอร์มีเพียงมอนอเมอร์ และสารก่อเกิดปฏิกิริยา (Initiator) หรือสารเร่งการเกิดปฏิกิริยา (Catalyst) เท่านั้น ผลผลิตที่ได้จึงมีสิ่งเจือปนอยู่น้อย แต่ปัญหาของกระบวนการนี้คือเมื่อปฏิกิริยาคำเนินไปความหนืดของระบบอาจเพิ่มขึ้นถึง  $10^4$  เท่า เมื่อเทียบกับความหนืดของมอนอเมอร์ และเกิดการคายความร้อนสูง ทำให้เกิดการย่อยสลายของสายโซ่ได้

### 2.6.2 เทคนิคพอลิเมอไรเซชันแบบสารละลาย (Solution polymerization)

เป็นเทคนิคที่สามารถใช้แก้ปัญหาเกี่ยวกับความหนืดและการเกิดความร้อนระหว่างการสังเคราะห์แบบบัลค์ โดยใช้ตัวทำละลาย เช่น คลอโรฟอร์ม โทลูอิน หรืออื่นๆ ร่วมในระบบ ซึ่งตัวทำละลายที่เลือกใช้นี้ต้องสามารถละลายส่วนผสมทุกชนิดในระบบได้ รวมทั้งพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการสังเคราะห์ด้วย โดยความหนืดของระบบเมื่อเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันจะไม่สูงเท่ากับกรณีของการสังเคราะห์แบบบัลค์ การควบคุมความหนืดทำได้โดยการเพิ่มปริมาณตัวทำละลาย แต่การใช้ตัวทำละลายทำให้เกิดปัญหาการถ่ายโอนสายโซ่ และการคงค้างของตัวทำละลายในเนื้อพอลิเมอร์ (Polymer matrix) ซึ่งปริมาณปนเปื้อนของตัวทำละลายในการสังเคราะห์พอลิเมอร์จะส่งผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้

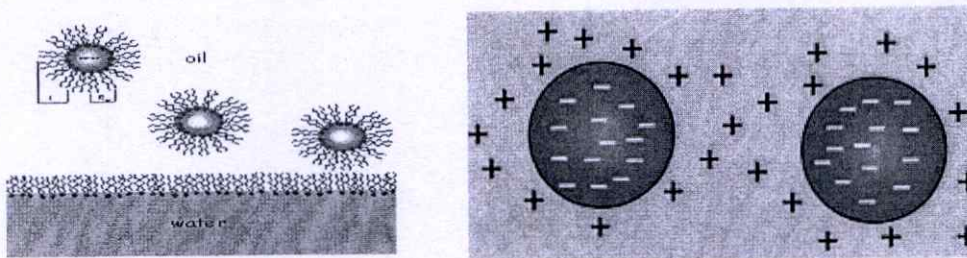
### 2.6.3 เทคนิคพอลิเมอไรเซชันแบบแขวนลอย (Suspension polymerization)

ทำได้โดยการให้มอนอเมอร์แขวนลอยเป็นหยดเล็กๆ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50-500 ไมโครเมตร (ขนาดใหญ่กว่าเทคนิคอิมัลชัน) ในของเหลวที่ไม่ว่องไวต่อปฏิกิริยา เช่น น้ำ หยดของพอลิเมอร์จะถูกปั่นกววนอย่างรวดเร็ว เพื่อป้องกันการเกาะรวมกันเป็นก้อน และอาจมีการเติมสารคงสภาพ (Dispersants) ด้วย ซึ่งสารคงสภาพจะละลายปนอยู่ในชั้นน้ำ เพื่อป้องกันการเกิดเป็นเจลของพอลิเมอร์ มอนอเมอร์ที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้ควรเกิดผ่านกลไกอนุมูลอิสระ และละลายในน้ำได้น้อยมาก พอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะเป็นเม็ดกลมๆ คล้ายไข่มุกบางครั้งจึงเรียกเทคนิคนี้ว่า Pear polymerization

### 2.6.4 เทคนิคพอลิเมอไรเซชันแบบอิมัลชัน (Emulsion polymerization)

เป็นเทคนิคที่พัฒนามาจากวิธีแบบแขวนลอยใช้มากในอุตสาหกรรม โดยเฉพาะพอลิเมอร์ที่เกิดผ่านกลไกอนุมูลอิสระ วิธีนี้ต่างจากแบบแขวนลอยตรงที่ตัวเริ่มต้นไม่ละลายในมอนอเมอร์แต่ละลายในตัวกลาง ซึ่งโดยส่วนใหญ่ คือ น้ำ แล้วแพร่เข้าไปในหยดมอนอเมอร์ ขนาดของหยดมอนอเมอร์จะมีขนาดเล็กกว่าแบบแขวนลอย คืออยู่ในช่วง 0.05-0.5 ไมโครเมตร ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นของระบบจะคล้ายน้ำมัน อนุภาคในระบบอิมัลชันจะไม่ตกตะกอนทันทีที่หยุดปั่นกววน เพราะสารลดแรงตึงผิวที่อยู่บนผิวอนุภาคของพอลิเมอร์ถูกล้อมรอบด้วยโมเลกุลของน้ำ จึงเรียกลักษณะของพอลิเมอร์ที่ได้ว่า ลาเท็กซ์ (Latex)

## 2.7 การเกิดอนุภาคพอลิเมอร์คอลลอยด์ [9]

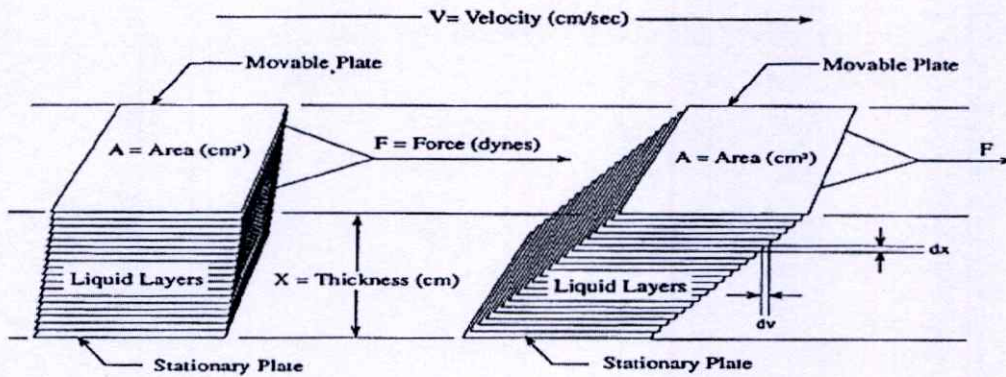


รูป 2.1 การเกิดอนุภาคพอลิเมอร์คอลลอยด์

อิมัลชันพอลิเมอร์ไรซ์ชันเป็นกระบวนการหนึ่งของระบบที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกันมีลักษณะที่สำคัญที่สุดที่แตกต่างจากพอลิเมอร์ไรซ์ชันแบบบัลค์หรือสารละลายในระบบที่เป็นเนื้อเดียวกัน คือ อนุโมลติสระจะพรอพาเกตแยกไปในแต่ละส่วน เช่น แยกไปในแต่ละอนุภาคซึ่งองศาของการแยกของอนุโมลติสระขึ้นกับองศาของการแบ่งของที่เกิดปฏิกิริยาและอัตราการเข้าออกของอนุโมลติสระ ดังนั้นกระบวนการของการปฏิกิริยาที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกันประเภทนี้จึงเหมาะที่จะใช้เตรียมพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง โดยที่มีอัตราการเกิดพอลิเมอร์ไรซ์ชันสูง

## 2.8 ความหนืด

ความหนืด (Viscosity) คือ ความสามารถในการต้านทานการไหลของของไหล เมื่อมีแรงมากระทำของไหลที่มีความหนืดสูงจะมีค่าความต้านทานต่อการไหลสูง ของไหลที่มีความหนืดต่ำ จะมีค่าความต้านทานต่อการไหลต่ำของไหลธรรมดาสามารถที่จะแสดงค่าความหนืดสัมบูรณ์ได้แต่ในขณะหนึ่งของไหลที่มีส่วนผสมของสารหลายตัวจะมีลักษณะการไหลที่ซับซ้อนและไม่สามารถแสดงค่าความหนืดค่าเดียวได้ การวัดความหนืดทำได้โดยการวัดแรงต้านทานการไหลภายในของของไหลเมื่อมีแรงมากระทำ (F) ในแนวขนานกับพื้นผิวเรียก แรงต้านที่เกิดขึ้นนี้ว่า แรงเฉือน (Shear force) เมื่อพิจารณาถึงก้อนของไหลซึ่งประกอบด้วยแผ่น โมเลกุลที่ขนานกันชั้นที่อยู่ล่างสุดของของไหลจะถูกยึดไว้ถ้าแผ่นด้านบนของของไหลได้รับแรงกระทำให้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ที่แผ่นด้านล่างถดถลงไปจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเป็นสัดส่วน โดยตรงกับระยะทางจากแผ่นของไหลชั้นล่างสุดที่ไม่เคลื่อนที่ ความแตกต่างของความเร็ว (dv) ระหว่างของไหลสองแผ่นกับระยะทางที่เปลี่ยนไป (dx) ก็คืออัตราเฉือน (Shear rate) ที่อยู่ในเทอมของ velocity gradient ( $dv/dx$ , S) ค่าแรงต่อหน่วยพื้นที่ ( $F/A$ ) ที่ทำให้เกิดการไหลเรียกว่า แรงเฉือนต่อหน่วยพื้นที่ (Shear stress, F) ถ้าของไหลมีความหนืดสูงขึ้น ก็ต้องใช้แรงเฉือนที่สูงขึ้นเพื่อให้ได้ อัตราเฉือนเท่าเดิม ดังนั้นอัตราเฉือนจึงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงเฉือน



$$\tau = \text{Shear Stress} = F/A \text{ (dynes/cm}^2\text{)}$$

$$\gamma = \text{Shear Rate} = V/X \text{ (sec}^{-1}\text{)}$$

$$\eta = \text{Viscosity} = \text{Shear Stress/Shear Rate} = \tau/\gamma \text{ (dynes-sec/cm}^2\text{) or (Poise)}$$

## รูปที่ 2.2 การเกิดแรงเฉือนของของไหล

เนื่องจากความหนืดเป็นลักษณะเฉพาะตัวของของไหลแต่ละชนิดการวัดค่าความหนืดจึงเป็นการหาลักษณะเฉพาะของของไหลลักษณะการไหลจะเป็นการตอบสนองสมบัติต่างๆ ของของไหล เช่น น้ำหนักโมเลกุล การกระจายตัวของโครงสร้างโมเลกุล ซึ่งจากความสัมพันธ์นี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ในกระบวนการผลิตภาคอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับของเหลว เช่น สาเหตุของการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีในกระบวนการผลิต การสังเคราะห์พอลิเมอร์ การขึ้นรูปพอลิเมอร์ การตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ระหว่างกระบวนการผลิต และควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังใช้ประโยชน์ได้กับการเตรียมวัตถุดิบที่เป็นของเหลวเพื่อใช้ในกระบวนการผลิตได้อีกด้วย ความหนืดของกาวที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับลักษณะเครื่องจักรและขบวนการผลิตของแต่ละสายการผลิต

## 2.9 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อไม้ (Chemical Composition of Wood) [8]

การเจริญเติบโตของต้นไม้หรือพืช เกิดจากการเจริญของเซลล์ต่างๆ ภายในของพืชที่ทำหน้าที่แตกต่างกัน ได้แก่เซลล์ที่ทำหน้าที่ลำเลียงน้ำและอาหาร พวกแร่ธาตุต่างๆเรียกว่า เซลล์ลำเลียง (Conducting tissue) เซลล์ที่ทำหน้าที่ให้ความแข็งแรงแก่ต้นไม้เรียกว่า เซลล์ค้ำจุน (Supporting tissue)และเซลล์ที่ทำหน้าที่สะสมอาหารเรียกว่า เซลล์สะสม (Storage, Parenchymatous tissue)เซลล์หรือเนื้อเยื่อของพืชเหล่านี้ไม่ว่าจะทำหน้าที่ใดก็ตาม จะมีองค์ประกอบทางเคมีหลักๆอยู่ 2 ชนิดคือเซลลูโลส (Cellulose) และลิกนิน (Lignin) สำหรับเซลลูโลสจะมีอยู่ในผนังเซลล์เป็นส่วนใหญ่ แต่ลิกนินส่วนใหญ่จะอยู่ระหว่างเซลล์ทำหน้าที่เชื่อมต่อเซลล์ติดกันไว้ ส่วนประกอบของเซลลูโลส

และลิกนิน ในเนื้อไม้จะอยู่ในอัตราส่วนประมาณ 3:1 นอกจากเซลลูโลส และ ลิกนิน แล้วในเนื้อไม้ยังประกอบไปด้วยสารแทรก(Extractives) ที่อยู่ในช่องเซลล์หรือช่องระหว่างเซลล์และสารแทรกจะประกอบด้วยสารต่างๆมาก เช่น แป้ง น้ำตาล น้ำยาง ไขมัน น้ำมันหอม แทนนิน หรือรงควัตถุสี เป็นต้น ซึ่งจะทำให้ไม้มีกลิ่น สี ความมันวาว ส่งผลให้เกิดความแตกต่างกันไปตามชนิดแต่ละไม้ ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญทำให้คุณสมบัติของไม้ที่เกี่ยวข้องกับความทนทานตามธรรมชาติ และการยึดติดกับกาวเพื่อนำไปใช้ประโยชน์แตกต่างกันออกไป

### 2.9.1 ความละเอียดของเนื้อไม้ (Texture )

ความละเอียดของเนื้อไม้ (Texture ) หมายถึงขนาดของเซลล์เนื้อไม้ และความสม่ำเสมอทางขนาดของเซลล์เนื้อไม้ โดยทั่วไปพวกไม้เนื้อแข็ง (Hardwood ) ถิ่นเอาขนาดและจำนวนของเวสเซล (Vessel ) และเรย์ (Ray) เป็นหลักในการประมาณความหยาบและละเอียด สำหรับในกรณีของไม้เนื้ออ่อน (Softwood ) นั้นถิ่นเอาขนาดของทราเคอิด (Tracheid ) เป็นหลัก

การแบ่งความละเอียดของเนื้อไม้ ( Texture ) มีดังนี้

- เนื้อไม้หยาบ ( Coarse texture )
- เนื้อไม้หยาบปานกลาง ( Medium texture )
- เนื้อไม้ละเอียด ( Fine texture )
- เนื้อไม้สม่ำเสมอ ( Even texture )
- เนื้อไม้ไม่สม่ำเสมอ (Uneven texture)

### 2.9.2 เส้นไม้ ( Grain )

เส้นไม้ (Grain ) หมายถึง การเรียงตัวของเซลล์เนื้อไม้ตามแกนยาวของลำต้น แบ่งออกเป็น 4 ชนิดสำคัญ ดังนี้

- 1.เส้นตรง ( Straight grain) หมายถึง เซลล์ของเนื้อไม้เรียงตัวขนานกับแกนลำต้น
- 2.เส้นบิด (Spiral grain) หมายถึง เซลล์ของเนื้อไม้เรียงตัวเบี่ยงเบนไปจากแกนลำต้น
- 3.เส้นสน (Interlocked grain) หมายถึง เซลล์ของเนื้อไม้เรียงตัวเบี่ยงเบนไปจากแกนของลำต้นทั้งทางขวาและทางซ้ายสลับกัน
- 4.เส้นเป็นคลื่น ( Curly or wavy grain) หมายถึง เซลล์ของเนื้อไม้เรียงตัวขึ้นลง เป็นลอนๆ คล้ายลูกคลื่น

## 2.10 การใช้และการทดสอบกาวติดกาวไม้ [1,8,17]

ไม้ประสาน (Glued laminated wood) หมายถึง แผ่นไม้ที่ประกอบจากการนำเอาไม้แปรรูปขนาดเล็กมาเรียงต่อให้ขนานกันตามแนวเสี้ยนของกันและกัน แล้วยึดติดกันด้วยกาวให้มีขนาดความหนาหรือความกว้างหรือความยาวเพิ่มขึ้นเป็นแผ่นไม้เพียงแผ่นเดียว แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่ ไม้ประสานเพื่องานโครงสร้าง (Structural glued laminated timber, GLULAM) และ ไม้ประสานเพื่องานทั่วไป (Non-loadbearing glued laminated timber) ไม้ประสานเพื่องานโครงสร้าง ใช้สำหรับการใช้งานที่ต้องอาศัยความแข็งแรงของไม้ประสานเป็นประเด็นสำคัญ ได้แก่ การใช้งานในรูปแบบเสา คาน พื้น สะพานและอาคาร และโครงหลังคาเป็นต้น ส่วนไม้ประสานเพื่องานทั่วไป ใช้สำหรับการผลิตเป็นเครื่องเรือนของตกแต่ง และใช้ในครัวเรือนเป็นส่วนใหญ่ คำนี้ถึงความสวยงามเป็นหลักใหญ่ รองลงมาเป็นเรื่องของความทนทานของแผ่นไม้ คุณภาพของแผ่นไม้ประสานขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ซึ่งมีอิทธิพลจากผู้ผลิตแผ่นไม้ประสานและผู้จัดการกาว ที่จะต้องร่วมมือกันตลอดเวลาในระหว่างการผลิต เพื่อหาแนวทางหรือแก้ปัญหาที่จะทำให้ได้แผ่น ไม้ประสานที่สวยงามและมีคุณภาพ ขั้นตอนที่สำคัญของกระบวนการผลิตที่ควรตระหนักมากที่สุด ไม่ว่าจะเป็นการใช้กาวชนิดใดก็ตามในอุตสาหกรรมไม้

### 2.10.1. ความชื้นของ ไม้ที่จะนำมาประสาน

เราหาปริมาณความชื้นของไม้ เป็นปริมาณร้อยละเทียบกับน้ำหนักแห้งของไม้ โดยใช้สูตร

$$\frac{\text{น้ำหนักไม้ก่อนอบแห้ง} - \text{น้ำหนักไม้หลังอบแห้ง}}{\text{น้ำหนักไม้หลังอบแห้ง}} \times 100$$

วิธีการสามารถดูได้จากมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับไม้ต่างๆทั้งในประเทศคือมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) ของสำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม และมาตรฐานต่างประเทศที่นิยมได้แก่ American Standard ASTM D 2016 เป็นต้น สำหรับในโรงงานนิยมใช้เครื่องหาความชื้นไม้ขนาดเล็กและได้ผลรวดเร็วแทนการใช้ตู้อบ แต่ก็ต้องระมัดระวังใช้เครื่องให้ตรงกับคำแนะนำของผู้ผลิตเครื่องหาความชื้นในแบบและรุ่นนั้นๆ รวมทั้งต้องพยายามทำการเทียบวัดกับวิธีอื่น เพื่อให้ได้ค่าความชื้นที่เทียบตรงกับความเป็นจริงที่สุด ไม้ก่อนที่จะทำการทากาวต้องทำการอบก่อน เพื่อให้ได้ความชื้นของไม้ระหว่าง 6 ถึง 15% ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้นของบรรยากาศรอบๆบริเวณการผลิต แต่ระดับความชื้นที่เหมาะสมที่สุดควรอยู่ระหว่าง 10-12% ประเด็นสำคัญที่จะละเลยเสียมิได้คือ พยายามทำให้ไม้ก่อนที่จะอัดประสานมีความชื้นของไม้ทุกชิ้นเท่ากันให้ได้มากที่สุด ซึ่งโดยปกติจะต้องมีความชื้นของไม้ขึ้นที่จะอัดประสานติดกันไม่เกิน 2% หากสามารถรักษาให้ความชื้นไม้ที่อัดติดกันมีความชื้นใกล้เคียงที่สุด ก็จะช่วยลดแรงดึงของไม้จากการพองตัวและหดตัวลงได้ การพองตัวและหดตัวของไม้มีสาเหตุจากความชื้นภายในไม้ที่ไม่คงที่ตามสภาวะอากาศต่างๆ โดยเฉพาะเมื่อถูกนำไปใช้ในที่ที่มีสภาวะอากาศที่ต่างจากบริเวณ โรงงานที่ผลิตทำให้ไม้ต้องมีการปรับตัวให้มีความชื้นสมดุลกับสภาวะอากาศขณะนั้น จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง

ขนาดไปด้วย หากไม้แต่ละชิ้นที่นำมาประสานมีความชื้นที่แตกต่างกันมาก เมื่ออัดประสานกันแล้ว ความเค้นที่เกิดจากการเคลื่อนย้ายความชื้นของไม้นี้จะต้องระมัดระวังอย่างมาก โดยเฉพาะในกรณีของการส่งผลิตภัณฑ์ไม้ประสานไปยังประเทศอื่น เช่น ญี่ปุ่น ยุโรป และอเมริกา นอกจากนี้ปริมาณความชื้นของไม้ยังมีผลต่อคุณสมบัติการติดกาวด้วย เนื่องจากกาวที่ใช้ส่วนใหญ่ในการผลิตไม้ประสาน เป็นกาวที่อาศัยการแพร่กระจายไปบนพื้นผิวของไม้ กลไกการติดกาวจะเกิดขึ้นจากการระเหยหรือสูญเสียดังกล่าว (โดยเฉพาะน้ำ) ออกจากแนวกาว ดังนั้นเมื่อไม้มีความชื้นสูงจึงต้องใช้ระยะเวลาในการอัดที่นานขึ้น เนื่องจากน้ำในแนวกาวจะถูกดูดเข้าสู่ไม้ได้ช้าลง ในทางกลับกันเนื้อกาวในแนวกาวกลับแทรกซึมลงสู่เนื้อไม้มากขึ้นด้วย ทำให้มีเนื้อกาวในแนวกาวน้อยลงจนทำให้เกิดรอยต่อไม้แน่น (Starved joint) ในทำนองเดียวกันหากไม้แห้งหรือมีความชื้นต่ำเกินไป น้ำในแนวกาวจะแทรกซึมลงสู่เนื้อไม้อย่างรวดเร็ว จนเป็นผลให้แนวกาวแห้ง เป็นอุปสรรคต่อการเปียก (การแพร่ขยาย) ของกาวบนผิวหน้าไม้ เกิดเป็นรอยต่อกาวไม่ติด

### 2.10.2. การเตรียมชิ้นไม้ประสาน

ในขั้นตอนนี้เป็นที่เน้นที่คุณภาพของพื้นผิวไม้และขนาดที่มีความสม่ำเสมอและตัดฉากอย่างถูกต้อง เครื่องเลื่อยและเครื่องไสผิวหน้าต้องเที่ยงตรงและคม เพื่อให้ได้ผิวหน้าไม้ที่เรียบและขนาดที่ตรงสม่ำเสมอตลอดความยาวของไม้ จึงต้องทำการตรวจสอบชิ้นไม้ที่เลื่อยและไสก่อนทำการทากาวตลอดเวลา วิธีการง่าย ๆ ในการตรวจสอบนอกจากจะเทียบระนาบกับแท่งมาตรฐานแล้ว ยังอาจจะนำมากองเรียงชิ้นไม้ให้ขนานกันแล้วขีดด้วยแท่นยึดเพื่อคูร่องรอยการประชิด ส่วนการวัดมุมฉากก็สามารถตรวจสอบจากการตั้งฉากอีกครั้งหนึ่ง เครื่องไสจะต้องมีความคมและสภาวะต่างๆของเครื่องจะต้องพร้อมดีก่อนทำการไส โดยการตรวจสอบตั้งแต่ มุมมิด การตั้งใบมิด ความราบเรียบและเที่ยงตรงในการหมุนใบมิด แท่นป้อนและรับชิ้นไม้ต้องอยู่ในแนวระนาบตลอดทั้งแท่น เป็นต้น ใบมิดไสที่หยาบจะทำให้เกิดรอยไหม้บนผิวไม้ เป็นผลเสียโดยจะไปปิดรอยเสี้ยนของไม้เป็นอุปสรรคขัดขวางการแทรกซึมของกาวบนพื้นผิวหน้าที่จะทำการติดกาว

