

2.2.6 การใช้งานของยางธรรมชาติอีพอกไซค์

เนื่องจากยางธรรมชาติอีพอกไซค์มีคุณสมบัติต่างๆ ตามที่กล่าวมา จึงสามารถนำไปใช้กับอุตสาหกรรมต่อไปนี้ได้

1. ใช้ในอุตสาหกรรมรองเท้า โดยทำหน้าที่เป็นกาวหรือสารยึดติด
2. ใช้ในอุตสาหกรรมการทำสี ทำให้เกิดการยึดติดดี
3. ใช้ในอุตสาหกรรมยางรถยนต์ ทำให้ทนทานต่อการซึมของอากาศดี
4. ใช้เป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างยางและพลาสติก เช่น พีวีซี

2.3 วัสดุกาวและการยึดเกาะ

กาว คือ วัสดุที่ใช้เชื่อมติดกับวัสดุต่างชนิด และมีความต้านทานการแยกออกจากกัน [15] กาวส่วนใหญ่เป็นสารพอลิเมอร์อินทรีย์ เช่น โปรตีน (Collagen จาก กระดูกและหนังสัตว์) เรซิน สารยืดหยุ่น (Elastomer) พลาสติก ซึ่งเมื่อเวลาใช้นั้นจะต้องทำให้เหลวในลักษณะของการหลอมเหลว การละลาย การทำให้เป็นอิมัลชัน หรือการทำให้เป็นพอลิเมอร์จากของเหลวโมเลกุลเล็ก ในหลายกรณีกาวมักจะประกอบไปด้วยสารพอลิเมอร์ที่เป็นองค์ประกอบหลัก และส่วนผสมอื่นที่ทำให้ได้คุณสมบัติของกาวที่เหมาะสมจะใช้ในแต่ละงาน

2.3.1 ความสำคัญของกาว

การเติบโตทางอุตสาหกรรมอย่างรวดเร็ว ส่วนใหญ่เป็นผลมาจากข้อดีหลายๆ อย่างของกาวในการยึดเกาะระหว่างวัสดุ [16] ดังต่อไปนี้

1. สำหรับฟิล์มบาง ไฟเบอร์และอนุภาคขนาดเล็ก ไม่สามารถรวมตัวกันได้ดีโดยวิธีการอื่นๆ นอกจากการยึดเกาะด้วยกาว เช่น

- การเคลือบเฟอร์นิเจอร์
- การทำฉนวนไฟฟ้าจากใยแก้ว และการทำวัสดุคอมโพสิตจากไฟเบอร์กลาส
- วัสดุเสริมแรงในล้อยรถยนต์
- กระดาษเคลือบ (Clay-coated paper) สำหรับงานพิมพ์
- การยึดเกาะของวัสดุประเภท Nonwoven fabric

2. การกระจายของความเค้นครอบคลุมทั่วพื้นที่ มีน้ำหนักเบา และแข็งแรงกว่าการยึดจับทางเมคานิกส์ เช่น ปีก หางและลำตัวของเครื่องบิน โครงสร้างทำมาจากการวางซ้อนทับกันของแผ่นกระดานแบบรวงผึ้ง (Honeycomb) ซึ่งถูกยึดเกาะโดยผิวหน้าบางๆ ของอลูมิเนียมหรือแมกนีเซียม เป็นการช่วยลดความล้าที่จะก่อให้เกิดการแตกหักได้

3. ความแข็งแรงต่อน้ำหนัก และการทรงตัวของวัสดุประเภทรับแรงได้เพียงทิศทางเดียวสามารถปรับปรุงได้โดยการยึดเกาะแบบขวาง
4. แนวกาว (Glue line) เป็นฉนวนทางไฟฟ้า นำมาประยุกต์ใช้ในคาปาซิเตอร์ แผ่นปรินและมอเตอร์
5. แนวกาว (Glue line) ป้องกันความชื้น สามารถใช้ในการบรรจุภัณฑ์
6. สามารถเชื่อมติดวัสดุคนละประเภทได้ เช่น กระจกกับอลูมิเนียม เหล็กกับทองแดง ซึ่งวัสดุทั้งสองมีประสิทธิภาพการกระจายความร้อนแตกต่างกัน
7. ท้ายสุดเป็นกุญแจที่สำคัญในการพิจารณา คือ การยึดเกาะที่รวดเร็วและประหยัดกว่า เมื่อเทียบกับอีกหลายวิธีการ เช่น การทอ การเชื่อมประสาน และการยึดจับด้วยน็อต สกรู หรือตะปู เป็นต้น