### 2.10.3 ระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการทากาว

ตามหลักทฤษฎีแล้ว ระยะเวลาตั้งแต่เตรียมไม้ซึ่งปกติตั้งแต่ไสไม้แล้วจนถึงทากาว จะต้องใช้เวลาที่สั้นที่สุดเท่าที่จะทำได้เพื่อให้ได้ผลของการยึดติดกาวที่ดี โดยทั่วไปควรทากาวหลังจากไสแต่งหน้าไม้ ภายในระยะเวลาไม่เกิน 24 ชั่วโมงระยะเวลาที่ใช้อาจสั้นยาวได้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดไม้แต่ละชนิด แต่เพื่อให้ได้คุณภาพการยึดติดกาวที่ดี การทากาวก็ยังคงควรกระทำวันเดียวกับการเตรียมไม้เป็นดีที่สุด เนื่องจากมีการศึกษาวิจัยแล้วพบว่าระยะเวลาระหว่างไสแต่งไม้จนทากาวเป็นช่วงวิกฤตที่สำคัญและต้องตระหนักไว้เสมอ โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากทำการเตรียมไม้แล้วผิวหน้าไม้ต้องกระทบกับแสงแดดจะโดยทางตรงหรือทางอ้อมก็ตาม เนื่องจากว่าสารประกอบเคมีบนผิวหน้าไม้จะเกิดการออกซิเดชัน ลดความสามารถในการซึมซาบของกาวส่งผลกระทบต่อความแข็งแรงของแนวกาว โดย

ความแข็งแรงจะลดลงเป็นปกติตรงเมื่อเพิ่มระยะเวลาระหว่างการไสไม้กับการทากาวอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง นอกจากนี้ยังพบว่าหากให้ไม้ตากแดดอยู่นอกอาคารเป็นเวลานาน ๆ ราว

2-3 วัน แม้จะใช้เวลาการทากาวหลังไสไม้ภายใน 5 ชั่วโมงก็ตาม ยังมีผลทำให้ความแข็งแรงของรอยต่อกาวลดลงถึง 20 % และหากให้ไม้ตากแดดไว้ราว 3 เดือนจะยิ่งทำให้ความแข็งแรงลดลงถึง 65 % เนื่องจากความสามารถในการแทรกซึมของกาวบนผิวหน้าไม้ลดลงจากสาเหตุการเกิดออกซิเดชันของไม้ ความสามารถในการซึมซาบของกาวบนผิวหน้าไม้สามารถพิจารณาอย่างง่าย ๆ โดยการหยอดหยดน้ำหรือสารเคมีบางชนิดลงบนผิวหน้าไม้และสังเกตการซึมซาบลงไป ในไม้ว่ายากง่ายเพียงใดหรือยังก่อตัวเป็นหยดอยู่บนผิวหน้าไม้ นอกจากนี้ยังมีการใช้สารพิเศษบ่งชี้บางตัว สำหรับการติดกาวที่ผิดปกติหรือยากต่อการติดไม้ นอกจากนี้ยังสามารถใช้เทคนิคการขัดผิว (Sanding) เป็นตัวบ่งชี้การติดกาวกับไม้ได้

#### 2.10.4 การเก็บรักษาและการผสมกาวและสารเร่งแข็ง

กาวและตัวเร่งต่าง ๆ ควรเก็บรักษาไว้ในที่เย็นเพื่อยืดอายุของกาวให้นานที่สุด โดยทั่วไปอายุของกาวที่เป็นของเหลวจะได้รับผลกระทบอย่างมากกับอุณหภูมิ โดยพบว่าหากอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 7 องศาเซลเซียส จะมีผลคล้ายกับการบ่มกาว หรือตัวเร่งให้ปฏิกิริยาเคมีเร็วขึ้น 2 เท่า ดังนั้นการเก็บรักษาของเหลวอย่างระมัดระวังและหลีกเลี่ยงให้ภาชนะบรรจุถูกแสงแดดเป็นสิ่งสำคัญมาก ในการผลิตแผ่นไม้ประสานทั่วไป (ยกเว้นการใช้สำหรับงานโครงสร้าง) กาวที่นิยมใช้มากขึ้น คือกาวชนิด 2 ส่วนผสม ได้แก่ กาวชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่ใช้สารไอโซไซยานเนต เป็นตัวเร่งแข็ง หรือกาวชนิดพอลิไวนิลอะซีเตต ที่ใช้เกลือโครเมียม หรืออลูมิเนียม เป็นตัวเร่งแข็ง การผสมให้ถูกสัดส่วนและเที่ยงตรงระหว่างกาวและตัวเร่งเป็นสิ่งสำคัญ การใช้เครื่องมือที่มีระบบการตรวจวัดและปล่อยกาวหรือตัวเร่งออกจากถังเก็บให้ผสมกันแล้วใช้ได้ทันทีอย่างอัตโนมัติและเที่ยงตรง เป็นสิ่งที่ควรพิจารณานำมาพัฒนาประยุกต์ใช้ในโรงงาน เครื่องผสมกาวที่ดีจะต้องผสมกาวให้ได้กาวที่มีคุณภาพสม่ำเสมอที่สุด โดยใช้กาวที่ใหม่สด และใช้สัดส่วนการผสมที่ถูกต้อง นอกจากนี้จะต้องใช้เวลาในการผสมกาวและตัวเร่งที่สั้นเพื่อเป็นการเพิ่มผลผลิตให้กับธุรกิจด้วย ความต่อเนื่องของเครื่องผสมกาวควรต่อเนื่องกับลูกกลิ้งทากาว เพื่อให้แน่ใจว่าเป็นกาวที่ผสมขึ้นใหม่ ๆ นอกจากนี้การเก็บรักษาของเหลวควรเก็บแยกห่างกัน และอยู่ในภาชนะที่ปิดมิดชิด เพื่อป้องกันการปนเปื้อนของสิ่งแวดล้อมที่ไม่พึงปรารถนาในโรงงาน เช่น ฝุ่นละออง และความชื้น เป็นต้น การผสมกาวรุ่นใหม่ ๆ ที่มีการค้นคว้าล่าสุด คือการผสมตัวเร่งลงบนกาวที่ไหลอยู่บนลูกกลิ้ง ในบริเวณก่อนการทาสองส่วนผสมกาวลงบนไม้ เครื่องผสมกาวนี้จะต้องอาศัย เครื่องวัดปริมาณกาวและตัวเร่งที่เที่ยงตรงมาก และสัมพันธ์กับการทำงานของลูกกลิ้ง เพื่อการใช้งานในลักษณะต่อเนื่องในการผลิตชิ้นงานปริมาณมาก ๆ (mass production) ในบางกรณีที่มีการใช้กาวในปริมาณไม่มากนัก ก็มักจะทำการผสมกาวและตัวเร่งด้วยมือ ซึ่งก็ต่อเมื่อระมัดระวังเป็นพิเศษให้มีการผสมเป็นเนื้อเดียวกันอย่างทั่วถึง โดยอาจจะสามารถพิจารณาจากสีของส่วนผสม หากกาวและตัวเร่งมีสีที่แตกต่างกัน แต่หากมีสีที่เหมือนกันการผสมต้องทำอย่าง

พื้ดินเป็นพิเศษ กาวที่ผสมแล้วสามารถใช้ได้นานตราบเท่าที่มันยังเป็นของเหลวที่ซึมแทรกหรือทำให้ไม้เปียกได้อย่างเพียงพอ หากระยะเวลาที่ใช้เตรียมกาวจนกระทั่งถึงช่วงที่กาวเริ่มมีความหนืด สูงจนไม่สามารถใช้งานได้ เราเรียกว่า อายุของกาว (pot life) อายุของกาวผสมส่วนใหญ่มักจะระบุไว้ในฉลากหรือใบกำกับการใช้งานสินค้าที่แนบมาจากผู้ผลิตกาว อายุของกาวผสมจะสั้นลงหากอยู่ในที่อุณหภูมิสูงขึ้นเช่นเดียวกับอายุการเก็บกาว (shelf life) อายุของกาวผสมจะยาวนานขึ้นหากเก็บรักษาในที่เย็น

#### 2.10.5 การทา กาว

กาวจะต้องทาไปบนผิวหน้าไม้อย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอ ทั้งนี้จะต้องขึ้นอยู่กับคุณภาพของเครื่องทา กาว ในกรณีที่ เป็นเครื่องทา กาวแบบลูกกลิ้งจะต้องพิจารณาเลือกคูที่ร่องของลูกกลิ้งที่เหมาะสม ลูกกลิ้งมักจะทำจากวัสดุที่เป็นโลหะแล้วหุ้มด้วยพลาสติก ในการเลือก ใช้ลูกกลิ้งว่าจะทำจากวัสดุชนิดใด ต้องพิจารณาว่ากาวและตัวเร่งเป็นสารเคมีประเภทใด เพื่อหลีกเลี่ยงการทำให้ผิวของลูกกลิ้งและร่องเสียหายได้ เมื่อใช้กาวประเภทอีพ็อกซี เช่น กาวโพลีเอทิลีนไดอ็อกไซด์หรือกาวลาเท็กซ์มักจะไม่มีปัญหาต่อคุณภาพของวัสดุที่ใช้ทำลูกกลิ้งนัก ส่วนผสมของกาวประเภทนี้จะไม่กัดกร่อนในขณะที่ใช้งาน แต่หากเป็นกาวยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ ซึ่งใช้ตัวเร่งเป็นกรด จะมีฤทธิ์สามารถกัดกร่อนได้บ้างขึ้นอยู่กับความรุนแรงของกรด และจะเกิดความเสียหายมากขึ้นหากมีการใช้ตัวเร่งแยกกับกาวโดยปกติลูกกลิ้งที่มีวัสดุพื้นผิวเป็นยางเมื่อใช้งานไประยะหนึ่งก็จะสึกหรือจึงต้องทำการเปลี่ยนใหม่เป็นระยะ ๆ การทา กาวแบบให้เป็นสายคล้ายริบบิ้น เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทา กาวที่ไม่ค่อยราบเรียบนัก ปริมาณของกาวที่ใช้เพื่อให้ได้การยึดติดที่ดี ขึ้นอยู่กับความเรียบและคุณสมบัติในการดูดซับของผิวหน้าไม้ รวมทั้งชนิดของกาวด้วย แต่ส่วนใหญ่จะใช้ปริมาณการทา กาว 100-200 กรัมต่อ ตารางเมตร สำหรับการใช้งานทั่วไปที่ไม่ใช่งาน โครงสร้าง โดยปกติสำหรับไม้ที่สามารถดูดซับกาวได้ การทา กาวบนผิวหน้าด้านเดียวก็เพียงพอแล้ว แต่หากเป็นไม้เนื้อแข็งและมีผิวลื่นเป็นน้ำมัน (Oily) หรือไม้ที่ยากต่อการติดกาว ก็ควรทำการทา กาวทั้งสองผิวหน้าไม้ การ ใช้ระยะเวลาในการประกบไม้ (Assembly time) ให้เพียงพอต่อการที่กาวสามารถเปียกบนผิวหน้าไม้และหลีกเลี่ยงการเฝิ้มไหลออกของกาวในขณะที่อัดเป็นสิ่งจำเป็นมาก แนวทางที่พอจะนำไปพิจารณาในเรื่องนี้คือ ขอให้ใช้กาวในปริมาณที่เพียงพอเหลือเป็นหยดกาวเล็กน้อย ปรากฏออกมาตามรอยต่อกาวเมื่อทำการอัด

#### 2.10.6 ระยะเวลาการประกบไม้

ช่วงเวลาประกบเพื่อรออัด (Assembly time) ช่วงเวลาประกบเพื่อรออัดเป็นระยะเวลาที่เริ่มจากการทา กาวจนกระทั่งทำการอัด สำหรับไม้เนื้อแข็งนั้นจะต้องใช้ช่วงเวลาประกบเพื่อรออัดที่นานขึ้นเพื่อให้กาวซึมซาบบนผิวหน้าไม้ก่อนทำการอัด ช่วงเวลาประกบเพื่อรออัดขึ้นอยู่กับปริมาณกาว อุณหภูมิ ความชื้นของไม้ ชนิดไม้ ฯลฯ ช่วงเวลาประกบเพื่อรออัดมี 2 ประเภท คือ ช่วงเวลารอประกบ (Open assembly time) และ ช่วงเวลารออัด (Closed assembly time) ซึ่งบ่อยครั้งในเอกสารกำกับจากผู้ผลิตมักจะระบุไว้ ช่วงเวลารอประกบเป็นช่วงระยะเวลาที่ขึ้น ไม้ที่ทา กาวแล้วปล่อยให้ทิ้ง

ไว้เพื่อรอการประกบกัน ส่วนช่วงเวลารออัดเป็นระยะเวลาที่ หลังจากขึ้นไม้ที่ทาขาวแล้วประกบปิดกันแต่ยังไม่ทำการอัด โดยหลักการแล้วช่วงเวลารออัดจะเป็น 2 เท่าของช่วงเวลารอประกบ

#### 2.10.7 แรงดันที่ใช้ในการอัด

กำลังอัดควรสูงให้เพียงพอที่จะอัดขึ้นไม้ที่ทาขาวแล้วเข้าด้วยกันเพื่อรอให้กาวเกิดการแข็งตัว หากทำการอัดประสานไม้หลาย ๆ ชั้น ควรระมัดระวังคำนวณกำลังอัดให้เหมาะสม และเพียงพอสำหรับแนวกาวทุก ๆ แนว สำหรับแต่ละแนวกาวที่ทาควรใช้กำลังอัด 5-8 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (0.5-0.6 MPa) และใช้ระยะเวลาในการอัดที่เพียงพอเพื่อมั่นใจว่ากาวเกิดการแข็งตัวเต็มที่เพียงพอแล้วก่อนที่จะทำการคายแรงดันออก

#### 2.10.8 อุณหภูมิในการอัด

การใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้ระยะเวลาในการอัดสั้นลง สำหรับการใส่กาวประเภทอีพ็อกซี เวลาอัดจะใช้ต่างกันไประหว่างอุณหภูมิห้องถึง 70-90 องศาเซลเซียส ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ในการอัดและชนิดของกาว เมื่ออัดไม้ด้วยกาวอีพ็อกซี จำเป็นต้องปล่อยระยะเวลาให้ไม้เย็นตัวให้เพียงพอก่อนทำการคายแรงดัน โดยเฉพาะการใช้วิธีการอัดแบบคลื่นความถี่สูง (High frequency heating) เหตุที่ต้องปล่อยให้เกิดการเย็นตัวหลังอัดนั้นก็เพื่อหลีกเลี่ยงความเสี่ยงในการเกิดการห่อน (Creep) ในแนวกาวเนื่องจากอุณหภูมิที่สูงและสมบัติของกาวประเภทเทอร์โมพลาสติกของตัวเอง

#### 2.10.9 ระยะเวลาในการอัด

ระยะเวลาในการอัดขึ้นอยู่กับปริมาณกาวที่ใช้ ชนิดของกาว อุณหภูมิในการอัด ชนิดของไม้ ฯลฯ การใช้อุณหภูมิในการอัดที่สูงจะส่งผลให้ระยะเวลาในการอัดสั้นลง โดยทั่วไประยะเวลาในการอัดมักจะมีกำหนดไว้ให้ในเอกสารกำกับของผู้ขาย – ผู้ผลิตกาว แต่แนะนำให้ทำการทดสอบดูก่อนการผลิตจริงเสมอ เนื่องจากสภาวะแวดล้อมในสถานที่ของผู้ใช้กาวจะแตกต่างกันและมีผลกระทบต่อระยะเวลาในการอัดด้วย

#### 2.10.10 การทำความสะอาด

ในขณะที่กาวยังเปียกอยู่สามารถเช็ดออกได้ทันทีจากผิวหนังและเสื้อผ้าโดยใช้สบู่และน้ำ สำหรับเครื่องมือเกี่ยวกับกาวสามารถทำความสะอาดได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับชนิดของกาวชนิดน้ำอีพ็อกซี เช่น กาวพอลิไวนิลอะซิเตต สามารถทำความสะอาดได้โดยใช้น้ำอุ่นกาวยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ที่ติดอยู่กับลูกกลิ้งสามารถล้างออกได้โดยใส่น้ำผสมโซดา เจือจางราว 10% จะทำให้กาวเจือจางลงและหมดสภาพความเหนียว หลังจากนั้น 2-3 นาที ลูกกลิ้งจะสามารถล้างได้ด้วยน้ำอุ่นกาวเรซอซินอล-ฟีนอล ฟอร์มัลดีไฮด์ สามารถล้างออกได้โดยใช้น้ำอุ่นผสมแอลกอฮอล์เล็กน้อย กาวพอลิยูเรเทน และ กาวชนิดคล้ายคลึงกัน สามารถล้างออกได้โดยใช้ตัวทำละลาย เช่น อะซิโตน (Acetone) หรือ โทลูอิน (Toluene) ขณะชำระล้างควรระวังอย่าสูดหรือให้ละอองของสารเหล่านี้กระทบโดยตรงต่อผิวหนังหรือร่างกาย

### 2.10.11 การตรวจสอบการผลิตและผลิตภัณฑ์

ขั้นตอนต่าง ๆ ข้างต้นจำเป็นต้องคอยหมั่นตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ชิ้นงานหรือผลิตภัณฑ์ที่ติดกาวเรียบร้อยแล้ว ก็ต้องทำการตรวจสอบด้วยวิธีการง่าย ๆ คือ การตรวจด้วยการแฉะมีด (knife test) โดยการตอกส่วลงบนแนวรอยต่อกาวแล้วตรวจดูพื้นผิวไม้ที่แตกหักตรงรอยต่อนั้น วิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายสำหรับคุณภาพการใช้กาว แม้ว่ากาวจะยังไม่แข็งตัวเต็มที่ซึ่งต้องใช้เวลาหลายวันก็ตาม ซึ่งในบางกรณีสำหรับกาวประเภทอีพ็อกซีที่ต้องการให้ด้านทานน้ำได้ดี อาจต้องรอให้เกิดการแข็งตัวที่จะใช้งานได้เต็มที่ ถึง 14 วัน โดยเฉพาะชิ้นงานที่ผลิตนำมาใช้เป็นหน้าโต๊ะและกรอบหน้าต่างในปัจจุบันมีการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไม้อัดกาวในโรงงานใหญ่ ๆ โดยเฉพาะเพื่อการส่งออก อยู่ 2 มาตรฐานใหญ่ ๆ คือ

1. JAS ( Japanese Agricultural Standard ) Testing Method For Tabletops And Windows Frames
2. EN 204/205 , European standards for classifying the Non-Structural Glued Laminated Wood Products

## 2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Syed H.Imam และคณะ[10] ได้ศึกษาการติดไม้ที่เตรียมจากปฏิกิริยาระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVOH) ผสมแป้ง และ Cymel 323 (hexamethoxymethylmelamine ) โดยใช้กรดซิตริก ( Citric acid ) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดการเชื่อมโยงจากปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนหมู่เอสเทอร์ (Transesterification ) ของหมู่ไฮดรอกซิล (OH) ที่อยู่ในโมเลกุลแป้ง PVOH และไม้ จะถูกแทนที่ที่ตำแหน่งหมู่เมทอกซี (methoxy) ของ Cymel 323 ทำให้เกิดการเชื่อมโยงด้วยพันธะอีเทอร์ระหว่างโมเลกุลของ Cymel 323 ที่มีวงแหวนเบนซีนอยู่ในโครงสร้างกับแป้ง PVOH และไม้ จากนั้นนำกาวไปทาถลงบนไม้สนโดยใช้ไม้สน 3 ชิ้นประกบกัน ใช้กาว 130 กรัม/ตารางเมตร ทิ้งไว้ 15 นาที จากนั้นนำไปอัดที่ความดัน 1.6 MPa ที่อุณหภูมิ 125-175°C นาน 15 นาที แล้ววางไว้ในห้องควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ 50 % RH นาน 6 เดือน จากนั้นนำไปวัดค่าความแข็งแรงเฉือนตามมาตรฐาน ASTM D-906-64 เมื่อนำค่าความแข็งแรงเฉือนระหว่างกาว 2 สูตรมาเปรียบเทียบกันพบว่า สูตรที่ (1) เป็นกาวที่ไม่ได้เชื่อมโยงด้วย Cymel 323 และสูตรที่ (2) เชื่อมโยงด้วย Cymel 323 พบว่ากาวสูตรที่ (2) ให้ค่าความแข็งแรงเฉือนและ % Veneer Failure สูงกว่ากาวสูตรที่ (1) และยังทำการทดสอบการต้านทานความชื้น (Moisture Resistance, %RH) โดยนำไม้ที่ทาแล้วไปเก็บต่ออีก 2 เดือน ทดสอบการต้านทานความชื้นโดยวิธีวัด %RH ผลการทดสอบพบว่ากาวสูตรที่ (1) มีค่า % RH เท่ากับ 50% และกาวสูตรที่ (2) มีค่า %RH เท่ากับ 75% แสดงให้เห็นว่ากาวที่เชื่อมโยงด้วย Cymel 323 มีค่าความแข็งแรงเฉือนและมีความต้านทานความชื้นสูงขึ้น ซึ่งเกิดจากพันธะอีเทอร์เชื่อมโยระหว่าง

หมู่ OH ในโมเลกุลของไม้กับ Cymel 323 หลังการเชื่อมโยงทำให้ปริมาณของหมู่ OH ลดลง นอกจากนี้ยังปรับปรุงคุณสมบัติของกาวสูตรที่(2)ด้วยวิธีการเติมลาเทกซ์ลงไป 5-7% โดยน้ำหนัก พบว่ามี% Veneer Failure และมีความต้านทานความชื้นสูงขึ้นอีก

**Masato Nakamae U.** และคณะ [11] ได้ศึกษาการติดไม้ที่ปรับปรุงคุณสมบัติของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVOH) ช่วยเพิ่มความเสถียรของคอลลอยด์ การต้านทานน้ำและความเหนียวของกาวพอลิไวนิลอะซิเตทอิมัลชัน โดยเกิดปฏิกิริยาระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล (OH) ของคอลลอยด์กับสารปรับปรุงหรือจากปฏิกิริยาไฮดรอลิซิส (Hydrolysis) จากการผลิตพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVOH) จากไวนิลอะซิเตท (Vinyl acetate) การปรับปรุงความเสถียรของคอลลอยด์ของพอลิไวนิลอะซิเตทอิมัลชัน ทำให้มีคุณสมบัติที่ดีมีการนำมาใช้กันมากในอุตสาหกรรมกาว แนวโน้มของการวิจัยศึกษาถึงสารป้องกัน คอลลอยด์ (Protective colloid) สามารถปรับปรุงเป็นสารเชื่อมโยงและสารก่อให้เกิดการย้ายสายโซ่ (Chain transfer agents)

**Anthony P. Haaga** และคณะ [11] ได้ศึกษาการติดไม้ที่เตรียมจากวัตถุดิบธรรมชาติ ได้แก่ แป้งผสมกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVOH), melamine-formaldehyde, Acrylic latex และสารเชื่อมโยง พบว่าการยึดติดกับไม้แข็งแรงกว่ากาวไม้ที่ใช้ทั่วไป กาวส่วนมากเตรียมจากวัตถุดิบจากอุตสาหกรรมปีโตรเคมี Konjac glucomannan โดยพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) จากพืชและไคโตซาน (chitosan) อาจพัฒนาไปผลิตกาวติดไม้ได้

**United States Patent no.3033808** “ Tung Oil Latex Coating” งานประดิษฐ์นี้เกี่ยวกับสารเคลือบที่มีน้ำมันทั้งเป็นส่วนผสม พบว่า

- พอลิไวนิลอะซิเตทอิมัลชัน (Polyvinyl acetate emulsion) ที่เป็นส่วนผสมหลักประมาณ 50 % สามารถใช้น้ำมันทั้งทำหน้าที่เป็นสารอิมัลซิฟายเออร์แทนได้ มีความแข็งของฟิล์มแห้งเท่ากับ 6.6% โดย Sward hardness

- มีความต้านทานต่อต่าง สารซักล้างและสบู่

- มีการยึดเกาะแบบ Dry adhesion และ wet adhesion ดีขึ้นจากการเพิ่มปริมาณของน้ำมันทั้ง

**United States Patent no.3214398** ” Emulsion paint comprising tung oil and lead silicate” งานประดิษฐ์นี้เกี่ยวกับการปรับปรุงคุณสมบัติของสีย้อมไม้อิมัลชัน red cedar และ redwood โดยใช้ lead silicate และน้ำมันทั้งเป็นส่วนผสม พบว่า

- สีย้อมไม้ที่เหมาะสมประกอบด้วยพอลิไวนิลอะซิเตทอิมัลชันและพอลิเมอร์ผสมระหว่างไวนิลอะซิเตท/ไดบิวทิลมาลิเอท โดยมีผสมของ

(a) 0.75 ถึง 3 lbs / gallon ของ basic silicate of white lead และ silicate ที่ประกอบด้วย PbO 47.9% , SiO<sub>2</sub> 47.9% และ SO<sub>3</sub> 4.2% โดยน้ำหนัก และซิลิเกต (Silicate) ที่ประกอบด้วย PbO 83-85%, SiO<sub>2</sub> 14-16% โดยน้ำหนัก

(b) น้ำมันทั้ง 10-30 % โดยปริมาตร

- สีย้อมไม้ red cedar ที่เหมาะสมประกอบด้วยพอลิไวนิลอะซิเตทอิมัลชัน (Polyvinyl acetate emulsion) โดยมีผสมของ
  - (a) 0.75 ถึง 3 lbs / gallon ของ basic silicate of white lead และ ซิลิเกต (Silicate) ประกอบด้วย PbO 47.9% , SiO<sub>2</sub> 47.9% และ SO<sub>3</sub> 4.2% โดยน้ำหนัก และซิลิเกต (silicate) ที่ ประกอบด้วย PbO 83-85%, SiO<sub>2</sub> 14-16% โดยน้ำหนัก
  - (b) น้ำมันทั้ง 10-30 % โดยปริมาตร

## บทที่ 3

# วิธีการดำเนินงานวิจัย

### 3.1 สารเคมี

1. พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly (vinyl alcohol )) เกรดการค้า บริษัท ตั้งไท่ฮั่วเฮง จำกัด
2. น้ำมันทัง (Tung oil) เกรดการค้า ห้างหุ้นส่วนจำกัด อีสริยะเทรดดิ้ง
3. ตัวเร่งปฏิกิริยา

### 3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Fourier transform infrared Spectrophotometer, FTIR)  
บริษัท Perkin Elmer รุ่น FTIR Spectrum One
2. เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential scanning calorimeter, DSC)  
รุ่น 822 e บริษัท METTLER TOLEDO จำกัด สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์  
อุณหภูมิที่ใช้ในการวิเคราะห์ :  
ช่วงที่ 1: จาก 0°C - 95°C อัตราการให้ความร้อน 5°C / นาที ที่อุณหภูมิ 95°C รักษา  
อุณหภูมินี้ไว้นาน 15 นาที  
ช่วงที่ 2 : จาก 95°C - 0°C อัตราการลดความร้อนลง - 5°C / นาที  
ปริมาณของสารตัวอย่าง : 5 - 10 mg
3. เครื่องปั่นกวนชนิดความเร็วรอบสูง ( High speed Agitator )พร้อมใบกวน
4. เครื่องทดสอบเนกประสงค์ (Testometric Testing Machine)รุ่นFS100CT  
บริษัท Testometric จำกัด
5. เครื่องวัดความหนืด ยี่ห้อ Brookfield รุ่น RVT บริษัท SCIENTIFIC PROMOTION จำกัด
6. บีกเกอร์ขนาด 150 และ 250 มิลลิลิตร.
7. เทอร์โมมิเตอร์
8. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ METTLER TOLEDO รุ่น PB403-S
9. บริษัทเครื่องแก้ว
10. นาฬิกาจับเวลา
11. เครื่องอัดไม้
12. อุปกรณ์สำหรับใช้ตากาว
13. Water bath ( หรือใช้อ่างน้ำร้อนและอ่างน้ำแข็ง)
14. Hotplate

15. ตะแกรงเหล็ก
16. จานเพาะเชื้อ
17. ห้องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

### 3.3 การเตรียมการ

#### 3.3.1 การเตรียมสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

1. ชั่งน้ำ ในบีกเกอร์ขนาด 1,500 มิลลิลิตร
2. ชั่งพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร
3. ให้ความร้อน
4. เทพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ลงในน้ำที่มีเครื่องปั่นกวนจนเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน
5. ให้ความร้อน
6. ปลดอยทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

#### 3.3.2 การวัดค่าความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield viscometer

1. ตักสารตัวอย่างประมาณ 100 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ ขนาด 150 มิลลิลิตร แล้วปรับอุณหภูมิให้ได้  $30 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$  โดยจุ่มบีกเกอร์ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ
2. วัดค่าความหนืด โดยใช้เครื่อง Brookfield viscometer RVT ใช้ spindle no. 4 ที่ความเร็ว 20 รอบต่อนาที
3. นำบีกเกอร์ที่ใส่สารตัวอย่างวางบน stand ต่อส่วนหัวด้านบนที่เป็นสลักเกลียวของ Spindle เข้ากับเครื่อง Brookfield viscometer โดยให้ด้านปลายจุ่มลงในสารตัวอย่างเลื่อนบีกเกอร์ขึ้นลงจนผิวหน้าสารตัวอย่างอยู่ที่ขีดบอกระดับ (รอยบาก) ของ spindle อยู่ตรงกลางบีกเกอร์
4. เปิดเครื่องวัดความหนืด รอจนกระทั่งตัวเลขบนหน้าปัดนิ่งบันทึกค่าที่วัดได้
5. การคำนวณค่าความหนืดของเครื่อง Brookfield viscometer
 
$$\text{Viscosity (centipoise)} = F \times S$$

F = ค่าคงที่ ( Scale factor ) ของ Spindle และความเร็วที่ใช้

S = ค่าตัวเลขที่อ่านได้จากหน้าปัดเครื่องวัดความหนืด
6. รายงานค่าที่คำนวณได้เป็นค่าความหนืดพร้อมทั้งระบุอุณหภูมิ, หมายเลข spindle และความเร็วรอบที่ใช้
7. ปรับสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ความหนืด 3,000, 2,000, 1,000, 800 และ 500 เซนติพอยส์ ตามลำดับด้วยน้ำ

### 3.3.3 การเตรียมกาวติดไม้

1. ชั่งสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ความหนืด 500 เซนติพอยส์ หนัก 99.0 กรัม น้ำมันทั้ง 10.0 กรัม ตัวเร่งปฏิกิริยา (ตามสูตรในตารางที่ 3.1)
2. เทสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และน้ำมันทั้งลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วเปิดเครื่องปั่นกวนที่ความเร็วรอบสูง
3. นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าความหนืด
4. ทำซ้ำเหมือนเดิมโดยใช้สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ความหนืด 800 เซนติพอยส์ 1,000, 2,000 และ 3,000 เซนติพอยส์ ตามลำดับ (ตามสูตรในตารางที่ 3.1)
5. นำกาวที่เตรียมได้มาหา % Solid content ตาม มอก.181-2530
6. แบ่งกาวที่เตรียมได้ส่วนหนึ่งมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DSC เพื่อตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ของกระบวนการดูดหรือคายความร้อนเมื่อกาวเปลี่ยนจากของเหลวไปเป็นของแข็งจากการเชื่อมโยงและสร้างพันธะใหม่ตามสภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์ :  
 อุณหภูมิที่ใช้ในการวิเคราะห์ :  
 ช่วงที่ 1: จาก 0°C - 95°C อัตราการให้ความร้อน 5°C / นาที ที่อุณหภูมิ 95°C รักษาอุณหภูมินี้ไว้นาน 15 นาที  
 ช่วงที่ 2 : จาก 95°C - 0°C อัตราการลดความร้อนลง - 5°C / นาที  
 ปริมาณของสารตัวอย่าง : 5 - 10 mg  
 และอีกส่วนหนึ่งนำมาอบที่อุณหภูมิ 95°C นาน 2 ชั่วโมง แล้วนำมาตรวจวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันที่เปลี่ยนไปของน้ำมันทั้งและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ด้วยเทคนิค FTIR

ตารางที่ 3.1 ปริมาณสารเคมีที่ใช้เตรียมกาวตามสูตรโดยน้ำหนัก

สูตร	ความหนืดของ สารละลาย PVA (Cps)	สารละลาย PVA	น้ำมันทั้ง	ตัวเร่ง ปฏิกิริยา	สภาวะในการเตรียมขึ้น ทดสอบ	
					อุณหภูมิ (°C)	เวลา(ชั่วโมง)
0 A	500				90	1
0 B	800					
0 C	1,000	-	-	-		
0 D	2,000					
0 E	3,000					
1 A	500				90	1
1 B	800					
1 C	1,000	99.0	0.0	1.0		
1 D	2,000					
1 E	3,000					
2 A	500				90	1
2 B	800					
2 C	1,000	89.0	10.0	1.0		
2 D	2,000					
2 E	3,000					
3 A	500				90	1
3 B	800					
3 C	1,000	84.0	15.0	1.0		
3 D	2,000					
3 E	3,000					
4 A	500				90	1
4 B	800					
4 C	1,000	79.0	20.0	1.0		
4 D	2,000					
4 E	3,000					
5 A	500				90	1
5 B	800					
5 C	1,000	84.0	15.0	2.0		
5 D	2,000					
5 E	3,000					

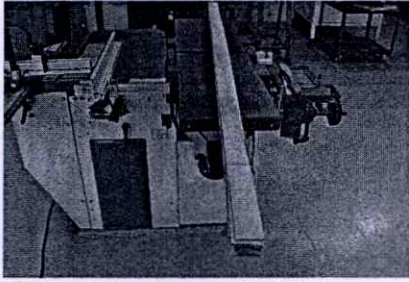
ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

สูตร	ความหนืดของ สารละลาย PVA (Cps)	สารละลาย PVA	น้ำมันทั้ง	ตัวเร่ง ปฏิกิริยา	สภาวะในการเตรียมขึ้น	
					ทดสอบ	
					อุณหภูมิ (°C)	เวลา(ชั่วโมง)
6 A	500					
6 B	800					
6 C	1,000	84.0	15.0	1.0	95	2
6 D	2,000					
6 E	3,000					
7 D	2,000	79.0	20.0	1.0	95	2

### 3.4 การทดสอบสมบัติเชิงกลของกาว

#### 3.4.1 การเตรียมชิ้นไม้ทดสอบ

1. ตัดไม้บีช (beech) ขนาด 5 x 31x 0.5 เซนติเมตร
2. ใช้ลูกกลิ้งทาตามสูตรที่ผสมไว้ โดยใช้ปริมาณกาว 3.000 กรัม
3. นำไม้ 2 แผ่นที่ทาแล้วมาประกบกัน
4. ใช้เครื่องอัดไม้ อัดไม้ที่ความดัน 40 Kgf/cm<sup>2</sup> ที่อุณหภูมิ 90°C เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมงหรือปรับเปลี่ยนสภาวะดังตารางที่ 3.1
5. เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 7 วัน
6. นำไม้ที่ติดกาวแล้วมาตัดเป็นชิ้นขนาด 2 x 15 x 0.5 เซนติเมตร
7. เสาะร่องลึกจนถึงรอยฟิล์มกาวทั้ง 2 ด้าน โดยให้รอยเสาห่างกัน 1 เซนติเมตร
8. นำชิ้นไม้ที่ได้ไปเก็บไว้ในห้องควบคุมอุณหภูมิ 23±2°C และความชื้นสัมพัทธ์ 50±5 % เป็นเวลา 7 วัน ก่อนนำมาทดสอบค่าความแข็งแรงดึง



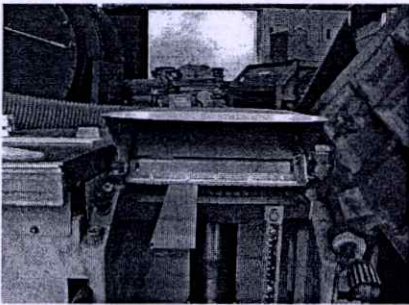
ลักษณะของแผ่นไม้บีช(beech)

ขนาด 5 x 210 x 0.6 ซม



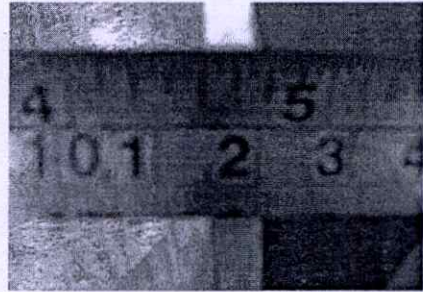
ตัดแผ่นไม้บีช (beech)

ขนาด 5 x 31 x 0.6 ซม.



ตัดแผ่นไม้บีช (beech)

ขนาด 5 x 31 x 0.6 ซม.

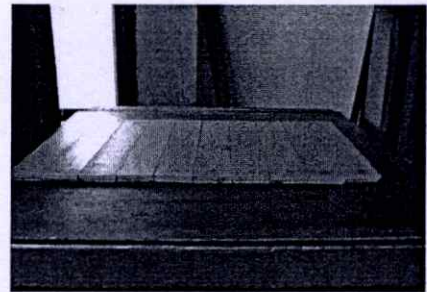


ตัดแผ่นไม้บีช (beech)

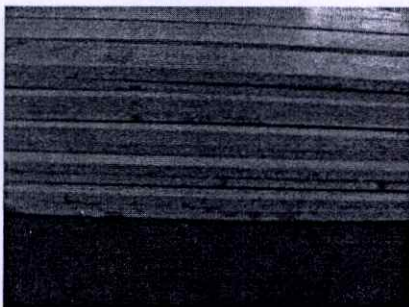
หนา 0.5 ซม.



ตากาว หนัก 3.00 กรัม นำมาประกบกัน



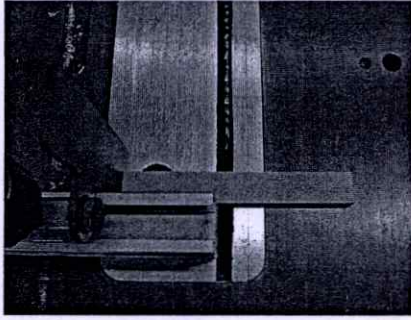
อัดที่แรงดัน 40 PSI อุณหภูมิ 90 ซ. นาน 1 ชม.



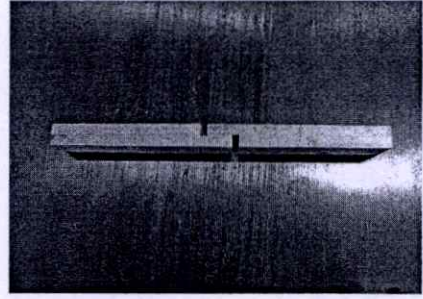
แผ่นไม้ที่ผ่านการอัดที่อุณหภูมิ 90 ซ.



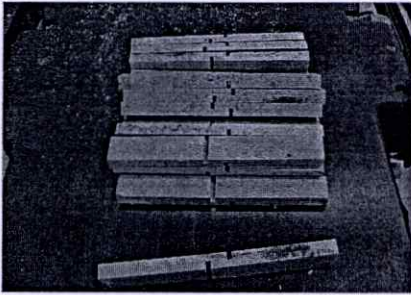
### รูปที่ 3.1 การเตรียมชิ้นไม้ ทากาวและการอัดไม้



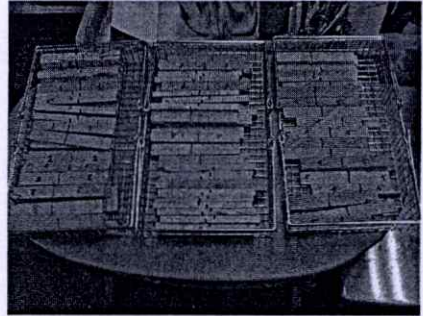
นำมาตัดให้ได้ขนาด 2 x 150 x 0.5 ซม.



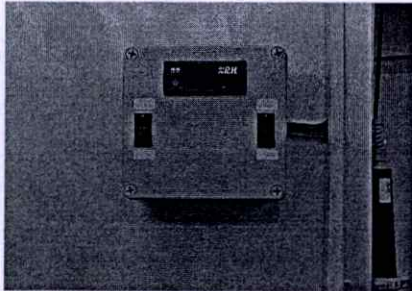
เจาะร่องจนถึงฟิล์มกาวทั้ง 2 ด้านร่องทั้ง 2 ห่างกัน 1 ซม.



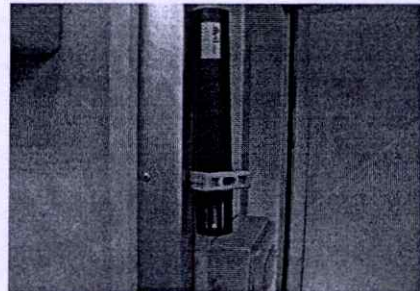
ตัวอย่างชิ้นไม้ที่เตรียมเรียบร้อยแล้ว



เก็บไว้ในห้องควบคุมอุณหภูมิ 23±2°C.  
และความชื้นสัมพัทธ์ 50 ± 5 % เป็นเวลา 7 วัน



อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ  
และความชื้นสัมพัทธ์



อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ  
และความชื้นสัมพัทธ์

รูปที่ 3.1(ต่อ)

## 3.4.2 การทดสอบค่าความแข็งแรงดึงเฉือน

นำชิ้นไม้ที่ตากแล้วไปทดสอบค่าความแข็งแรงดึงตามสภาวะในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 รายละเอียดของสภาวะควบคุมชิ้นตัวอย่างไม้ติคกาวก่อนการทดสอบในแต่ละประเภท  
ความทนทาน ตามมาตรฐาน EN 204-1991

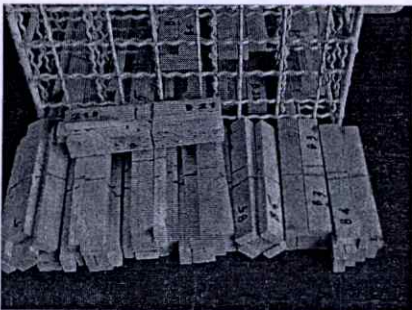
สภาวะและระยะเวลาในการควบคุม		ความแข็งแรงที่กำหนดในแต่ละประเภทความทนทาน (MPa)			
สภาวะที่ 1	รายละเอียด	D1	D2	D3	D4
1	ควบคุมชิ้นตัวอย่างไว้ในสภาพบรรยากาศที่อุณหภูมิ 23±2°C ความชื้นสัมพัทธ์ที่ 50±5% เป็นเวลา 7 วัน	≥10	≥10	≥10	≥10
2	ก.) ควบคุมชิ้นตัวอย่างไว้ในสภาพบรรยากาศที่อุณหภูมิ 23±2°C ความชื้นสัมพัทธ์ที่ 50±5% เป็นเวลา 7 วัน ข.) แช่น้ำเย็นที่อุณหภูมิ 23±2°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ค.) ควบคุมชิ้นตัวอย่างไว้ในสภาพบรรยากาศที่อุณหภูมิ 23±2°C ความชื้นสัมพัทธ์ที่ 50±5 % เป็นเวลา 7 วัน	-	≥8	-	-
3	ก.) ควบคุมชิ้นตัวอย่างไว้ในสภาพบรรยากาศที่อุณหภูมิ 23±2°C ความชื้นสัมพัทธ์ที่ 50±5% เป็นเวลา 7 วัน ข.) แช่น้ำเย็นที่อุณหภูมิ 23±2°C เป็นเวลา 4 วัน	-	-	≥2	≥4
4	ก.) ควบคุมชิ้นตัวอย่างไว้ในสภาพบรรยากาศที่อุณหภูมิ 23±2°C ความชื้นสัมพัทธ์ที่ 50±5% เป็นเวลา 7 วัน ข.) แช่น้ำเย็นที่อุณหภูมิ 23±2°C เป็นเวลา 4 วัน ค.) ควบคุมชิ้นตัวอย่างในสภาพบรรยากาศที่อุณหภูมิ 23±2°C ความชื้นสัมพัทธ์ที่ 50±5% เป็นเวลา 7 วัน	-	-	≥8	-
5	ก.) ควบคุมชิ้นตัวอย่างไว้ในสภาพบรรยากาศที่อุณหภูมิ 23± 2°C ความชื้นสัมพัทธ์ที่ 50±5% เป็นเวลา 7 วัน ข.) นำไปต้มน้ำเดือดเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ค.) แช่น้ำเย็นที่อุณหภูมิ 23± 2°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง	-	-	-	≥4
6	ก) ควบคุมชิ้นตัวอย่างไว้ในสภาพบรรยากาศที่อุณหภูมิ 23±2°C ความชื้นสัมพัทธ์ที่ 50±5% เป็นเวลา 7 วัน ข) นำไปต้มน้ำเดือดเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ค) แช่น้ำเย็นที่อุณหภูมิ 23±2°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ง) ควบคุมชิ้นตัวอย่างไว้ในสภาพบรรยากาศที่อุณหภูมิ 23±2°C ความชื้นสัมพัทธ์ 50±5 % เป็นเวลา 7 วัน				≥8

ตารางที่ 3.3 การแบ่งประเภทของความทนทานของกาวิตคไม้ประสานและกาวิตคแผ่นไม้ประกอบ  
(ที่ไม้ใช้งาน โครงสร้าง) ตามมาตรฐาน EN 204-1991

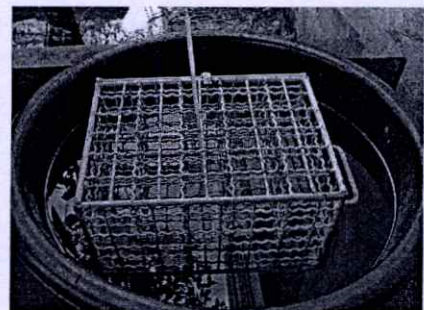
ประเภทความทนทาน	ลักษณะการใช้งาน
D1	ใช้งานภายในอาคาร ในที่มีอุณหภูมิบางครั้งเกิน 50°C เป็นระยะเวลาสั้นๆ และมีความชื้นของไม้สูงสุด 15 % เท่านั้น
D2	ใช้งานภายในอาคาร กระทบถูกน้ำในช่วงสั้นๆ ได้บางครั้งหรือในที่มีความชื้นสูงขึ้นแต่ต้องไม่ทำให้ความชื้นของไม้สูงเกินกว่า 18%
D3	ใช้งานภายในอาคาร สามารถกระทบถูกน้ำในช่วงระยะเวลาสั้นๆ ได้ บ่อยครั้งหรือในที่มีความชื้นสูงหากใช้งานภายนอกอาคาร ไม่ควรตากแดด ตากฝนหรือใช้ในสภาพฝนฟ้ารุนแรง
D4	ใช้งานภายในอาคาร ที่สามารถกระทบถูกน้ำได้เป็นระยะเวลานานและ บ่อยครั้งใช้งานภายนอกอาคาร ในสภาพฝนฟ้าที่รุนแรงได้แต่ควรมีการ ป้องกันด้วยการเคลือบผิวหน้าไม้ไว้ด้วย