2.3.2 การจำแนกประเภทของกาว

สามารถจำแนกประเภทจากหลักเกณฑ์ต่างๆ ได้หลายวิธี เช่น ส่วนประกอบทางเคมี ราคา ประเภทของวัสดุที่ยึดเกาะ และที่สำคัญ คือ ตามกระบวนการแข็งตัวขึ้นรูป

การเคลือบกาวลงบนพื้นผิววัสดุ กาวควรจะอยู่ในสถานะของเหลวที่มีค่าความหนืดค่อนข้างต่ำเมื่อเกิดการยึดเกาะจะหนืดขึ้นหรือเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็ง นั่นคือหลังจากการประกบติดกันของวัสดุจะเกิดกลไกที่ทำให้กาวเปลี่ยนสภาพแข็งหรือมีความหนืดสูงขึ้น กาวที่จำแนกตามลักษณะนี้แบ่งออกเป็น 4 ประเภท [5] ดังนี้

Hot melt adhesive

ใช้งานโดยการให้ความร้อนจนเกิดการหลอมละลาย กาวประเภทนี้ทำมาจากพอลิเมอร์ประเภทเทอร์โมพลาสติก เช่น กาว EVA ซึ่งใช้ในงานบรรจุภัณฑ์ การเชื่อมติดหนังสือ

Reactive adhesive

กาวที่เกิดการแข็งตัวโดยการเกิดปฏิกิริยาเคมี โดยกาวที่อยู่ในสถานะของสารละลายบนผิววัสดุจะเกิดการเชื่อมโยง (Crosslink) ทำให้กาวมีพันธะที่แข็งแรงมากขึ้น กลุ่มของเทอร์โมเซตทั้งหมดจัดอยู่ในกาวประเภทนี้ เช่น กาวไซยาโนอะไครเลต (Cyanoacrylate)

Pressure sensitive adhesive

กาวชนิดนี้ความหนืดจะไม่เพิ่มขึ้น ความสามารถในการเปียกผิวของกาวน้อย ทำให้ในการใช้งานการลอกออกจะไม่มีส่วนประกอบใดๆ ของกาวเหลือนบนพื้นผิวของวัสดุ ซึ่งการใช้งานของกาวประเภทนี้จะอยู่ในรูปของเทปกาว

Solvent based adhesive

การใช้ตัวทำละลาย เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ช่วยให้พอลิเมอร์มีลักษณะเป็นของไหลที่มีความหนืดต่ำลง และสามารถนำมาใช้เป็นกาวได้ ซึ่งตัวทำละลายที่ใช้มี 2 ประเภท คือ น้ำและตัวทำละลายอินทรีย์ กาวประเภทนี้ เช่น กาวนีโอพรีน ใช้ทาโฟมหุ้มท่อแอร์ รวมทั้งกาวลาเท็กซ์

2.3.3 กาวจากยางธรรมชาติ

กาวจากยางธรรมชาติแบ่งออกเป็น 2 จำพวก คือ กาวน้ำยาง (Latex adhesives) และกาวสารละลาย (Solution adhesives) กาวน้ำยางทำมาจากน้ำยางธรรมชาติ โดยการเติมสารประเภทสารรักษาสภาพ (Stabilizers) สารช่วยเพิ่มการเปียกผิว (Wetting agent) และสารอื่นๆ ส่วนกาวสารละลายทำมาจากยางดิบที่ได้มาจากการแข็งตัวของน้ำยาง นำมาละลายในสารละลายอินทรีย์ ยางดิบที่เลือกใช้แบ่งออกเป็นหลายเกรดซึ่งจะขึ้นอยู่กับปริมาณส่วนผสมของสิ่งปนเปื้อน เช่น ไนโตรเจน และสารระเหย

น้ำยางธรรมชาติที่นำมาทำเป็นกาวได้มาจากต้นยางพาราที่นำมาทำเป็นยางข้น มีปริมาณของแข็งทั้งหมด 60-70% โดยน้ำหนัก