การทดสอบสมบัติความต้านทานน้ำ

- นำชิ้นไม้ที่เก็บไว้ที่ห้องควบคุมอุณหภูมิ  $23\pm 2^{\circ}\text{C}$  และความชื้นสัมพัทธ์  $50\pm 5\%$  เป็นเวลา 7 วัน มาแช่น้ำเย็นที่อุณหภูมิ  $23\pm 2^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
- นำชิ้นไม้ที่ได้ไปเก็บไว้ที่ห้องควบคุมอุณหภูมิ  $23\pm 2^{\circ}\text{C}$  และความชื้นสัมพัทธ์  $50\pm 5\%$  เป็นเวลา 7 วัน ก่อนนำมาทดสอบค่าความแข็งแรงดึง (สภาวะที่ 2 ตารางที่ 3.2)

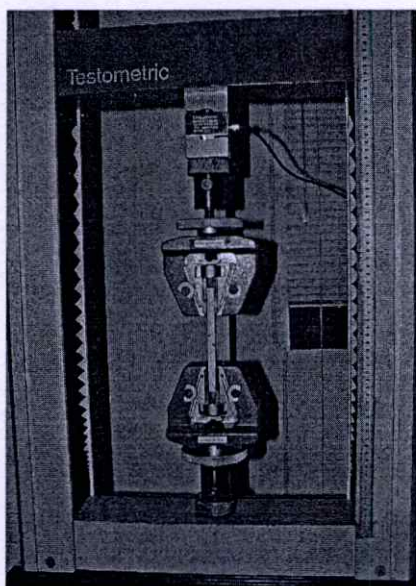


ชิ้นไม้ที่เก็บไว้ที่ห้องควบคุมอุณหภูมิ  
และความชื้นสัมพัทธ์ เป็นเวลา 7 วัน

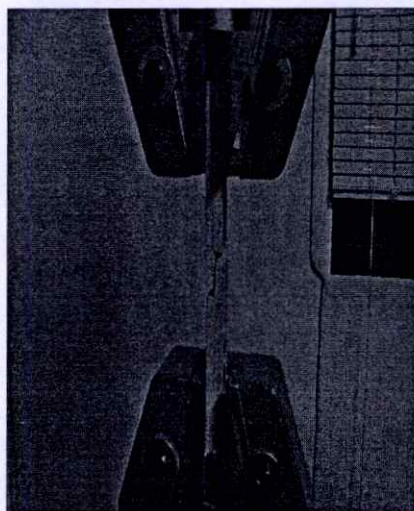


นำชิ้นไม้มาแช่น้ำเย็นที่อุณหภูมิ  
 $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ . นาน 3 ชั่วโมง

รูปที่ 3.2 การแช่ชิ้นไม้



เครื่องทดสอบทดสอบค่าความแข็งแรงดึง



แสดงลักษณะค่าความแข็งแรงดึง

รูปที่ 3.3 การทดสอบความแข็งแรงดึง

### 3.5 การทดสอบการบวมตัวของกาว

1. เตรียมกาวสูตรต่างๆตามอัตราส่วนที่กำหนด (ตามตารางที่ 3.1)
2. ชั่งกาวบนจานเพาะเชื้อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 นิ้ว โดยควบคุมความหนาและน้ำหนักของกาวให้เท่ากัน
3. นำไปอบที่อุณหภูมิและเวลาตามตารางที่ 3.1 นำออกมาตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
4. ชั่งน้ำหนักกาวหลังอบ ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 7 วัน
5. ใส่น้ำลงในจานเพาะเชื้อที่มีฟิล์มกาวอยู่ในปริมาณที่เท่าๆกันทิ้งไว้ 3 ชั่วโมง
6. สังเกตรูปร่างของฟิล์มที่เปลี่ยนไป ชั่งน้ำหนักของฟิล์มกาวที่เหลือ
7. จากข้อมูลที่ได้นำมาหาค่าการบวมตัวของฟิล์มกาวเพื่อใช้เปรียบเทียบปริมาณการเชื่อมโยงของกาวแต่ละสูตรได้

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

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและการอภิปรายผล

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาถึงการพัฒนาการติดไม้ชนิดไร้สารฟอร์มัลดีไฮด์จากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปรับปรุงด้วยน้ำมันทั้งที่มีสมบัติด้านทานน้ำ ในขั้นตอนแรกเตรียมกาวโดยผสมสารละลายเป็นการเตรียมกาวจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับน้ำมันทั้ง โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งมีปัจจัยศึกษา ได้แก่ ความหนืดเริ่มต้นของสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ คือ 500, 800, 1,000, 2000 และ 3,000 เซนติพอยส์ ปริมาณน้ำมันทั้งในช่วง 10 – 20 % โดยน้ำหนักและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา นำกาวที่เตรียมได้มาหาความหนืด % Solid content ตรวจสอบวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FTIR ตรวจสอบการเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงด้วยเทคนิค DSC และการบวมตัว ( Swelling ) ของกาว

จากนั้นนำกาวที่เตรียมได้ไปยึดติดไม้โดยศึกษาสภาวะการทำปฏิกิริยาเชื่อมโยงของกาว ได้แก่ อุณหภูมิและระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา ขึ้นไม้ที่ติดกาวแล้วนำไปทดสอบสมบัติเชิงกลตามมาตรฐานการติดไม้ DIN EN 204-1991 โดยทำการศึกษา 2 สภาวะ ดังนี้

สภาวะที่ 1 (Seq.1) เป็นการทดสอบขึ้นไม้ที่ติดกาวแล้วโดยวางขึ้นทดสอบไว้ในห้องควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียสและความชื้นสัมพัทธ์ 50±2 เป็นเวลา 7 วัน จากนั้นนำขึ้นทดสอบไปทดสอบค่าความแข็งแรงดึงแบบเฉือน

สภาวะที่ 2 (Seq.2) เป็นการทดสอบการต้านทานน้ำโดยนำขึ้นทดสอบที่ติดกาวแล้ววางไว้ในห้องควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียสและความชื้นสัมพัทธ์ 50±2 นาน 7 วัน จากนั้นนำขึ้นทดสอบไปแช่น้ำที่อุณหภูมิ 23 ±2 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง แล้วจึงนำขึ้นทดสอบไปเก็บไว้ในห้องควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียสและความชื้น 50±2 เป็นเวลา 7 วัน แล้วนำมาทดสอบค่าแรงดึงแบบเฉือน

#### 4.1 การหาความชื้นของไม้ที่จะนำมาทดสอบ

ไม้ทดสอบก่อนที่จะทำการทดสอบก่อน เพื่อให้ได้ความชื้นของไม้ที่ระดับความชื้นที่เหมาะสมที่สุดซึ่งควรอยู่ระหว่าง 10-12% เพราะว่าปริมาณความชื้นของไม้มีผลต่อสมบัติการติดกาว กาวติดไม้ส่วนใหญ่เป็นกาวที่อาศัยการแพร่กระจายไปบนพื้นผิวของไม้ กลไกการติดกาวจะเกิดจากการระเหยหรือสูญเสียตัวทำละลาย (โดยเฉพาะน้ำ) ออกจากแนวกาว ดังนั้นเมื่อไม้มีความชื้นสูงต้องใช้ระยะเวลาในการอัดนานขึ้นและน้ำในแนวกาวจะถูกดูดเข้าสู่ไม้ได้ช้าลง ในทางกลับกันหากไม้แห้งหรือมีความชื้นต่ำเกินไป น้ำในแนวกาวจะแทรกซึมลงสู่เนื้อไม้อย่างรวดเร็ว จนเป็นผลให้แนวกาวแห้งเป็นอุปสรรคต่อการเปียก (การแพร่กระจาย) ของกาวบนผิวหน้าไม้

ปริมาณความชื้นของไม้คำนวณเป็นปริมาณร้อยละเทียบกับน้ำหนักแห้งของไม้โดยใช้สูตร  

$$\frac{\text{น้ำหนักไม้ก่อนอบแห้ง} - \text{น้ำหนักไม้หลังอบแห้ง}}{\text{น้ำหนักไม้หลังอบแห้ง}} \times 100$$

- ใช้ชิ้นไม้ทดสอบ 5 ตัวอย่าง อบที่อุณหภูมิ 100 °C เวลา 24 ชั่วโมง ได้ค่าเฉลี่ย = 10.07 %

## 4.2 ความหนืด

ความหนืดมีผลต่อสมบัติของผลิตภัณฑ์ไม้ คือถ้าความหนืดของกาวต่ำเกินไปจะทำให้กาวซึมเข้าไปในชั้น ไม้มากเกินไปและเหลือกาวค้างบนผิวของชั้น ไม้ น้อย เมื่อทำการอัดรีดออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ไม้จะทำให้ได้ค่าความแข็งแรงต่ำ ถ้าความหนืดของกาวสูงเกินไป จะทำให้กาวซึมเข้าไปในชั้นไม้ได้น้อยและกาวจะเหลือค้างบนผิวชั้น ไม้ มาก การไหลตัวของกาวก็จะต่ำเนื่องจากกาวที่มีความหนืดสูงจะมีโมเลกุลขนาดใหญ่ เมื่อทำการอัดรีดออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ไม้จะได้ค่าความหนาแน่นต่ำ ส่งผลต่อค่าความยืดหยุ่นและความแข็งแรงต่ำไปด้วย

งานวิจัยนี้วัดค่าความหนืดโดยใช้เครื่อง Brookfield viscometer รุ่น RVT ใช้ spindle no. 4 ที่ความเร็ว 10 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 30±0.5°C โดยทำการวัดความหนืดของกาวสูตรต่างๆที่ทำการผสมสูตรกาวแล้วตั้งทิ้งไว้บนชั้นในโกดังเก็บสินค้าที่อุณหภูมิตามสภาวะจริงโดยปิดฝาภาชนะบรรจุมิดชิดแล้วนำมาวัดค่าความหนืดเมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง, 1 สัปดาห์, 2 สัปดาห์และ 3 สัปดาห์เพื่อตรวจวัดเสถียรภาพหรืออายุการเก็บของกาว ข้อมูลค่าความหนืดของกาวสูตรต่างๆแสดงดังตารางที่ 4.1, 4.2, 4.3 และ 4.4

ตารางที่ 4.1 ค่าความหนืดของสูตรกาวที่มีส่วนผสมของน้ำมันทั้ง 10% โดยน้ำหนัก

สูตรกาว	24 ชั่วโมง	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3
2A	2,500	1,700	3,900	เกิดเป็นGel วัดค่าไม่ได้
2B	3,000	2,500	5,700	เกิดเป็นGel วัดค่าไม่ได้
2C	5,300	4,500	10,000	เกิดเป็นGel วัดค่าไม่ได้
2D	9,400	8,500	23,000	เกิดเป็นGel วัดค่าไม่ได้
2E	11,000	9,900	29,000	เกิดเป็นGel วัดค่าไม่ได้

ตารางที่ 4.2 ค่าความหนืดของสูตรกาวที่มีส่วนผสมของน้ำมันทั้ง 15% โดยน้ำหนัก

สูตรกาว	24 ชั่วโมง	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3
3A	2,800	3,600	4,800	เกิดเป็นGel วัลค่าไม่ได้
3B	3,400	4,700	6,700	เกิดเป็นGel วัลค่าไม่ได้
3C	5,600	8,500	13,000	เกิดเป็นGel วัลค่าไม่ได้
3D	9,900	17,000	28,000	เกิดเป็นGel วัลค่าไม่ได้
3E	16,000	23,000	32,000	เกิดเป็นGel วัลค่าไม่ได้

ตารางที่ 4.3 ค่าความหนืดของสูตรกาวที่มีส่วนผสมของน้ำมันทั้ง 20% โดยน้ำหนัก

สูตรกาว	24 ชั่วโมง	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3
4A	3,400	5,200	เกิดเป็นGel วัลค่าไม่ได้	-
4B	5,800	7,900	เกิดเป็นGel วัลค่าไม่ได้	-
4C	8,200	14,000	เกิดเป็นGel วัลค่าไม่ได้	-
4D	13,000	24,000	เกิดเป็นGel วัลค่าไม่ได้	-
4E	19,000	28,000	เกิดเป็นGel วัลค่าไม่ได้	-

ตารางที่ 4.4 ค่าความหนืดของสูตรกาวที่มีส่วนผสมของน้ำมันทั้ง 15% และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 2% โดยน้ำหนัก

สูตรกาว	24 ชั่วโมง	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3
5B	3,700	11,000	เกิดเป็นGel วัลค่าไม่ได้	-
5C	5,400	23,000	เกิดเป็นGel วัลค่าไม่ได้	-
5D	9,400	33,000	เกิดเป็นGel วัลค่าไม่ได้	-
5E	14,600	36,000	เกิดเป็นGel วัลค่าไม่ได้	-

เมื่อพิจารณากาวสูตร 2 ซึ่งเป็นกาวที่เตรียมจากสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ความหนืด 500(2A) , 800(2B) , 1,000(2C) , 2,000(2D) และ 3,000(2E) เซนติพอยส์ ตามลำดับโดยมีน้ำมันทั้ง 10 % โดยน้ำหนัก หลังจากเตรียมโดยการปั่นกวนด้วยความเร็วรอบสูงแล้วเก็บไว้ 24 ชั่วโมง, 1 สัปดาห์ , 2 สัปดาห์, 3 สัปดาห์ พบว่า ในระหว่างที่ตั่งกาวทิ้งไว้ สันนิษฐานว่ามีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น 2 ลักษณะ ได้แก่ ลักษณะแรกเมื่อตั่งกาวทิ้งไว้สารละลายพอลิไวนิล

แอลกอฮอล์กับน้ำมันทั้งจะค่อยๆแยกชั้นออกจากกัน ซึ่งจะส่งผลให้ความหนืดของกาวลดลงและในลักษณะที่ 2 คือในส่วนของน้ำมันทั้งก็สามารถเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศได้ที่อุณหภูมิห้องที่ตำแหน่งพันธะคู่เกิดการเชื่อมโยงโมเลกุลของน้ำมันทั้งเข้าด้วยกันเกิดเป็น โมเลกุลร่างแหซึ่งจะขัดขวางการแยกชั้นของสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับน้ำมันทั้ง ส่งผลให้ความหนืดของระบบเพิ่มขึ้นซึ่งในสูตร 2 (2A-2E) ความหนืดของกาวในสัปดาห์แรกลดลงทั้ง 5 สูตรเนื่องจากในสูตรนี้ปริมาณสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับน้ำมันทั้งมีปริมาณใกล้เคียงกันประมาณ 10 % โดยน้ำหนัก ดังนั้นการแยกชั้นของสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับน้ำมันทั้งอาจมีผลมากกว่าการเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงของน้ำมันทั้ง จึงส่งผลให้ความหนืดของกาวลดลงในช่วงสัปดาห์ที่ 1 อย่างไรก็ตามความหนืดของระบบเพิ่มขึ้น เมื่อเข้าสู่สัปดาห์ที่ 2 และไม่สามารถวัดค่าได้เมื่อเข้าสู่สัปดาห์ที่ 3 เนื่องจากระบบเริ่มเกิดเจล

สูตร 3A-3E ซึ่งปริมาณน้ำมันทั้งเป็น 15 % และ สูตร 4A-4E ซึ่งปริมาณน้ำมันทั้งเป็น 20% เมื่อปริมาณน้ำมันทั้งเพิ่มขึ้น การเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงระหว่างพันธะคู่ของน้ำมันทั้งเองจะเกิดได้เร็วขึ้น โดยมีออกซิเจนเป็นตัวริเริ่มทำให้ค่าความหนืดเพิ่มขึ้นเมื่อตั้งทิ้งไว้ และเกิดเป็นเจลในสัปดาห์ที่ 3 สำหรับสูตร 3A-3E และเป็นเจลในสัปดาห์ที่ 2 สำหรับสูตร 4A-4E

สูตร 5B- 5E เป็นสูตรที่พัฒนาต่อเนื่องจาก สูตร 3A-3E โดยใช้ปริมาณน้ำมันทั้งเท่าเดิม คือ 15 % และเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาจาก 1% เป็น 2%โดยน้ำหนัก พบว่า ค่าความหนืดเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บไว้ 24 ชั่วโมงและสัปดาห์ที่ 1 ผลมาจากอัตราการเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงระหว่างพันธะคู่ของน้ำมันทั้งเกิดได้เร็ว จนเกิดเป็นเจล (Gel) ไม่สามารถวัดค่าความหนืดได้ เมื่อทิ้งไว้ 2 สัปดาห์

ดังนั้นสูตรกาวที่มีความเสถียรที่เหมาะสมและสามารถนำไปใช้งานได้ควรมีอายุการเก็บไม่ต่ำกว่า 2 สัปดาห์ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพของความเป็นกาวสูงสุดก่อนการเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยง

### 4.3 การหา % Solid content ( Non-volatile )

การหา % Solid content อ้างอิงมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ( มอก. 181 2530 ) เป็นวิธีการหาปริมาณเนื้อกาวที่มีอยู่จริงหลังจากอบไล่ตัวทำละลายที่อุณหภูมิ 105 °C เวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้ตัวอย่างกาวที่เก็บไว้หลัง 24 ชั่วโมงหนัก 3.000 กรัม

ตารางที่ 4.5 % Solid content ของกาวสูตร 1 - 4

ความหนืดตั้งต้นของ สารละลาย พอลิไวนิลแอลกอฮอล์	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4
500	7.3	18.02	23.14	28.95
800	7.9	18.35	24.41	29.96
1,000	8.2	19.82	24.67	30.69
2,000	9.7	21.12	25.98	31.48
3,000	10.8	21.96	29.60	31.95

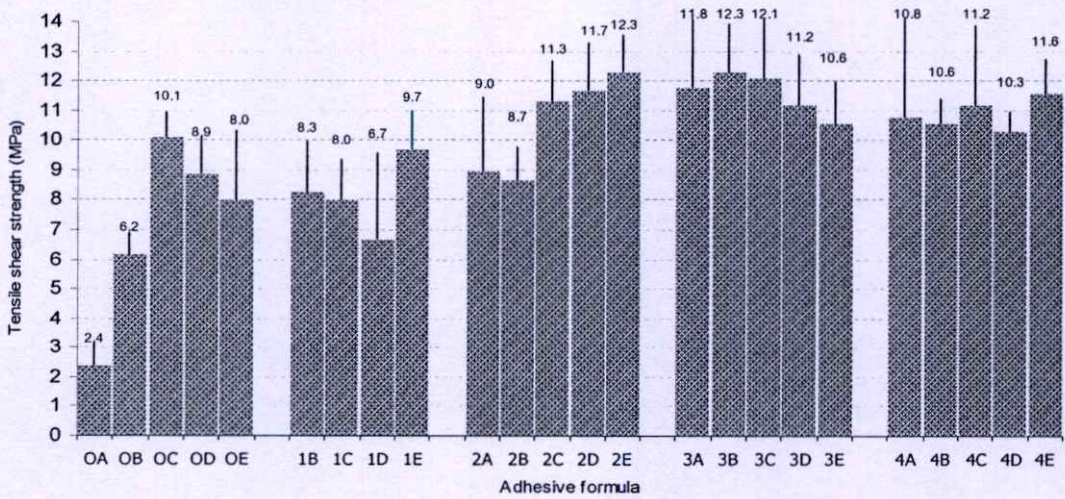
ผลการหาค่า % Solid content (Non-volatile) แสดงดังตารางที่ 4.5 พบว่ากาวในสูตรเดียวกันแต่ปรับเปลี่ยนความหนืดของสารตั้งต้นพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในช่วง 500-3,000 เซนติพอยส์ พบว่า % Solid content เพิ่มขึ้นตามความหนืดของสารตั้งต้นที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณของเนื้อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในสารละลายมีมากขึ้นเมื่อความหนืดเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าปริมาณ % Solid content ไม่ได้แตกต่างกันมากนักโดยมีค่าในช่วง 7.3 – 10.8 % ดังนั้นถ้าต้องการให้ % Solid content สูงโดยการเพิ่มเนื้อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในสารละลายจะส่งผลกระทบต่อความหนืดของระบบกาวอย่างมาก

เมื่อพิจารณาค่า % Solid content ในสูตรกาวที่ต่างกันพบว่ามีค่าแตกต่างกันค่อนข้างมากเนื่องจากกาวสูตร 2 – 4 มีการเติมน้ำมันทั้งในปริมาณ 10 15 และ 20% โดยน้ำหนักตามลำดับ โดยที่ % Solid content ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับผลรวมของปริมาณเนื้อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ความหนืดเริ่มต้นของสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับปริมาณน้ำมันทั้งที่ใส่เข้าไป แสดงให้เห็นว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของน้ำมันทั้ง โดยการเกิดปฏิกิริยาการเชื่อม โยงและแห้งเป็นส่วนหนึ่งของเนื้อกาว ข้อสังเกตอีกประการหนึ่งที่พบคือความหนืดเริ่มต้นของสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่แตกต่างกันไม่ส่งผลให้ค่า % Solid content ในกาวสูตร 2 – 4 เปลี่ยนแปลงมากนัก โดยมีปริมาณเนื้อกาวอยู่ในช่วง 18-22 , 23-30 และ 29-32 เปอร์เซ็นต์ สำหรับสูตร 2 , 3 และ 4 ตามลำดับ

#### 4.4 สมบัติเชิงกลของกาว

ในงานวิจัยนี้ศึกษาถึงผลของความหนืดของสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และปริมาณน้ำมันทั้งที่เปลี่ยนไปหลังเก็บไว้ 24 ชั่วโมงต่อสมบัติเชิงกลของกาวตามมาตรฐาน DIN EN-204-1991( Seq.1 และ Seq.2) ด้วยวิธีการวัดความแข็งแรงดึงแบบเฉือน (Tensile shear strength) ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.1

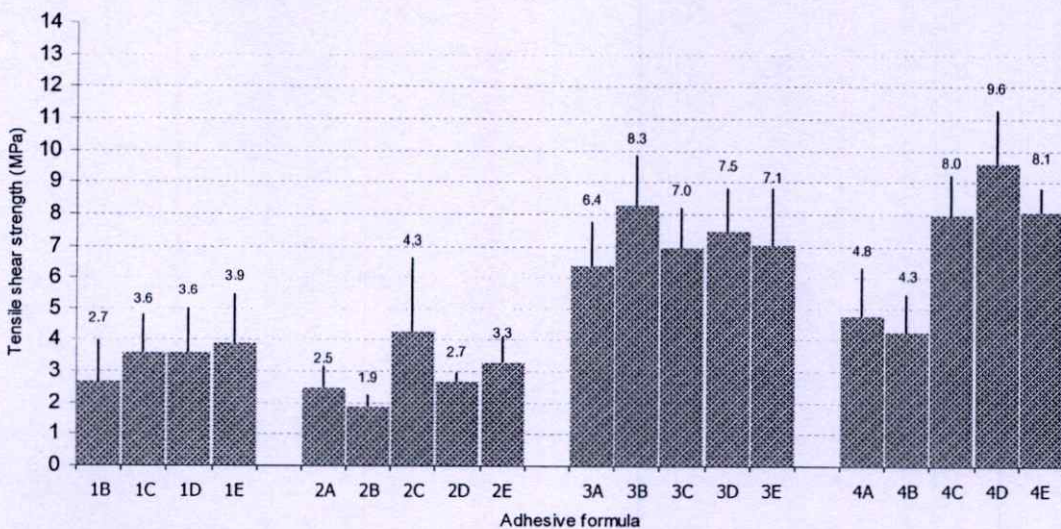
### ผลของความหนืดและปริมาณน้ำมันทั้ง



รูปที่ 4.1 ความแข็งแรงดึงแบบเฉือน (Seq.1) ของกาวสูตรต่างๆ

จากผลการทดสอบค่าความแข็งแรงดึงเฉือนตามมาตรฐาน EN 204-1991 ตามสภาวะที่ 1 (Seq.1) พบว่าสูตรกาวที่มีส่วนผสมของน้ำมันทั้งในสูตรที่ 2 – 4 ให้ค่าทดสอบที่สูงกว่าสูตร 0 ซึ่งมีเฉพาะสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เท่านั้นและสูตร 1 โดยค่าเฉลี่ยที่ได้มีค่าสูงกว่าที่มาตรฐานกำหนดไว้ที่ 10 MPa ยกเว้นสูตร 2A และ 2 B ที่มีปริมาณน้ำมันทั้ง 10 % โดยน้ำหนักและสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีค่าความหนืดค่าที่ 500 และ 800 เซ็นติพอยส์ตามลำดับมีค่าความแข็งแรงดึงแบบเฉือนใกล้เคียงค่ามาตรฐาน เนื่องจากความหนืดของสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีค่าต่ำจะมีปริมาณเนื้อของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่ำไปด้วยเมื่อกาวแห้งตัวจึงเหลือเนื้อกาวที่จะประสานระหว่างพื้นผิวของไม้ไม่น้อยเกินไปจึงทำให้ได้ค่าความแข็งแรงดึงเฉือนต่ำ

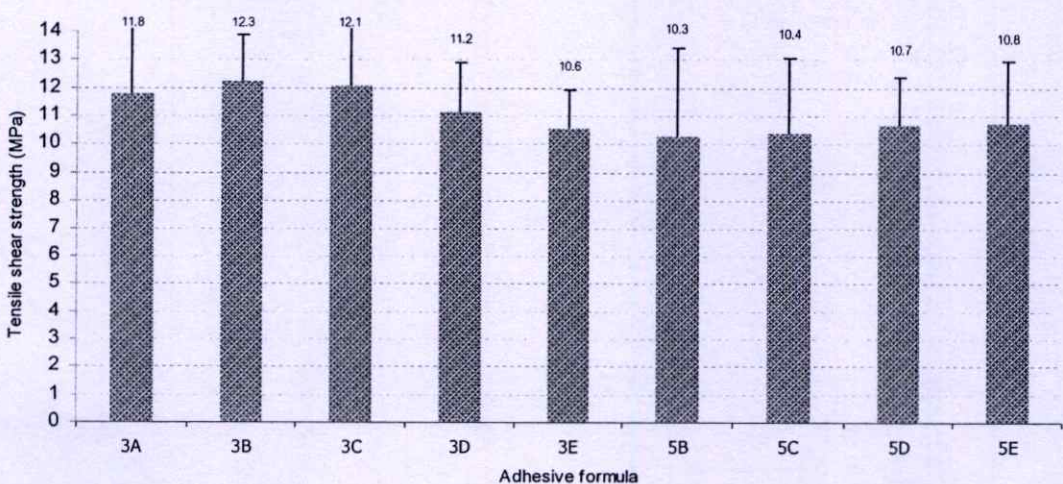
### ผลของความหนืดและปริมาณน้ำมันทั้ง(Seq.2)



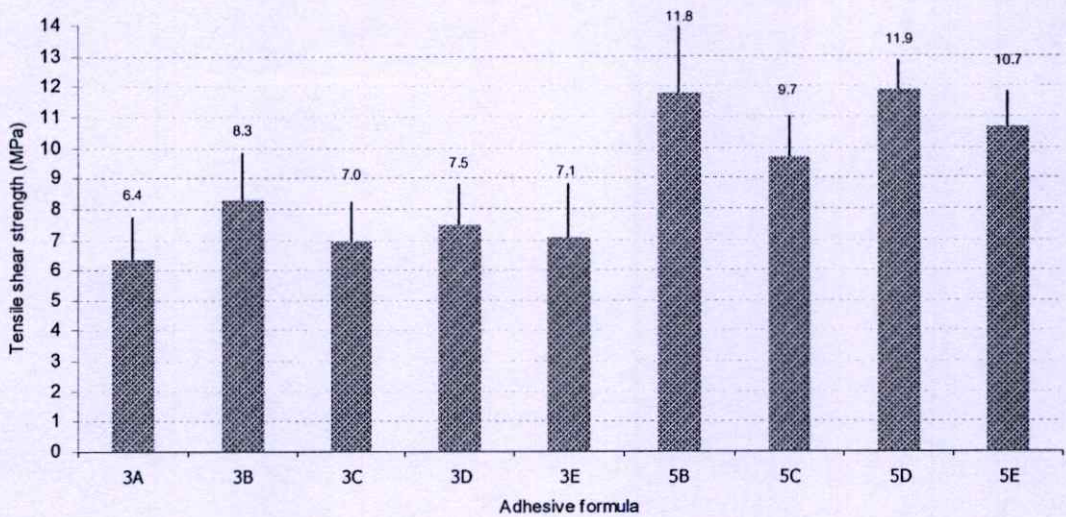
รูปที่ 4.2 ความแข็งแรงดึงแบบเฉือน (Seq.2) ของกาวสูตรต่างๆ

ในขณะที่ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงดึงเฉือนตามมาตรฐาน EN 204-1991 ตามสภาวะที่ 2 (Seq.2) ซึ่งเป็นการทดสอบการต้านทานน้ำของกาวให้ผลในการทำงานเดียวกันคือกาวที่มีส่วนผสมของน้ำมันทั้งในสูตรกาวค่าทดสอบที่ได้มีค่าสูงขึ้นเมื่อเทียบกับกาวสูตร 0 และ 1 และพบว่าปริมาณน้ำมันทั้งในสูตรกาวมีผลต่อค่าความแข็งแรงดึงเฉือน โดยมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณน้ำมันทั้งเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามสูตรกาวที่มีน้ำมันทั้งเพียงบางสูตรมีค่าความแข็งแรงดึงเฉือนผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ที่ 8 MPa โดยที่สูตรกาวที่มีปริมาณน้ำมันทั้ง 10% โดยน้ำหนัก (สูตร 2A-2E) ไม่ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึงเฉือนสูงขึ้นและไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานสำหรับสูตรกาวที่มีปริมาณน้ำมันทั้ง 15 % โดยน้ำหนัก (สูตร 3A-3E) มีค่าความแข็งแรงดึงเฉือนสูงขึ้นแต่ส่วนใหญ่ยังไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน โดยมีค่าความแข็งแรงดึงเฉือนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 6.4 – 8.3 MPa อย่างไรก็ตามเมื่อทดสอบค่าความแข็งแรงดึงแบบเฉือนของกาวสูตรที่มีปริมาณน้ำมันทั้ง 20% โดยน้ำหนัก (สูตร 4A- 4E) พบว่ามีค่าความแข็งแรงดึงเฉือนสูงขึ้น โดยเฉพาะสูตรกาวที่มีความหนืดของสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 1,000, 2,000 และ 3,000 เซ็นติพอยส์ (สูตร 4C,4D และ 4E) ให้ค่าทดสอบผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ถึงอย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาผลของค่าความแข็งแรงดึงเฉือนของแต่ละชั้นตัวอย่างทดสอบพบว่าบางชั้นตัวอย่างทดสอบให้ค่าต่ำกว่าเกณฑ์เมื่อมีการนำไปใช้งานจริงอาจทำให้ระดับความเชื่อมั่นของกาว 3 สูตรดังกล่าวต่ำ นอกจากนี้ยังพบว่าเสถียรภาพของกาวสูตรที่มีปริมาณน้ำมันทั้ง 20 % มีอายุการใช้งานสั้นกว่ากาวสูตรอื่นๆ อันเนื่องมาจากปริมาณน้ำมันทั้งที่มากขึ้นทำให้โอกาสการเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงระหว่างพันธะคู่ของน้ำมันทั้งก่อนการใช้งานจริงสูงขึ้นส่งผลให้ความหนืดของกาวสูงขึ้นด้วยทำให้ยากต่อการใช้งาน ดังนั้นจึงทำการพัฒนากาวสูตร 3 ซึ่งมีปริมาณน้ำมันทั้ง 15 % โดยตัดสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ความหนืด 500 เซ็นติพอยส์ออก โดยทำการปรับปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น

### ผลของปริมาณตัวเร่ง



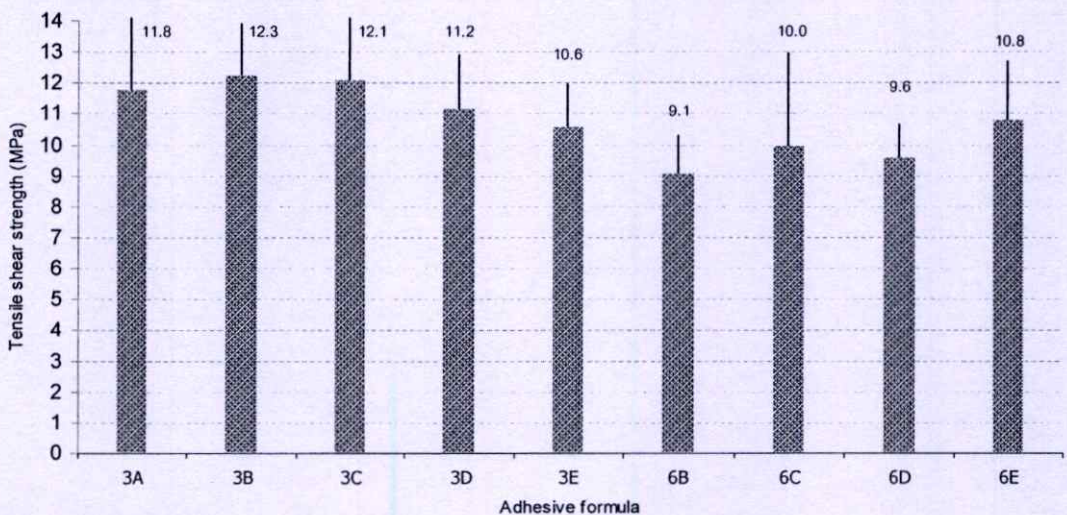
รูปที่ 4.3 ความแข็งแรงดึงแบบเฉือน (Seq.1) ของกาวสูตรต่างๆ



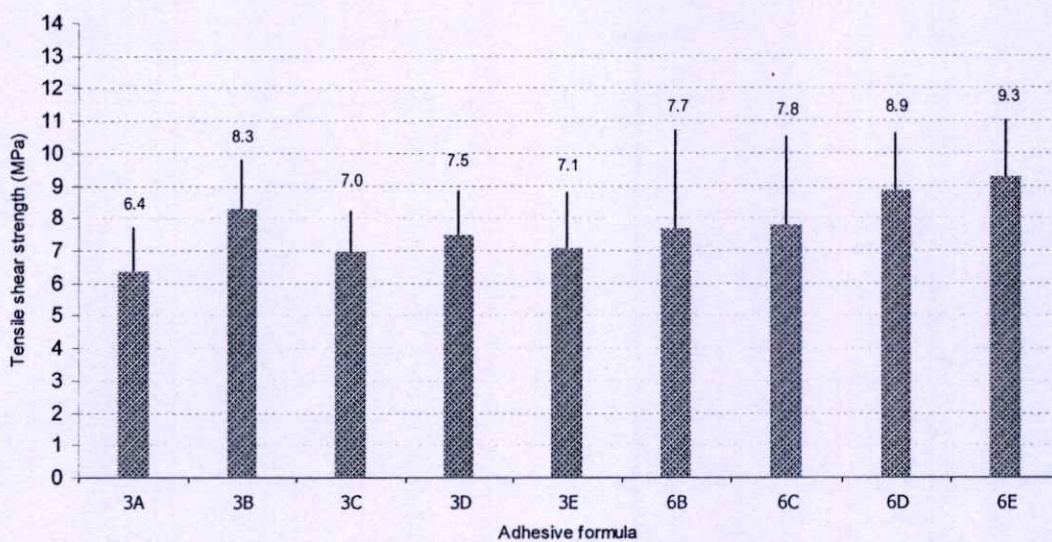
รูปที่ 4.4 ความแข็งแรงดึงแบบเฉือน (Seq.2) ของกาวสูตรต่างๆ

ผลของการเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาจาก 1% (สูตร 3A-3E) เป็น 2% (สูตร 5B - 5E) โดยน้ำหนัก จากผลการทดสอบค่าความแข็งแรงดึงเฉือนตามมาตรฐาน EN 204-1991 ตามสภาวะที่ 1 (Seq.1) พบว่ากาวแต่ละสูตร (5B - 5E) มีค่าความแข็งแรงดึงเฉือนผ่านเกณฑ์มาตรฐาน (10 MPa) แต่เมื่อทดสอบตามสภาวะที่ 2 (Seq.2) พบว่า เฉพาะสูตรกาว (5B - 5E) สามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐาน (8 MPa) เนื่องจากการเพิ่มตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้อัตราการเกิดการเชื่อมโยงระหว่างพันธะคู่ภายในโมเลกุลของน้ำมันทั้งเกิดปฏิกิริยาได้สูงขึ้นทำให้กาวมีการยึดติดที่แข็งแรงมากขึ้น ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึงเฉือนสูงขึ้นและการต้านทานน้ำก็สูงขึ้นด้วย

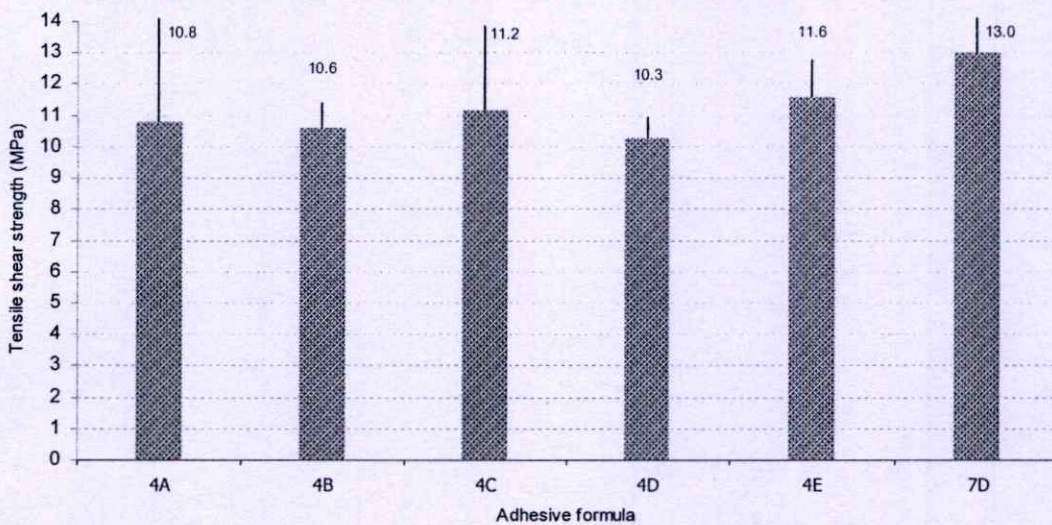
ผลของอุณหภูมิและเวลา



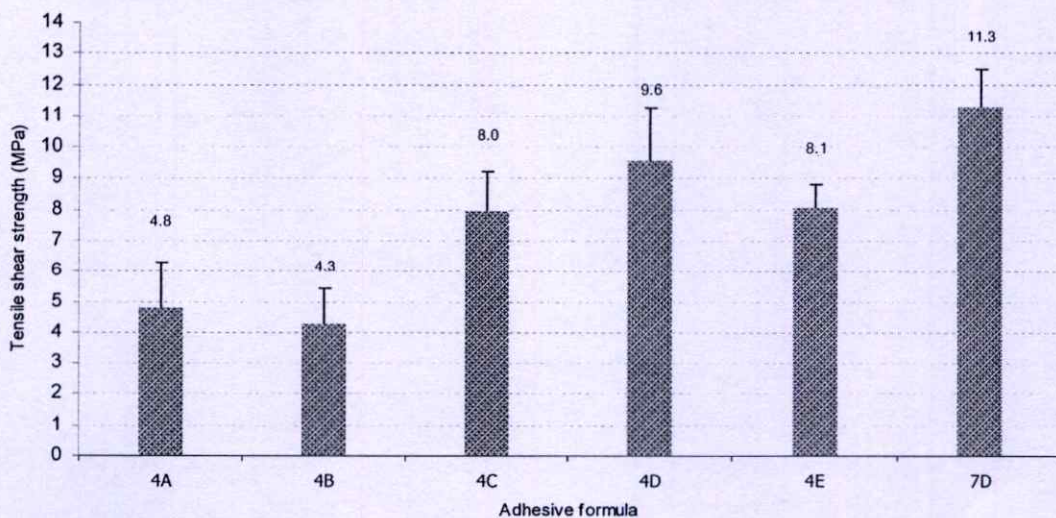
รูปที่ 4.5 ความแข็งแรงดึงแบบเฉือน (Seq.1) ของกาวสูตร 3 และ 6 (15 % Oil)



รูปที่ 4.6 ความแข็งแรงดึงแบบเฉือน (Seq.2) ของกาวสูตร 3 และ 6 (15 % Oil)



รูปที่ 4.7 ความแข็งแรงดึงแบบเฉือน (Seq.1) ของกาวสูตร 4 และ 7 (20% Oil)



รูปที่ 4.8 ค่าความแข็งแรงดึงแบบเฉือน (Seq.2) ของกาวสูตร 4 และ 7 (20% Oil)

ผลของการเพิ่มอุณหภูมิและเวลาจากอุณหภูมิ 90°C ,ใช้เวลากดอัดนาน 1 ชั่วโมง (สูตร 3 และ 4) เป็นอุณหภูมิ 95°C ใช้เวลากดอัดนาน 2 ชั่วโมง (สูตร 6 และ 7) จากผลการทดสอบค่าความแข็งแรงดึงเฉือนตามมาตรฐาน EN 204-1991 ตามสภาวะที่ 1 (Seq.1) พบว่ากาวสูตร 6C และ 6E มีค่าความแข็งแรงดึงเฉือนในช่วงเกณฑ์มาตรฐาน (10 MPa) โดยมีบางสูตร(6B และ 6D) ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ทั้งที่กาวสูตร 3A-3E ผ่านเกณฑ์มาตรฐานทั้งสิ้นซึ่งอาจจะมีสาเหตุมาจากข้อบกพร่องของชิ้นไม้ที่ใช้ทดสอบกาวสูตร 6 ทำให้ค่าที่ได้ต่ำกว่าปกติอย่างไรก็ตามเมื่อทดสอบตามสภาวะที่ 2 (Seq.2) พบว่ากาวสูตร 6D และ 6E มีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐาน (8 MPa) ที่ 8.9 และ 9.3 MPa ตามลำดับ สำหรับผลการทดสอบกาวสูตร 7D เทียบกับกาวสูตร 4A-4E พบว่าการทดสอบสภาวะที่ 1 ให้ค่าความแข็งแรงดึงแบบเฉือนผ่านเกณฑ์มาตรฐาน (10MPa) ทั้งหมดโดยกาวสูตร 7D ให้ค่าทดสอบสูงสุดที่ 13.0 Mpa และเมื่อทดสอบตามสภาวะที่ 2 พบว่าเฉพาะกาวสูตร 4D 4E และ 7D ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน โดยที่กาวสูตร 7D ให้ค่าการทดสอบสูงสุดที่ 11.3 MPa เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิและเวลาทำให้อัตราการเกิดการเชื่อมโยงระหว่างพันธะคู่ใน โมเลกุลของน้ำมันตัวเองและการเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification) ระหว่างหมู่เอสเทอร์ของน้ำมันทั้ง กับ หมู่ไฮดรอกซิลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ได้สูงขึ้น ซึ่งผลของการเชื่อมโยงที่เกิดขึ้นทำให้กาวมีการยึดติดที่แข็งแรงมากขึ้น ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึงเฉือนสูงขึ้นและการต้านทานน้ำก็สูงขึ้นด้วย

#### 4.5 การทดสอบ % wood failure

ผลของ % wood failure ดังแสดงในตารางที่ 4.6 พบว่า % wood failure ของกาวที่เตรียมจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปรับปรุงด้วยน้ำมันทั้งในช่วง 10 – 20 % โดยน้ำหนัก

ตารางที่ 4.6 แสดงสูตรกาวต่างๆ ต่อ % wood failure

สูตร	ความหนืดของสารละลาย PVA	% wood failure
1 A	500	0
1 B	800	0
1 C	1,000	0
1 D	2,000	0
1 E	3,000	0
2 A	500	6
2 B	800	12
2 C	1,000	30
2 D	2,000	48
2 E	3,000	36

ตารางที่ 4.6 (ต่อ)

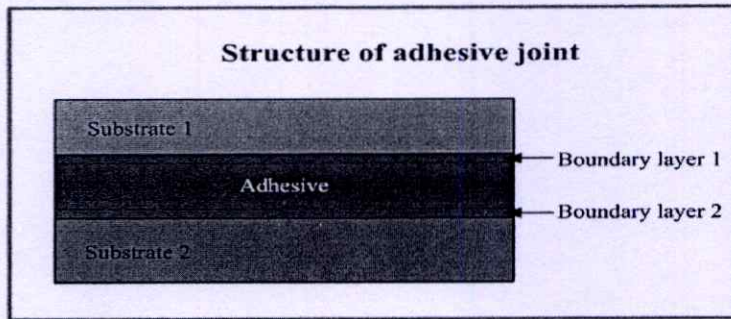
สูตร	ความหนืดของสารละลาย PVA	% wood failure
3 A	500	8
3 B	800	18
3 C	1,000	34
3 D	2,000	56
3 E	3,000	42
4 A	-	-
4 B	800	22
4 C	1,000	36
4 D	2,000	68
4 E	3,000	52
5 A	-	-
5 B	800	32
5 C	1,000	48
5 D	2,000	88
5 E	3,000	80
6A	-	-
6B	800	28
6C	1,000	56
6D	2,000	92
6E	3,000	85
7D	2,000	98

เมื่อศึกษาผลของสูตรกาวต่อค่า % wood failure ดังแสดงในตารางที่ 4.6 พบว่า % wood failure ของสูตรกาวที่มีปริมาณน้ำมันทั้งสูงสุดคือ 20% ที่ความหนืด 2,000 เซนติพอยส์ กดอัดที่ อุณหภูมิ 95° C นาน 2 ชั่วโมง มีค่า % wood failure สูงสุด เป็นผลมาจากพฤติกรรมการยึดติดของกาวกับชิ้นไม้ ดังนี้

1. การยึดติดแบบเชิงกล (Mechanical adhesion) เป็นการยึดติดระหว่างผิวหน้าชิ้นตัวอย่างที่มีกาวยึดส่วนต่างๆ ไว้ในลักษณะการเกาะเกี่ยว (Interlocking action) กล่าวคือ กาวสามารถแทรกซึมลงไปตามผิวไม้ตามรอยแตกและรูพรุนของโครงสร้างไม้แล้วเกิดการแข็งตัวของกาวทำให้ผิวหน้า

ของไม้ยึดติดกันด้วยกาวที่แทรกเข้าไปภายในเนื้อไม้ซึ่งเป็นกลไกขั้นแรกของการยึดติดซึ่งบริเวณที่เกิดการยึดติดแบบนี้ ได้แก่ ส่วน Boundary Layer ดังในรูปที่ 4.9

2. การยึดติดแบบเฉพาะ (Specific adhesion) เป็นการยึดติดระหว่างผิวไม้ไว้ด้วยแรงระหว่างอะตอม อีออน และโมเลกุลซึ่งขึ้นอยู่กับความเป็นขั้วของโมเลกุลและระยะห่างระหว่างโมเลกุลซึ่งจะเกิดสำหรับการยึดติดเฉพาะระหว่างกาวและพื้นผิวไม้ ดังแสดงในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 โครงสร้างการยึดติดระหว่างผิวไม้

#### Failure mechanisms of adhesive bonding



รูปที่ 4.10 การแตกหักหรือฉีกขาดของกาวกับไม้

การแตกหักหรือฉีกขาดของไม้ (wood failure) เกิดจากความแข็งแรงของเนื้อกาวที่ยึดติดแข็งแรงกว่าไม้เมื่อนำชิ้นไม้ที่ทาแล้วไปทดสอบค่าความแข็งแรงดึงแบบเฉือนพบการแตกหักหรือฉีกขาดของไม้ (ดังรูปที่ 4.10) ได้ 3 ลักษณะ คือ

1. การแตกหักหรือฉีกขาดเกิดที่ไม้ ลักษณะนี้แสดงว่าเนื้อกาวมีความแข็งแรงกว่าเนื้อไม้ทำให้การแตกหักหรือฉีกขาดเกิดที่ไม้ หรือ กาวมี Cohesion สูงกว่าไม้ (1)

2. การแตกหักหรือฉีกขาดเกิดระหว่างรอยกาวกับไม้ ลักษณะนี้แสดงให้เห็นว่าการยึดเกาะระหว่างไม้กับกาวไม่แข็งแรงพอ หรือ กาวมี Adhesion ไม่ดี (2)

3.การแตกหักหรือฉีกขาดเกิดในเนื้อกาว ลักษณะนี้แสดงให้เห็นว่าเนื้อกาวมีความแข็งแรงต่ำกว่าเนื้อไม้ หรือ กาวมี Cohesion ต่ำกว่าไม้ (3)

สำหรับสารพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยน้ำมันทั้งนั้นนอกจากจะมีการยึดติดแบบเชิงกลแล้วยังมีการยึดติดแบบเฉพาะซึ่งเกิดจากการเชื่อมโยงระหว่างพันธะคู่ของน้ำมันตัวเองและเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างหมู่เอสเทอร์ของน้ำมันทั้งกับหมู่ไฮดรอกซิลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ซึ่งผลของการเชื่อมโยงที่เกิดขึ้นส่งผลให้เนื้อกาวมี cohesion สูงขึ้น และทำให้กาวมีการยึดติด (Adhesion) ที่แข็งแรงมากขึ้น ดังนั้น wood failure เกิดจากความแข็งแรงของกาวมีค่ามากกว่าไม้ ดังรูปที่ 4.10

#### 4.6 การบวมตัวของกาว ( Swelling )

เตรียมกาวสูตรต่างๆตามอัตราส่วนที่กำหนด (ตามตารางที่3.1)นำไปอบที่อุณหภูมิและเวลาตามตารางที่ 3.1 นำออกมาตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งน้ำหนักกาวหลังอบ ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 7 วันใส่น้ำลงในจานเพาะเชื้อที่มีฟิล์มกาวอยู่ในปริมาณที่เท่าๆกันทิ้งไว้ 3 ชั่วโมง สังเกตรูปร่างของฟิล์มที่เปลี่ยนไป ซึ่งน้ำหนักของฟิล์มกาวที่เหลือจากข้อมูลที่ได้นำมาหาค่าการบวมตัวของฟิล์มกาวเพื่อใช้เปรียบเทียบปริมาณการเชื่อมโยงของกาวแต่ละสูตรได้

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

การบวมตัวของกาว (Swelling) เป็นวิธีการหาการเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงระหว่างพันธะคู่ของน้ำมันตัวเองและการเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification) ระหว่างหมู่เอสเทอร์ของน้ำมันทั้ง กับหมู่ไฮดรอกซิลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ซึ่งผลของการเชื่อมโยงที่เกิดขึ้นทำให้กาวมีการยึดติดที่แข็งแรงมากขึ้น แสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงของกาวสูตรต่างๆหลังแช่น้ำ

สูตรกาว	นน.กาวก่อนอบ	นน.กาวหลังอบ	นน.หลัง แช่น้ำ 3 ชม.	นน.ที่เปลี่ยนแปลง
1A	5.00	0.75	0.40	-46.67 (-)
1B	5.02	0.87	0.51	-41.38 (-)
1C	5.04	1.62	0.75	-53.70 (-)
1D	5.00	0.61	1.06	73.77 (+)
1 E	5.01	0.66	0.87	31.82 (+)
2A	5.04	1.36	1.26	-7.35 (-)

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

สูตรกาว	นน.กาวก่อนอบ	นน.กาวหลังอบ	นน.หลัง แช่น้ำ 3 ชม	นน.ที่เปลี่ยนแปลง
2B	5.00	1.35	1.28	-5.19 (-)
2C	5.03	1.56	1.28	-17.95 (-)
2D	5.01	1.06	1.41	33.02 (+)
2E	5.01	1.08	1.63	50.93 (+)
3A	5.00	1.75	1.42	-18.86 (-)
3B	5.00	1.35	1.42	5.19 (+)
3C	5.01	1.51	1.54	1.99 (+)
3D	5.00	1.27	1.50	18.11 (+)
3E	5.01	1.38	1.54	11.59 (+)
4A	5.01	1.45	1.60	10.34 (+)
4B	5.03	1.58	1.66	5.06 (+)
4C	5.02	1.62	1.71	5.56 (+)
4D	5.01	1.69	1.65	-2.37 (-)
4E	5.00	1.62	1.74	7.41 (+)
5B	5.02	1.36	1.50	10.29 (+)
5C	5.03	1.35	1.49	10.37 (+)
5D	5.01	1.42	1.66	16.90 (+)
5 E	5.01	1.43	1.78	24.48 (+)
6B	5.02	1.22	1.51	23.77 (+)
6C	5.00	1.38	1.62	17.39 (+)
6D	5.00	1.21	1.76	45.45 (+)
6E	5.00	1.27	1.65	29.92(+)
7D	5.00	1.44	1.69	17.36(+)

หมายเหตุ : (-) น้ำหนักลดลง

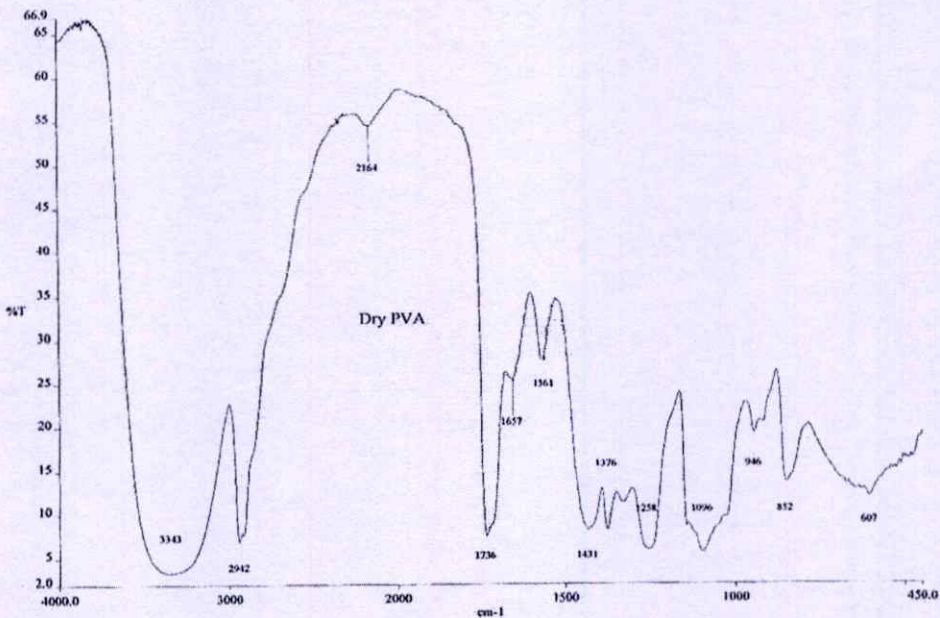
(+) น้ำหนักเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงของสูตรกาวที่ไม่มีน้ำมันทั้ง (1A-1E) พบว่า น้ำหนักกาวหลังแช่น้ำแล้วมีค่าค่อนข้างต่ำ (-) แสดงว่ามีบางส่วนละลายน้ำซึ่งสันนิษฐานว่าเป็นกาวส่วนที่ไม่มีปฏิกิริยาการเชื่อมโยงเกิดขึ้น แต่เมื่อมีการเติมน้ำมันทั้งในสูตรกาว 10% (2A-2E) 15% (3A-3E)

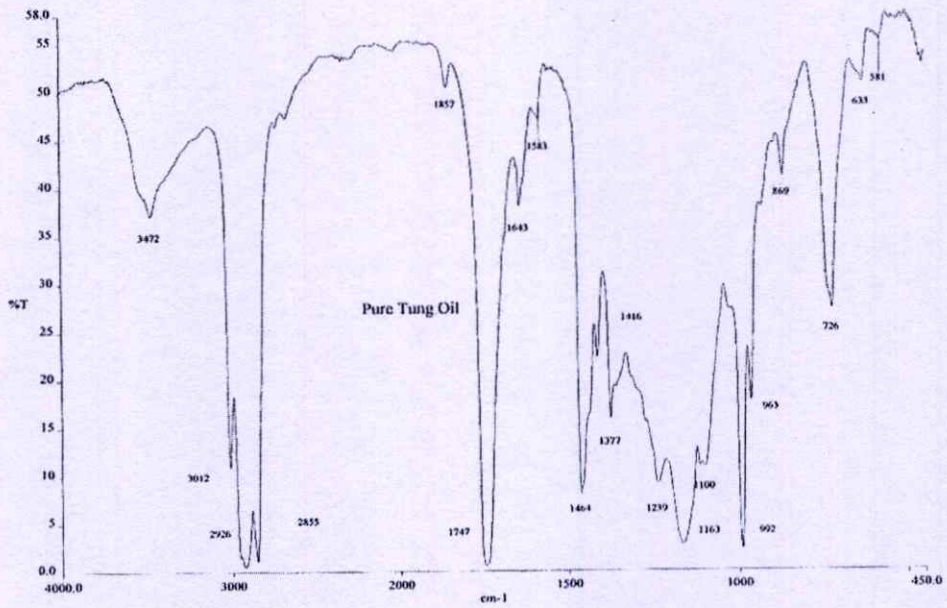
20% (4A-4E) โดยน้ำหนัก พบว่าน้ำหนักกวหลังแช่น้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (+) แสดงว่า การเพิ่มปริมาณน้ำมันทั้งทำให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างพันธะคู่ของน้ำมันตัวเองและเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification) ระหว่างหมู่เอสเทอร์ของน้ำมันทั้ง กับหมู่ไฮดรอกซิลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ซึ่งผลของการเชื่อมโยงที่เกิดขึ้นทำให้กาวมีความต้านทานน้ำเพิ่มขึ้นดังนั้นเมื่อน้ำกาวดังกล่าวไปแช่น้ำจึงเกิดการบวมตัวของกาวทำให้น้ำหนักของตัวอย่างหลังแช่น้ำเพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและ เวลาในการกดอัดมากขึ้น (5B – 7D) ยิ่งทำให้เกิดการเชื่อมโยงเพิ่มขึ้น มีการยึดติดที่แข็งแรงมากขึ้น ยืนยันจากค่าความแข็งแรงดึงเฉือน (Shear tensile strength) และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณของน้ำมันทั้งที่เพิ่มขึ้นการต้านทานน้ำก็เพิ่มขึ้นด้วย

#### 4.7 เทคนิค FTIR

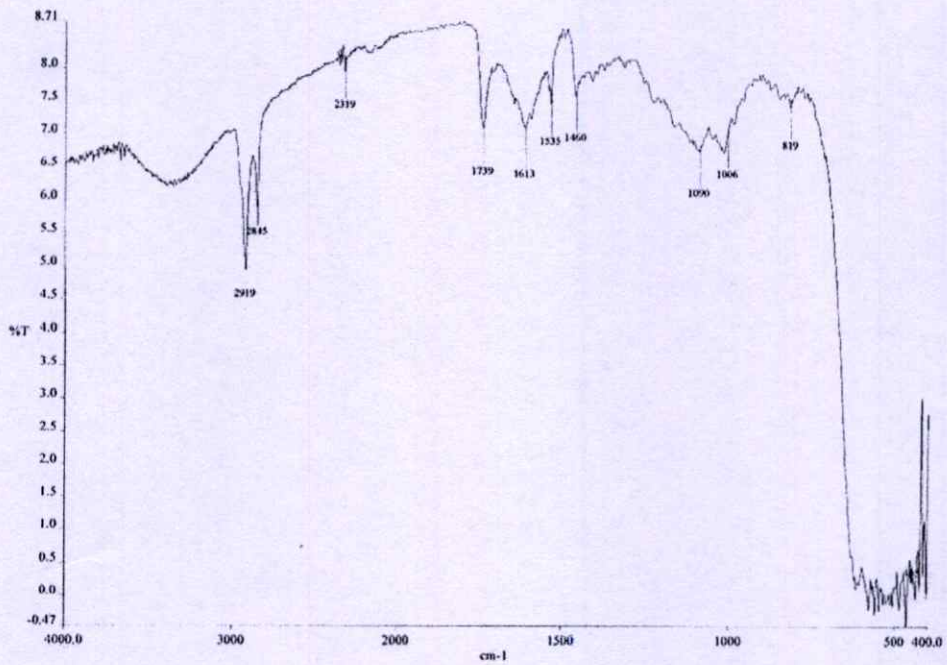
เป็นเทคนิคใช้ตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์หาหมู่ฟังก์ชันที่เปลี่ยนไปของน้ำมันทั้งและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ก่อนและหลังการเกิดปฏิกิริยาการเกิดปฏิกิริยาการเชื่อม



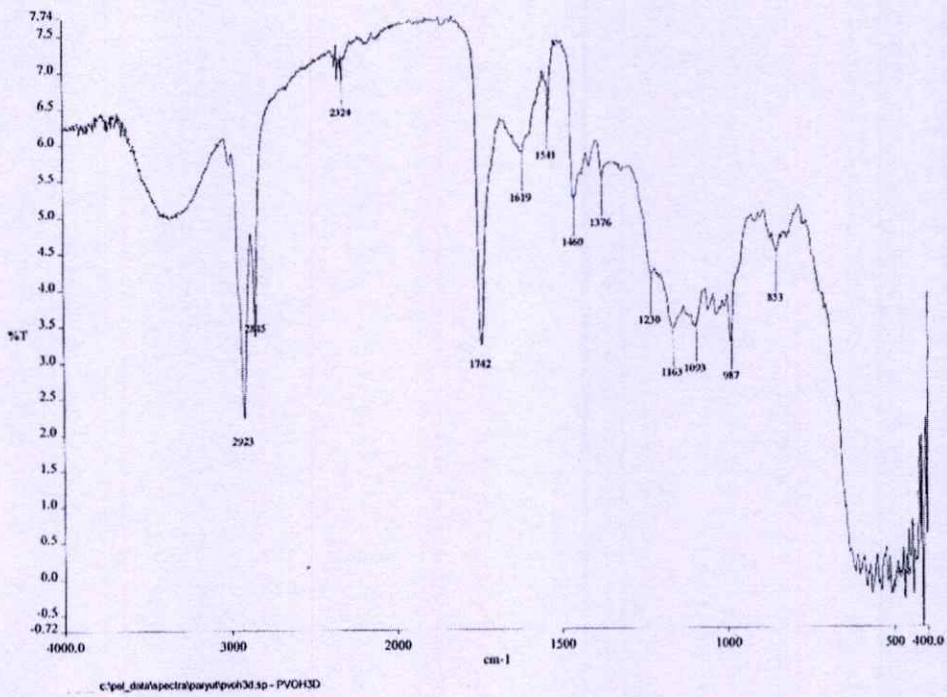
รูปที่ 4.11 อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์



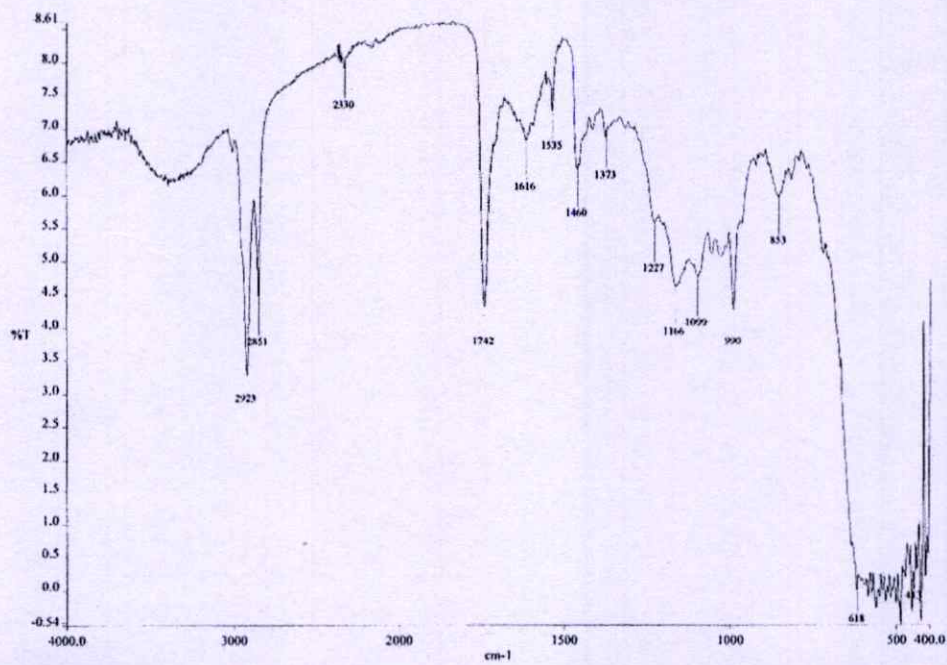
รูปที่ 4.12 อินฟราเรดสเปกตรัมของน้ำมันถั่ง



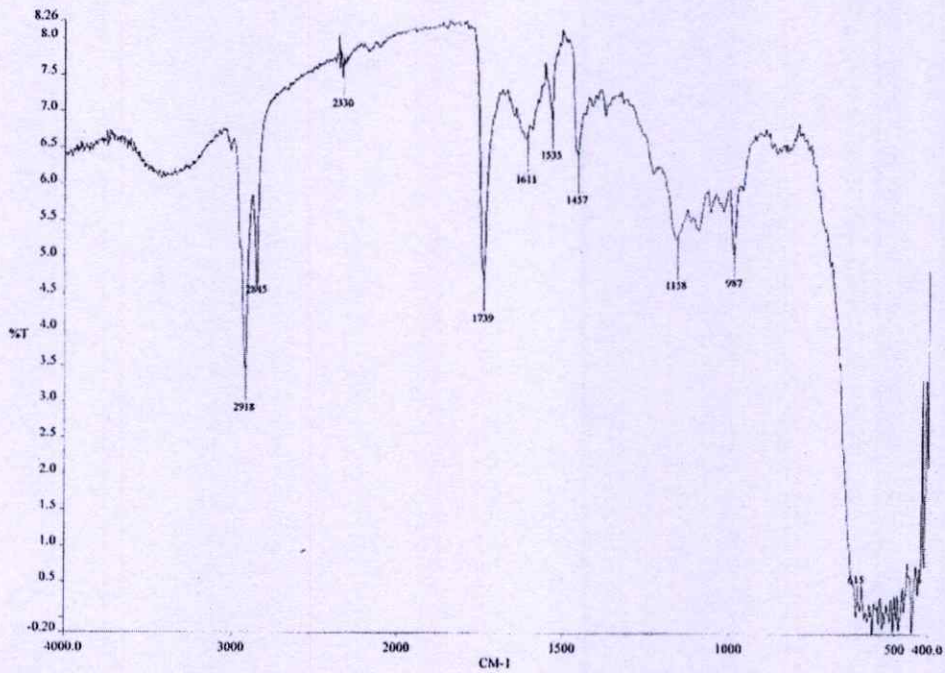
รูปที่ 4.13 อินฟราเรดสเปกตรัมของกาวสูตร 2D ผ่านการอบ 2 ชั่วโมงที่ 95°C



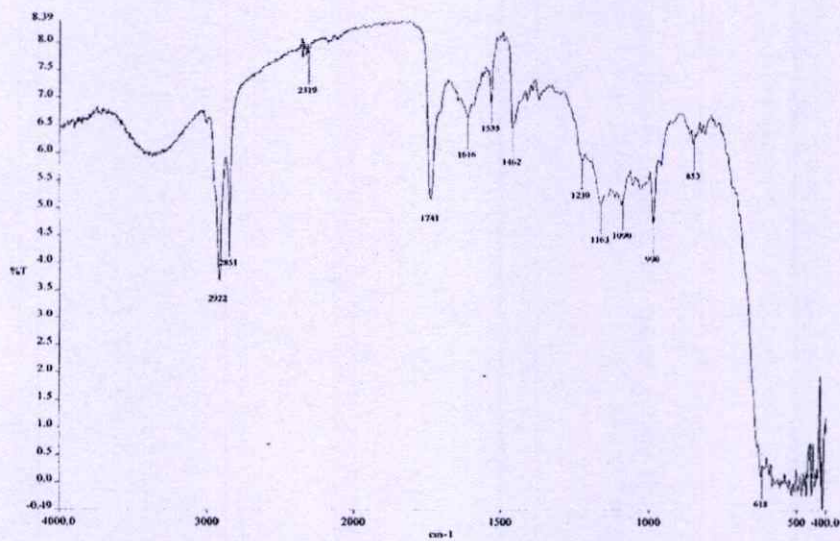
รูปที่ 4.14 อินฟราเรดสเปกตรัมของถ่านใย 3D ผ่านการอบ 2 ชั่วโมงที่ 95°C



รูปที่ 4.15 อินฟราเรดสเปกตรัมของถ่านใย 4D ผ่านการอบ 2 ชั่วโมงที่ 95°C



รูปที่ 4.16 อินฟราเรดสเปกตรัมของกาวสูตร 5D ผ่านการอบ 2 ชั่วโมงที่ 95°C



รูปที่ 4.17 อินฟราเรดสเปกตรัมของกาวสูตร 6D ผ่านการอบ 2 ชั่วโมงที่ 95°C

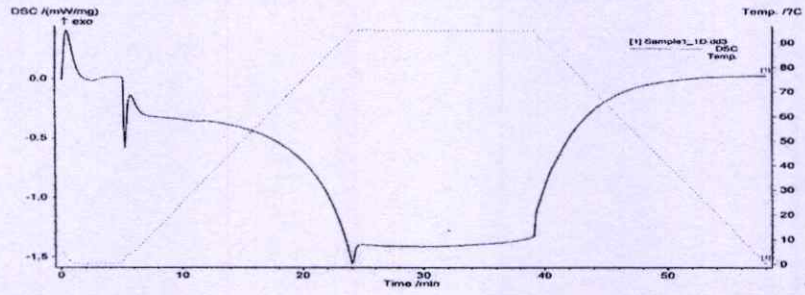
เมื่อพิจารณาสัญญาณ IR ของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (รูปที่ 4.11) พบพีกในช่วงเลขคลื่น 3,343 cm<sup>-1</sup> ซึ่งเป็นสัญญาณของพันธะ O-H ที่เป็นหมู่ฟังก์ชันของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์, ช่วงเลข

คลื่น  $2,942\text{ cm}^{-1}$  เป็นสัญญาณของพันธะ C-H ที่เป็นสายโซ่หลัก ช่วงเลขคลื่น  $1,736\text{ cm}^{-1}$  เป็นสัญญาณของพันธะ C=O ซึ่งจากงานวิจัยนี้ใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เกรด Partial hydrolysis จึงมีบางส่วนเป็นพันธะ C=O ของไวนิลอะซิเตท (Vinyl acetate) ที่ไม่ถูกไฮโดรไลซ์ในขั้นตอนการเตรียมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เมื่อพิจารณาสัญญาณ IR ของน้ำมันทั้ง (รูปที่ 4.12) พบช่วงเลขคลื่น  $3,012\text{ cm}^{-1}$  เป็นสัญญาณของพันธะ =C-H และช่วงเลขคลื่น  $2,926-2,855\text{ cm}^{-1}$  เป็นสัญญาณของพันธะ - C-H ของหมู่-CH<sub>2</sub>-และ-CH<sub>3</sub> ที่เป็นสายโซ่หลักของกรดไขมันและ- C-H ของหมู่ -CH<sub>2</sub>- และ-C-H ในส่วนของกลีเซอรอลในน้ำมันทั้ง

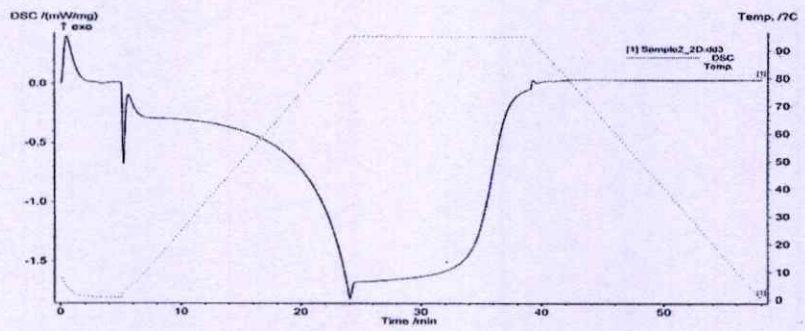
จากผลของ IR ของสูตรกาวต่างๆ (รูปที่ 4.13-4.17) หลังจากให้ความร้อนที่อุณหภูมิ  $95^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อต้องการให้เกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงระหว่างพันธะคู่ของน้ำมัน เนื่องจากน้ำมันทั้งมีองค์ประกอบของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวในโครงสร้างที่ประกอบด้วยพันธะคู่หลายพันธะเมื่อนำมาผสมกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และมีตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างพันธะคู่ของน้ำมันทั้งเองและเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification) ระหว่างหมู่เอสเทอร์ของน้ำมันทั้ง กับหมู่ไฮดรอกซิลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ พบสัญญาณของการสั่นแบบยืดตัวของพันธะ O-H ที่เลขคลื่นประมาณ  $3,400\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นสัญญาณของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และ เลขคลื่นช่วง  $2,923 - 2,845\text{ cm}^{-1}$  เป็นสัญญาณการสั่นแบบค้ำยัดของ -C-H ที่มาจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และน้ำมันทั้ง อย่างไรก็ตาม ใหญ่ฟีกที่เลขคลื่นประมาณ  $3,000\text{ cm}^{-1}$  เป็นสัญญาณของ =C-H จากส่วนของน้ำมันทั้ง จากสัญญาณดังกล่าวแสดงถึงการเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงที่ไม่สมบูรณ์ของพันธะคู่ในน้ำมันทั้ง แม้ว่าจะมีการเพิ่มตัวริเริ่มปฏิกิริยา (กาวสูตร 5D) หรือเพิ่มตัวเร่งปฏิกิริยา (กาวสูตร 6 D) เนื่องจากเมื่อเกิดปฏิกิริยาจนถึงจุดเกิดเจลแล้วการเคลื่อนที่ของโมเลกุลจะน้อยลงทำให้พันธะคู่ที่หลงเหลืออยู่ทำปฏิกิริยาได้น้อยลงหรือไม่สามารถทำปฏิกิริยาต่อได้

#### 4. 8 เทคนิค DSC

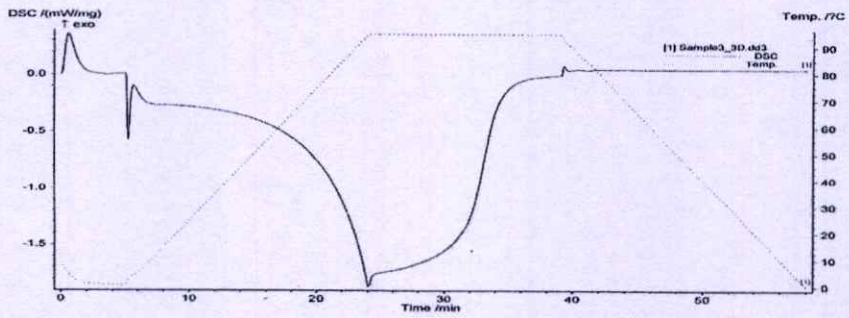
เป็นเทคนิคที่ใช้ตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ของกระบวนการดูดหรือคายความร้อน (Endothermic or exothermic processes) หรือการเปลี่ยนแปลงความจุความร้อน (heat capacity changes) เพื่อศึกษาอุณหภูมิ และ heat flow จากการเปลี่ยนแปลงความร้อน (thermal transition) ของกาวเปรียบเทียบกับ อุณหภูมิหรือเวลา ใช้เพื่อศึกษาสมบัติที่เป็นลักษณะพิเศษของกาวเป็นการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีของพลาสติกเทอร์โมเซตที่เปลี่ยนของเหลวไปเป็นของแข็งจากการเชื่อมโยงและสร้างพันธะใหม่ตามระยะเวลาหรืออุณหภูมิที่เหมาะสม



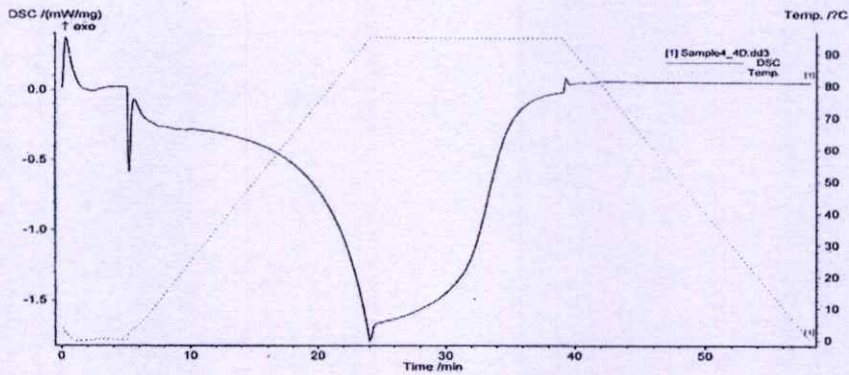
รูปที่ 4.18 เทอร์โมแกรมที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย DSC ของกาวสูตร 1D



รูปที่ 4.19 เทอร์โมแกรมที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย DSC ของกาวสูตร 2D



รูปที่ 4.20 เทอร์โมแกรมที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย DSC ของกาวสูตร 3D



รูปที่ 4.21 เทอร์โมแกรมที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย DSC ของกาวสูตร 4D

งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาถึงอุณหภูมิและปริมาณความร้อนที่กาวดูดหรือคายเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพหรือทางเคมีภายใต้โปรแกรมการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิและยังศึกษาถึงการเกิดปฏิกิริยาเคมีหรือการเปลี่ยนเฟสของกาวภายใต้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือเวลาอีกด้วย เทอร์โมแกรมรูปที่ 4.18- 4.21 พบว่ามีการดูดความร้อนเพื่อไประเหยน้ำของระบบและเกิดปฏิกิริยาคายความร้อนจากการเชื่อมโยงระหว่างพันธะคู่ของน้ำมันทั้งเองและเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification) ระหว่างหมู่เอสเทอร์ของน้ำมันทั้ง กับหมู่ไฮดรอกซิลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนแบ่งออกเป็น 2 ช่วง โดยช่วงที่ 1 เป็นการเพิ่มอุณหภูมิจาก 0 - 95°C ช่วงนี้กาวมีการดูดความร้อนเพื่อระเหยน้ำที่มีปริมาณมาก และช่วงที่ 2 ที่อุณหภูมิ 95°C เวลา 15 นาที กาวสูตร 1 D ไม่พบการเปลี่ยนแปลงความร้อนเนื่องจากน้ำได้ระเหยไปหมดแล้วหรือเกือบหมดและไม่เกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงใน ช่วงนี้ สำหรับกาวสูตร 2D 3D และ 4D พบการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนโดยมีการคายความร้อนเกิดขึ้น โดยอัตราการคายความร้อนของกาวสูตร 4D >3D > 2D ตามลำดับ เนื่องจากในช่วงนี้เกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงเพราะว่ากาวสูตร 4D 3D และ 2D มีปริมาณน้ำมันทั้ง 20 15 และ 10 % ตามลำดับ ดังนั้น การเชื่อมโยงในสูตรกาว 4D จึงน่าจะมีปริมาณมากกว่า 3D และ 2D ตามลำดับ

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ศึกษาการพัฒนาสมบัติเชิงกลและการต้านทานน้ำของกาวติดไม้ปราศจากฟอร์มาลดีไฮด์จากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปรับปรุงด้วยน้ำมันที่มีสมบัติต้านทานน้ำ เนื่องจากน้ำมันทั้งมีองค์ประกอบของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวซึ่งในโครงสร้างประกอบด้วยพันธะคู่หลายพันธะเมื่อนำมาผสมกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และมีตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างพันธะคู่ภายในน้ำมันตัวเองและเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน(Transesterification) ระหว่างหมู่เอสเทอร์ของน้ำมันทั้งกับหมู่ไฮดรอกซิลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ซึ่งผลของการเชื่อมโยงที่เกิดขึ้นทำให้กาวมีการยึดติดที่แข็งแรงมากขึ้นขึ้นจากค่าความแข็งแรงดึงเฉือน (Shear tensile strength) และการบวมตัวของกาวในน้ำ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณของน้ำมันทั้งที่เพิ่มขึ้นการต้านทานน้ำก็เพิ่มขึ้นด้วย

เมื่อศึกษาผลของความหนืด พบว่ากาวที่เตรียมจากสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีความหนืด 2,000 เซนติพอยส์ เป็นความหนืดที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน

เมื่อศึกษาผลของปริมาณน้ำมันทั้งพบว่าสูตรกาวที่เตรียมจากสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีความหนืด 1,000 – 3,000 เซนติพอยส์และมีปริมาณน้ำมันทั้ง 20 % โดยน้ำหนักเป็นกาวสูตรที่ค่าความแข็งแรงของชิ้นตัวอย่างใกล้เคียงหรือผ่านเกณฑ์มาตรฐานทั้ง Seq.1 และ 2 แสดงถึงความแข็งแรงและความสามารถในการต้านทานน้ำของกาวเหล่านี้ถูกพัฒนาโดยการเติมน้ำมันทั้ง

เมื่อศึกษาผลของปริมาณตัวเร่ง พบว่าสูตรกาวที่มีปริมาณตัวเร่งเพิ่มขึ้นโดยน้ำหนักเป็นสูตรที่มีค่าความแข็งแรงดึงเฉือนและการต้านทานน้ำสูงขึ้นแสดงว่าตัวเร่งไปเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงมากขึ้น ซึ่งตัวเร่งที่เหมาะสม คือ 2 % โดยน้ำหนัก

เมื่อศึกษาผลอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเตรียมชิ้นตัวอย่าง พบว่าสูตรกาวที่ใช้อุณหภูมิกดอัดที่ 95°C ใช้เวลา 2 ชั่วโมง มีค่าความแข็งแรงดึงเฉือนและการต้านทานน้ำสูงขึ้น แสดงว่าอุณหภูมิที่สูงและเวลาที่นานขึ้นทำให้การเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงระหว่างพันธะคู่ของน้ำมันตัวเองสูงขึ้นและเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างหมู่เอสเทอร์ของน้ำมันทั้ง กับหมู่ไฮดรอกซิลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เกิดได้มากขึ้น

จากงานวิจัยนี้สรุปได้ว่าสูตรกาวที่พัฒนาขึ้นมามีคุณภาพที่สามารถยึดติดไม้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานทั้งสถานะแห้งและสถานะแห้งหลังแช่น้ำซึ่งเหมาะสมกับงานภายในที่ต้องการความแข็งแรงไม่สูงมากนักที่มีความชื้นต่ำๆ

#### ข้อเสนอแนะ

1. พัฒนาและปรับปรุงสูตรกาวให้มีปริมาณเนื้อกาวเพิ่มมากขึ้น
2. ศึกษาหาสูตรกาวที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มอายุการจัดเก็บ (Storage life) ที่นานมากขึ้น

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Available online : <http://www.forest.go.th/Forprod/WoodComposite/adhesiveweb/laminated%20wood.htm>
- [2] Available online : <http://www.green.in.th/node/1252>
- [3] Available online : <http://www.scribd.com/doc/2385618/NON-TOXIC-LEGISLATION-FOR-LAMINATE-AND-WOOD-FLOORING>
- [4] อรุษา สรวารี.2542. สารเคลือบผิว.กรุงเทพฯ. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [5] มาลินี ชัยศุกกิจสินธ์. 2540. เคมีพอลิเมอร์ .กรุงเทพฯ. โครงการตำราคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [6] ปรีชา พหลเทพ. 2533 . โพลีเมอร์.กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง.
- [7] ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์.2527.เคมีพอลิเมอร์พื้นฐาน.กรุงเทพฯ.สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.
- [8] วรธรรม อุ๋นจิตติชัย .2545. ความรู้ทั่วไปในการใช้กาวกับงานไม้.กลุ่มอุตสาหกรรมวัสดุทดแทนไม้. สำนักวิจัยเศรษฐกิจและผลิตผลป่าไม้.กรมป่าไม้ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
- [9] ประมวล ตั้งบริบูรณ์รัตน์.2545.โพลีเมอร์คอลลอยด์. กรุงเทพฯ.บริษัท รวยเจริญการพิมพ์ จำกัด
- [10] ฉันทา ปานกุล.2551. การปรับปรุงสมบัติเชิงกลและการต้านทานน้ำของกาวอะครีเลตพอลิยูรีเทนด้วยน้ำมันลินสีด. กรุงเทพฯ วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [11] Nattawut and Phakapol.” **Preparation and Modified of wood adhesive using PVOH and natural drying oil** “.International Programs, Faculty of Science, King Mongkut’s Institute of Technology Ladkrabang .
- [12] Pizzi, A. Advanced wood adhesives technology. 1994. Marcel Dekker, Inc. New York, pp.19-62, 67-85, 89-140.
- [13] Tomita, B., Hse, C.Y. Phenol-urea-formaldehyde (PUF) co-condensed wood adhesives. 1998. Int. J. Adhes. Adhes. 18, 69-79.
- [14] Dunky, M. Urea-formaldehyde (UF) adhesive resins for wood. 1998. Int. J. Adhes. Adhes. 18, 95-107.
- [15] Anderson, R.C., Stock, M.F., Sawin, R., Alarie Y. Toxicity of thermal decomposition products of urea formaldehyde and phenol formaldehyde foams. 1979. Toxicol. Appl. Pharm. 51, 9-17.

- [16] Lovschall, H., Eiskjaer, M., Arenholt-Bindslev, D. Formaldehyde cytotoxicity in three human cell types assessed in three different assays. 2002. *Toxicol. in Vitro*, 16, 63-69.
- [17] European Standard Test Methods for Wood Adhesives for Non-structural Application. DIN EN 204 – 1991.
- [18] Available online : [http://en.wikipedia.org/wiki/Polyvinyl\\_alcohol](http://en.wikipedia.org/wiki/Polyvinyl_alcohol)
- [19] Available online : [http://en.wikipedia.org/wiki/Tung\\_oil](http://en.wikipedia.org/wiki/Tung_oil)

## ภาคผนวก

## ความแข็งแรงดิ่งแบบเฉือน

ตารางที่ ก-1 ค่าความแข็งแรงดิ่งแบบเฉือนชั้นทดสอบของกาวสูตร 0 สภาวะการทดสอบที่ 1

สูตร	กว้าง	ยาว	พื้นที่	แรงดึง	แรงดิ่งแบบ เฉือน	ค่าเฉลี่ยแรงดิ่งแบบ เฉือน	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
0A1	20.5	10.1	207.1	605	2.9		
0A2	20.3	9.4	190.8	345.2	1.8	2.4	0.8
0B1	20.3	10.1	205.0	1369.9	6.7		
0B2	19.4	10.5	203.7	1414.6	6.9		
0B3	19.9	9.5	189.1	966.2	5.1		
0B4	20.1	10.1	203.0	1295	6.4		
0B5	19.9	9.5	189.1	1135.1	6.0	6.2	0.7
0C1	20.4	10.5	214.2	1738.8	8.1		
0C1	20.1	10.5	211.1	2311.6	11.0		
0C2	19.5	10.4	202.8	2291.2	11.3	10.1	1.8
0D1	20.3	10.3	209.1	2181.5	10.4		
0D2	20.4	9.5	193.8	1363.6	7.0		
0D3	20.5	10.3	211.2	1811.5	8.6		
0D4	20.5	10.4	213.2	1981.1	9.3		
0D5	20.5	9.6	196.8	1771.1	9.0	8.9	1.2

ตารางที่ ก-1(ต่อ)

สูตร	กว้าง	ยาว	พื้นที่	แรงดึง	แรงดึงแบบเฉือน	ค่าเฉลี่ยแรงดึงแบบเฉือน	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0E1	20.6	9.8	201.9	1359.4	6.7		
0E2	19.6	10.3	201.9	1453.2	7.2		
0E3	20.3	10.5	213.2	1386.9	6.5		
0E4	20.6	10.1	208.1	1356.1	6.5		
0E5	20.4	10.2	208.1	2319.9	11.1		
0E6	20.5	9.8	200.9	1243.5	6.2		
0E7	20.2	9.7	195.9	2272.6	11.6	8.0	2.3

ตารางที่ ก-2 ค่าความแข็งแรงดึงแบบเฉือนชั้นทดสอบของกาวสูตร 1 สภาวะการทดสอบที่ 1

สูตร	กว้าง	ยาว	พื้นที่	แรงดึง	แรงดึงแบบเฉือน	ค่าเฉลี่ยแรงดึงแบบเฉือน	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1B1	20.5	9.7	198.9	1526.3	7.7		
1B2	20.3	9.9	201.0	2252.1	11.2		
1B3	19.5	9.7	189.2	1405.8	7.4		
1B4	20.2	9.5	191.9	1337.6	7.0		
1B5	20.2	9.9	200.0	1668.3	8.3		
1C1	20.4	9.6	195.8	1421.2	7.3		
1C2	20.4	9.9	202.0	1506.8	7.5		
1C3	20.5	9.5	194.8	1867.1	9.6		
1C4	20.3	9.6	194.9	1266.4	6.5		
1C5	20.3	8.6	174.6	1621.1	9.3	8.0	1.3
1D1	20.2	9.5	191.9	953.5	5.0		
1D2	20.3	10.1	205.0	1197.7	5.8		
1D3	20.3	10.1	205.0	2256.3	11.0		
1D4	20.5	9.9	203.0	1042	5.1		

ตารางที่ ก-2 (ต่อ)

สูตร	กว้าง	ยาว	พื้นที่	แรงดึง	แรงดึงแบบฉีก	ค่าเฉลี่ยแรงดึงแบบฉีก	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1E1	20.2	9.8	198.0	1706.2	8.6		
1E2	20.5	9.9	203.0	2113.5	10.4		
1E3	20.0	9.9	198.0	2267	11.4		
1E4	20.3	9.8	198.9	1879.6	9.4		
1E5	19.9	10.3	205.0	1718.9	8.4	9.7	1.3

ตารางที่ ก-3 ค่าความแข็งแรงดึงแบบฉีกขึ้นทดสอบของกาวสูตร 1 สภาวะการทดสอบที่ 2

สูตร	กว้าง	ยาว	พื้นที่	แรงดึง	แรงดึงแบบฉีก	ค่าเฉลี่ยแรงดึงแบบฉีก	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1B01	20.6	9.8	201.9	777.7	3.2		
1B02	20.3	9.9	201.0	1207.6	3.8		
1B03	20.4	10.1	206.0	162.1	0.9		
1B04	20.3	8.7	176.6	505.1	2.9	2.7	1.3
1C01	20.2	10.1	204.0	1090.8	5.3		
1C02	19.9	9.9	197.0	587.1	3.0		
1C03	20.2	10.2	206.0	600.6	2.9		
1C04	20.3	9.8	198.9	938.7	4.7		
1C05	20.1	10	201.0	456	2.3		
1C06	20.2	10	202.0	702.9	3.5	3.6	1.2
1D01	20.2	9.5	191.9	455.3	2.4		
1D02	20.3	9.6	194.9	595.9	3.1		
1D03	20.4	9.5	193.8	1082.2	5.6		
1D04	20.4	10	204.0	958.1	4.7		
1D05	20.3	10.2	207.1	427.4	2.1		
1D06	20.2	10.2	206.0	785.3	3.8	3.6	1.4

ตารางที่ ก-3 (ต่อ)

สูตร	กว้าง	ยาว	พื้นที่	แรงดึง	แรงดึงแบบเฉือน	ค่าเฉลี่ยแรงดึงแบบเฉือน	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1E01	20.3	10.3	209.1	549.5	2.6		
1E02	20.1	10.3	207.0	935.6	4.5		
1E03	20.2	10.6	214.1	754.2	3.5		
1E04	20.3	10.2	207.1	1392.6	6.7		
1E05	20.3	10.3	209.1	721.3	3.4		
1E06	20.4	10.1	206.0	558.6	2.7	3.9	1.5

ตารางที่ ก-4 ค่าความแข็งแรงแรงดึงแบบเฉือนขึ้นทดสอบของกาวสูตร 2 สภาวะการทดสอบที่ 1

สูตร	กว้าง	ยาว	พื้นที่	แรงดึง	แรงดึงแบบเฉือน	ค่าเฉลี่ยแรงดึงแบบเฉือน	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
2A1	20	10.8	216.0	1452	6.7		
2A2	19.5	10.0	195.0	2150.4	11.0		
2A3	20.2	10.8	218.2	2270	10.4		
2A4	19.2	10.8	207.4	1886.2	9.1		
2A5	20.3	10.3	209.1	1358.9	6.5		
2A6	20.1	10.8	217.1	2722.5	12.5		
2A7	20.2	10.8	218.2	1470.1	6.7	9.0	2.4
2B1	19.1	10.9	208.2	2177.8	10.5		
2B2	20.1	10.6	213.1	1660.8	7.8		
2B3	20.2	10.4	210.1	1684.5	8.0		
2B4	20.2	10.5	212.1	1770.1	8.3		
2B5	20.1	10.5	211.1	1841.6	8.7	8.7	1.1

ตารางที่ ก-4 (ต่อ)

สูตร	กว้าง	ยาว	พื้นที่	แรงดึง	แรงดึงแบบ เดือน	ค่าเฉลี่ยแรงดึงแบบเดือน	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
2C1	19.7	10.2	200.9	1899.7	9.5		
2C2	19.4	10.4	201.8	2201.9	10.9		
2C3	19.5	10.5	204.8	2187.5	10.7		
2C4	19.6	10.4	203.8	1970.8	9.7		
2C5	20.2	10.3	208.1	2764.5	13.3		
2C6	20.3	10.4	211.1	2304	10.9		
2C7	20.1	10.2	205.0	2497.6	12.2	11.0	1.3
2D1	20.1	10.1	203.0	2691.7	13.3		
2D2	20.1	10.4	209.0	2177.3	10.4		
2D3	19.8	10.2	202.0	2121.5	10.5		
2D4	20.1	10.0	201.0	2416.2	12.0		
2D5	20.6	10.1	208.1	2268.7	10.9		
2D6	20.1	10.2	205.0	2965.6	14.5		
2D7	20	10.3	206.0	2184.9	10.6	11.7	1.6
2E1	20.1	9.6	193.0	2862.7	14.8		
2E2	19.9	9.9	197.0	2392	12.1		
2E3	20.2	9.6	193.9	2357	12.2		
2E4	20.1	10.4	209.0	2433.2	11.6		
2E5	20	10.3	206.0	2347.4	11.4		
2E6	19.9	9.6	191.0	2250.8	11.8	12.3	1.3

ตารางที่ ก-5 ค่าความแข็งแรงดึงแบบเดือนขั้นต่ำทดสอบของกาวสูตร 2 สภาวะการทดสอบที่ 2

สูตร	กว้าง	ยาว	พื้นที่	แรงดึง	แรงดึงแบบ เดือน	ค่าเฉลี่ยแรงดึงแบบเดือน	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
2A01	20.4	10.9	222.36	678.9	3.1		
2A02	20.1	10.3	207.03	704.9	3.4		
2A03	20.3	10.3	209.09	479.8	2.3		
2A04	20.1	10.4	209.04	375.5	1.8		

ตารางที่ ก-5 (ต่อ)

สูตร	กว้าง	ยาว	พื้นที่	แรงดึง	แรงดึงแบบเฉือน	ค่าเฉลี่ยแรงดึงแบบเฉือน	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
2A05	20.1	10.2	205.02	428.7	2.1	2.5	0.7
2B01	20.2	10.2	206.04	392.2	1.9		
2B02	20.2	10.9	220.18	478.3	2.2	1.9	0.3
2B03	20.3	10.5	213.15	315.5	1.5		
2C01	20.1	10.3	207.03	1238.4	6.0		
2C02	20.2	10.1	204.02	544.2	2.7		
2C03	20	10.4	208	638.4	3.1	4.3	2.3
2C04	19.8	11.9	235.62	1772.4	7.5		
2C05	20.3	10.3	209.09	475.6	2.3		
2D01	20.6	10.2	210.12	527.1	2.5	2.6	0.3
2D02	20.3	9.8	198.94	476.2	2.4		
2D03	20.4	10.3	210.12	566.9	2.7		
2D04	20	10.3	206	613.4	3.0	3.3	0.7
2E01	20.1	9.8	196.98	713.6	3.6		
2E02	20.6	11.7	241.02	924.6	3.8		
2E03	20.3	9.6	194.88	477.1	2.4		

ตารางที่ ก-6 ค่าความแข็งแรงแรงดึงแบบเฉือนขึ้นทดสอบของกาวสูตร 3 สภาวะการทดสอบที่ 1

สูตร	กว้าง	ยาว	พื้นที่	แรงดึง	แรงดึงแบบเฉือน	ค่าเฉลี่ยแรงดึงแบบเฉือน	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
3A1	20.2	10.6	214.1	2106.6	9.8	11.8	2.5
3A2	20.1	10.3	207.0	2421.4	11.7		
3A3	20.7	10	207.0	1946.7	9.4		
3A4	20	10	200.0	1990.9	10.0		
3A5	20.1	10	201.0	2994.5	14.9		
3A6	20.5	9.9	203.0	2266.2	11.2		
3A7	19.9	10.4	207.0	3248.5	15.7		

ตารางที่ ก-6 (ต่อ)

สูตร	กว้าง	ยาว	พื้นที่	แรงดึง	แรงดึงแบบ เฉือน	ค่าเฉลี่ยแรงดึงแบบ เฉือน	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
3B1	20	9.5	190.0	2373.3	12.5		
3B2	19.8	9.7	192.1	2701.1	14.1		
3B3	20	10	200.0	2377.9	11.9		
3B4	19.8	10.5	207.9	2029.8	9.8		
3B5	19.4	9.5	184.3	2387.6	13.0	12.2	1.6
3C1	19.8	9.7	192.1	1981.4	10.3		
3C2	19.7	10.3	202.9	2758.2	13.6		
3C3	20	10.1	202.0	2362.7	11.7		
3C4	19.5	10.4	202.8	1962.4	9.7		
3C5	19.5	10.2	198.9	3020.7	15.2	12.1	2.3
3D1	18.8	10.1	189.9	2093.8	11.0		
3D2	20	10.1	202.0	2333.5	11.6		
3D3	20	9.5	190.0	2009.3	10.6		
3D4	19.2	9.8	188.2	1897	10.1		
3D5	19.7	10.2	200.9	2886.4	14.4		
3D6	19.2	10.1	193.9	1873.1	9.7	11.2	1.7
3E1	19.9	9.4	187.1	1871	10.0		
3E2	19.7	9.9	195.0	1869	9.6		
3E3	20	9.3	186.0	2249.1	12.1	10.6	1.3

ตารางที่ ก-7 ค่าความแข็งแรงดึงแบบเฉือนขึ้นทดสอบของกาวสูตร 3 สภาวะการทดสอบที่ 2

สูตร	กว้าง	ยาว	พื้นที่	แรงดึง	แรงดึงแบบเฉือน	ค่าเฉลี่ยแรงดึงแบบเฉือน	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
3A01	20.2	10.6	214.1	1728.1	8.1		
3A02	20.7	10.1	209.1	1280.1	6.1		
3A03	21.1	10.8	227.9	1020.9	4.5		
3A04	20.5	10.5	215.3	1246	5.8		
3A05	20.6	10.7	220.4	1245.7	5.7		

ตารางที่ ก-7 (ต่อ)

สูตร	กว้าง	ยาว	พื้นที่	แรงดึง	แรงดึงแบบเฉือน	ค่าเฉลี่ยแรงดึงแบบเฉือน	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
3A06	21.2	10.2	216.2	1759	8.1		
3A07	20.8	10.2	212.2	1346.6	6.3	6.4	1.3
3B01	20	12.8	256.0	2336.9	9.1		
3B02	20.6	10.2	210.1	1885.9	9.0		
3B03	20.5	10.5	215.3	1525.1	7.1		
3B04	20.4	10.2	208.1	1354.2	6.5		
3B05	20.2	10.4	210.1	1562	7.4		
3B06	20.1	10.1	203.0	2129.3	10.5	8.3	1.5
3C01	19.8	10.4	205.9	1473.7	7.2		
3C02	20.7	10.5	217.4	1493	6.9		
3C03	20.3	10.4	211.1	1570.1	7.4		
3C04	20.5	10.1	207.1	1152.9	5.6		
3C05	20.3	10.2	207.1	1598.2	7.7		
3C06	20.3	10.4	211.1	1882.8	8.9		
3C07	20.5	10.5	215.3	1187.4	5.5	7.0	1.2
3D01	20.2	10	202.0	1263.1	6.3		
3D02	20.1	10.1	203.0	1281.4	6.3		
3D03	19	10.2	193.8	1634.5	8.4		
3D04	20	10.1	202.0	1749	8.7		
3D05	20.3	12.5	253.8	2489.5	9.8		
3D06	20.2	10.4	210.1	1257	6.0		
3D07	18.5	10.3	190.6	1504.7	7.9		
3D08	20.4	10.1	206.0	1460.1	7.1		
3D09	20.4	10.2	208.1	1697	8.2		
3D10	20.7	10.2	211.1	1284.6	6.1	7.5	1.3

ตารางที่ ก-7 (ต่อ)

สูตร	กว้าง	ยาว	พื้นที่	แรงดึง	แรงดึงแบบฉีก	ค่าเฉลี่ยแรงดึงแบบฉีก	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
3E01	20.4	12.1	246.8	2145.9	8.7		
3E02	20.5	9.8	200.9	1198.5	6.0		
3E03	20.3	9.9	201.0	1687.4	8.4		
3E04	20.6	9.7	199.8	1070.9	5.4	7.1	1.7

ตารางที่ ก-8 ค่าความแข็งแรงดึงแบบฉีกขึ้นทดสอบของกาวสูตร 4 สภาวะการทดสอบที่ 1

สูตร	กว้าง	ยาว	พื้นที่	แรงดึง	แรงดึงแบบฉีก	ค่าเฉลี่ยแรงดึงแบบฉีก	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
4A1	19.3	5.7	110.0	1038.4	9.4		
4A2	20.1	10.1	203.0	2558.9	12.6		
4A3	19.2	10.5	201.6	1609.9	8.0		
4A4	18.8	7	131.6	2198.6	16.7		
4A5	19.6	9.8	192.1	1870.5	9.7		
4A6	19.6	10	196.0	1590.8	8.1	6.5	3.4
4B1	20	10.7	214.0	1814.1	8.5		
4B2	20.2	10.7	216.1	2113.7	9.8		
4B3	20.1	10.4	209.0	2022.6	9.7	9.3	0.7
4C1	19.9	10.8	214.9	3148.5	14.6		
4C2	20	10	200.0	1776.5	8.9		
4C3	20	10.7	214.0	2178.4	10.2		
4C4	20.1	10.3	207.0	1872.9	9.0		
4C5	19.6	10.2	199.9	2687.3	13.4	11.2	2.6
4D1	19.6	10.6	207.8	2320.3	11.2		
4D2	19.7	10.8	212.8	2249	10.6		
4D3	19.8	10.9	215.8	2102.7	9.7		
4D4	19.9	10.9	216.9	2219.1	10.2		
4D5	19.8	10.6	209.9	2033.3	9.7	10.3	0.6

ตารางที่ ก-8 (ต่อ)

สูตร	กว้าง	ยาว	พื้นที่	แรงดึง	แรงดึงแบบ เฉือน	ค่าเฉลี่ยแรงดึงแบบเฉือน	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
4E1	19.8	10.8	213.8	2629.9	12.3		
4E2	19.7	10.7	210.8	2636.5	12.5		
4E3	20	10.6	212.0	2728.6	12.9		
4E4	19.9	11	218.9	2266.4	10.4		
4E5	19.5	9.3	181.4	1902.7	10.5		
4E6	19.1	10.8	206.3	2211.3	10.7	11.5	1.1

ตารางที่ ก-9 ค่าความแข็งแรงแรงดึงแบบเฉือนจันทดสอบของกาวสูตร 4 สภาวะการทดสอบที่ 2

สูตร	กว้าง	ยาว	พื้นที่	แรงดึง	แรงดึงแบบเฉือน	ค่าเฉลี่ยแรงดึงแบบเฉือน	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
4A01	19.2	10.4	199.7	1470.3	7.4		
4A02	19.3	9.9	191.1	806.5	4.2		
4A03	20	10.2	204.0	766.6	3.8		
4A04	20	10.1	202.0	838.5	4.2		
4A05	20.4	10	204.0	685.1	3.4		
4A06	20.2	10.2	206.0	1214.1	5.9	4.8	1.5
4B01	19.2	10.1	193.9	762.3	3.9		
4B02	20	10.1	202.0	726.2	3.6		
4B03	20.3	10.4	211.1	836.1	4.0		
4B04	20.1	10.2	205.0	1170.8	5.7		
4B05	20.1	10.5	211.1	650.4	3.1		
4B06	20	10	200.0	766.2	3.8		
4B07	20.2	10.1	204.0	1264.2	6.2	4.3	1.2

ตารางที่ ก-9 (ต่อ)

สูตร	กว้าง	ยาว	พื้นที่	แรงดึง	แรงดึงแบบเฉือน	ค่าเฉลี่ยแรงดึงแบบเฉือน	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
4C01	19.6	10.2	199.9	1380	6.9		
4C02	19.5	10.3	200.9	1971	9.8		
4C03	19.7	10.1	199.0	1281.2	6.4		
4C04	20.2	10.4	210.1	1697.8	8.1		
4C05	19.9	10	199.0	1658.8	8.3		
4C06	19.4	10.2	197.9	1693.2	8.6	8.0	1.2
4D01	19.8	10	198.0	1454.2	7.3		
4D02	20.1	10.7	215.1	2257.7	10.5		
4D03	20	10.2	204.0	1987.6	9.7		
4D04	19.7	10.2	200.9	2347.9	11.7		
4D05	20.6	10.4	214.2	1900.5	8.9	9.6	1.6
4E01	20.6	10.4	214.2	1851.7	8.6		
4E02	20.2	10.5	212.1	1655.5	7.8		
4E03	20.4	10.4	212.2	1590.1	7.5		
4E04	20.4	10.8	220.3	1781.5	8.1		
4E05	19.9	10.2	203.0	1849.2	9.1		
4E06	20.2	10.1	204.0	1470.4	7.2	8.1	0.7

ตารางที่ ก-10 ค่าความแข็งแรงแรงดึงแบบเฉือนขึ้นทดสอบของกาวสูตร 5 สภาวะการทดสอบที่ 1

สูตร	กว้าง	ยาว	พื้นที่	แรงดึง	แรงดึงแบบเฉือน	ค่าเฉลี่ยแรงดึงแบบเฉือน	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
5B1	20.1	9.8	197.0	1696.3	8.6		
5B2	20.4	10.5	214.2	2380.8	11.1		
5B3	20.4	10.1	206.0	1460.7	7.1		
5B4	20.4	10.3	210.1	2994.3	14.3	10.3	3.1

## ตารางที่ ก-10 (ต่อ)

สูตร	กว้าง	ยาว	พื้นที่	แรงดึง	แรงดึงแบบเดือน	ค่าเฉลี่ยแรงดึงแบบเดือน	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
5C1	20.4	10.4	212.2	1781.6	8.4		
5C2	20.3	10.3	209.1	1720.4	8.2		
5C3	20.3	10.2	207.1	3243	15.7		
5C4	20.1	10	201.0	2307.2	11.5		
5C5	20.4	10.5	214.2	2437.1	11.4		
5C6	20.3	10.5	213.2	1935.4	9.1		
5C7	20.3	10.1	205.0	1813.1	8.8	10.4	2.7
5D1	20.3	10.2	207.1	2327	11.2		
5D2	20.6	10.4	214.2	3056.4	14.3		
5D3	20.5	10.3	211.2	3190.2	15.1		
5D4	20.2	10.3	208.1	2527.9	12.1		
5D5	20.3	10	203.0	2369.3	11.7	10.7	1.7
5E1	20.4	10.2	208.1	2168.9	10.4		
5E2	20.5	10.5	215.3	1787.9	8.3		
5E3	20.5	10.6	217.3	1771.1	8.2		
5E4	20.4	10.5	214.2	2527.1	11.8		
5E5	20.4	10.5	214.2	2453.3	11.5		
5E6	20.4	10.5	214.2	3088.5	14.4		
5E7	20.5	10.6	217.3	2422.3	11.1	10.8	2.2

ตารางที่ ก-11 ค่าความแข็งแรงดึงแบบเหนือนหินทดสอบของกาวสูตร 5 สภาวะการทดสอบที่ 2

สูตร	กว้าง	ยาว	พื้นที่	แรงดึง	แรงดึงแบบเหนือน	ค่าเฉลี่ยแรงดึงแบบเหนือน	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
5B01	20.2	10	202.0	2813.8	13.9		
5B02	20.2	10.1	204.0	2680.2	13.1		
5B03	19.6	10	196.0	2709.8	13.8		
5B04	20.3	10.3	209.1	2266.7	10.8		
5B05	19.9	10.3	205.0	2058.3	10.0		
5B06	20.2	10.1	204.0	1823.8	8.9	11.8	2.1
5C01	20.1	10.6	213.1	2387.8	11.2		
5C02	20.3	10.3	209.1	1862.1	8.9		
5C03	20.3	10.1	205.0	1837.2	9.0	9.7	1.3
5D01	20.1	10.2	205.0	2353.1	11.5		
5D02	20.3	10.5	213.2	2553.7	12.0		
5D03	20	10.2	204.0	2146.7	10.5		
5D04	20.2	10.2	206.0	2662.7	12.9		
5D05	20.1	10.2	205.0	2545.4	12.4	11.9	0.9
5E01	20.2	10	202.0	2199.7	10.9		
5E02	20.4	10.4	212.2	2279	10.7		
5E03	20.5	10	205.0	2006.2	9.8		
5E04	20.3	10	203.0	1945.4	9.6		
5E05	20.5	10.1	207.1	2544.6	12.3	10.7	1.1

ตารางที่ ก-12 ค่าความแข็งแรงดึงแบบเหนือนหินทดสอบของกาวสูตร 8 สภาวะการทดสอบที่ 1

สูตร	กว้าง	ยาว	พื้นที่	แรงดึง	แรงดึงแบบเหนือน	ค่าเฉลี่ยแรงดึงแบบเหนือน	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
8B1	21.2	10.4	220.5	1735.6	7.9		
8B2	20.9	10.7	223.6	2294	10.3		
8B3	21.0	10.1	212.1	1965.2	9.3	9.1	1.2

ตารางที่ ก-12 (ต่อ)

สูตร	กว้าง	ยาว	พื้นที่	แรงดึง	แรงดึงแบบฉีก	ค่าเฉลี่ยแรงดึงแบบฉีก	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
8C1	21.1	10.9	230.0	2358.1	10.3		
8C2	20.8	10.9	226.7	2908	12.8		
8C3	21.0	10.6	222.6	1532.4	6.9	10.0	3.0
8D1	21.0	10.4	218.4	1749.2	8.0		
8D2	20.9	10.2	213.2	1958.4	9.2		
8D3	21.2	6.5	137.8	1504.8	10.9		
8D4	21.0	10.1	212.1	2269.3	10.7		
8D5	21.1	10.5	221.6	2160.3	9.8		
8D6	21.0	10.4	218.4	2034.3	9.3	9.6	1.1
8E1	20.8	9.5	197.6	1762.2	8.9		
8E2	21.1	10.9	230.0	2913	12.7		
8E3	21.0	11	231.0	2175.2	9.4		
8E4	20.9	10.1	211.1	2564.6	12.1	10.8	1.9

ตารางที่ ก-13 ค่าความแข็งแรงแรงดึงแบบฉีกชนิดทดสอบของกาวสูตร 8 สภาวะการทดสอบที่ 2

สูตร	กว้าง	ยาว	พื้นที่	แรงดึง	แรงดึงแบบฉีก	ค่าเฉลี่ยแรงดึงแบบฉีก	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
8B01	19.9	10.9	216.9	2423.6	11.2		
8B02	21.0	10.3	216.3	1901.1	8.8		
8B03	20.7	10.9	225.6	926.5	4.1		
8B04	19.4	10.4	201.8	1333.9	6.6	7.7	3.0
8C01	21.2	10.6	224.7	2239.4	10.0		
8C02	21.0	10.2	214.2	2194.2	10.2		
8C03	20.7	10.5	217.4	1344.8	6.2		
8C04	21.0	10.6	222.6	1093.9	4.9	7.8	2.7

ตารางที่ ก-13 (ต่อ)

สูตร	กว้าง	ยาว	พื้นที่	แรงดึง	แรงดึงแบบฉีก	ค่าเฉลี่ยแรงดึงแบบฉีก	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
8D01	21.0	10.7	224.7	2235.9	10.0		
8D02	21.0	10.4	218.4	1746.5	8.0		
8D03	21.0	10.6	222.6	2189.5	9.8		
8D04	21.0	10.7	224.7	1407.2	6.3		
8D05	20.9	10.7	223.6	2304.1	10.3	8.9	1.7
8E01	20.5	10.2	209.1	2569.8	12.3		
8E02	20.9	10.2	213.2	1769.6	8.3		
8E03	20.9	7.8	163.0	1570.7	9.6		
8E04	20.9	6.6	137.9	1306.5	9.5		
8E05	21.1	10	211.0	1552.7	7.4		
8E06	20.8	10.6	220.5	1883.8	8.5	9.3	1.7

ตารางที่ ก-14 ค่าความแข็งแรงแรงดึงแบบฉีกชนิดทดสอบของกาวสูตร 9 สภาวะการทดสอบที่ 1

สูตร	กว้าง	ยาว	พื้นที่	แรงดึง	แรงดึงแบบฉีก	ค่าเฉลี่ยแรงดึงแบบฉีก	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
9D1	20.4	10.6	216.2	2908	13.4		
9D2	20.5	10.4	213.2	2603.1	12.2		
9D3	20.5	10.4	213.2	3119.8	14.6		
9D4	20.6	10.5	216.3	2705.3	12.5		
9D5	20.4	10.7	218.3	2453.5	11.2		
9D6	20.6	11.5	236.9	3396.9	14.3		
9D7	20.5	10.1	207.1	2552.4	12.3	13.0	1.2

ตารางที่ ก-15 ค่าความแข็งแรงดึงแบบเลื่อนขึ้นทดสอบของกาวสูตร 9 สภาวะการทดสอบที่ 2

สูตร	กว้าง	ยาว	พื้นที่	แรงดึง	แรงดึงแบบเลื่อน	ค่าเฉลี่ยแรงดึงแบบเลื่อน	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
9D01	20.2	10.3	208.1	2458.8	11.8		
9D02	20.6	10.3	212.2	2013	9.5		
9D03	20.6	11.8	243.1	3042.4	12.5		
9D04	20.6	10.2	210.1	2289.2	10.9		
9D05	20.4	11.5	234.6	2786.7	11.9	11.3	1.2

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นายวรวิทย์ ชุ่มชื่น  
วัน เดือน ปีเกิด 15 กรกฎาคม 2502  
ภูมิลำเนา ปราจีนบุรี  
ที่อยู่ 13 ซอยรามคำแหง 72 ถนนรามคำแหง แขวงหัวหมาก เขตบางกะปิ  
กรุงเทพฯ 10240  
ประวัติการศึกษา - ระดับมัธยม โรงเรียนอานวยศิลป์  
- ระดับปริญญาตรี - วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมี) คณะวิทยาศาสตร์  
มหาวิทยาลัยรามคำแหง

### ประสบการณ์การเข้าร่วมกิจกรรมและผลงานวิจัย

- พ.ศ.2552 เข้าร่วมการประชุมวิชาการ The 6<sup>th</sup> International Symposium on Advance Material in Asia-Pacific Rim (6<sup>th</sup> ISAMAP) Department of Chemistry, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand, 21-23 November 2009
- พ.ศ.2553 เข้าร่วมการประชุมวิชาการ โครงการทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว.สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ครั้งที่ 4 (TRF-MAG Congress IV) วันที่ 30 มีนาคม- 1 เมษายน 2553 โรงแรมจอมเทียน ปาล์ม บีช รีสอร์ท เมืองพัทยา จังหวัดชลบุรี