2.3.3.1 กาวน้ำยาง

กาวชนิดนี้ไม่มีส่วนผสมของตัวทำละลายที่เป็นพิษและไวไฟ ทำให้มีราคาถูก มีช่วงความหนืดกว้าง ตลอดทั้งทนทานต่อการเสื่อมสภาพได้ดีกว่ากาวสารละลาย ปริมาณของแข็งในส่วนผสมน้อยทำให้ใช้งานได้ง่าย การประยุกต์ใช้งานบนผิววัสดุทำได้โดยใช้แปรงทา ถัดโดยสเปรย์ ปาดโดยมีด หรือลูกกลิ้ง อย่างไรก็ตามกาวน้ำยางมีข้อเสียอยู่บ้างในเรื่องเกี่ยวกับการหดตัว ทำให้สิ่งของ เช่น ผ้า หรือกระดาษเป็นรอยยับ คุณสมบัติด้านไฟฟ้าของฟิล์มยางเมื่อแห้งแล้วไม่ดี อัตราการแห้งช้ารวมทั้งการเกิดความแข็งแรงของการยึดเกาะก็ช้าด้วย กาวน้ำยางเหมาะกับการใช้งานที่ต้องการติดหรือยึดเกาะวัสดุประเภทผิวหน้ามีรูพรุนและเปียกผิวได้ง่าย ฟิล์มที่แห้งแล้วไม่สามารถล้างออกด้วยน้ำหรือด่าง และแม้แต่วัตถุที่ละลายก็อาจล้างฟิล์มนี้ได้ยาก เพราะเนื่องจากน้ำหนักโมเลกุลที่สูงของน้ำยาง ถ้าเปรียบเทียบการยึดเกาะแล้วกาวสารละลายจะให้การยึดเกาะที่ดีกว่า แต่สามารถพัฒนาการยึดเกาะกาวน้ำยางโดยให้อยู่ในระบบของการวัลคาไนซ์ได้

ตัวอย่างของกาวประเภทนี้ คือ กาวฉีกซองจดหมาย กาวติดผนัง กาวใช้งานทั่วไป กาวติดพรม และกาวติดแถบล้อรถยนต์ ซึ่งตัวอย่างสูตรกาวฉีกซองจดหมายแสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงตัวอย่างสูตรกาวน้ำยางประเภทกาวฉีกของจดหมาย [17]

สารเคมี	น้ำหนักแห้ง (กรัม)
น้ำยางธรรมชาติ (60 % โดยน้ำหนัก) รักษาโดยแอมโมเนีย	100
สารละลายโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (10 % โดยน้ำหนัก)	0.2
คิสเพิซันของซิงค์ไดเอทิลไดโซโอคาร์บาเมต (ZDC 50% โดยน้ำหนัก)	0.5
น้ำ	ตามต้องการ

สำหรับกลไกการยึดเกาะของกาวฉีกของจดหมาย อาศัยความสามารถของน้ำยางธรรมชาติที่เมื่อแห้งเป็นฟิล์มแล้วจะมีสมบัติการเหนียวติดกันเอง (Self-adherent) ขณะถูกกดแน่นเข้าหากัน และจะไม่ติดกับผิวของสิ่งอื่นๆ เหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะฟิล์มแห้งของน้ำยางธรรมชาติมีลักษณะโครงสร้างพิเศษที่มีสารพวกรีดอกไซด์ และสารบางอย่างห่อหุ้มป้องกันอนุภาคแต่ละอนุภาคของยาง เมื่อมีการกดหรือบีบฟิล์มที่แห้งนี้ จะทำให้สารที่ห่อหุ้มอนุภาคยางเสียรูปไปแต่พลังงานการยึดหยุ่นยังคงเดิมอยู่ อย่างไรก็ตามเมื่อกดหรือบีบผิวหน้าที่เหมาะสมเข้าด้วยกันไว้ครู่หนึ่ง อนุภาคยางก็จะเกิดการสัมผัสกันขึ้นจนทำให้เกิดการเชื่อมติดกันของโมเลกุลยาง ส่วนแอมโมเนียในน้ำยางเป็นสารที่ไม่ต้องการจะระเหยออกไปเมื่อฟิล์มของกาวแห้ง (สาร ZDC ในสูตร ทำหน้าที่ป้องกัน เชื้อรา ช่วยป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชันสำหรับยางที่ไม่ได้วัลคาไนซ์)

การผลิตกาวจากน้ำยางเพื่อใช้ในงานทั่วไป [18] พบว่าการใส่โซเดียมโพลีอะคริเลต ปริมาณ 50 ส่วน ต่อน้ำยาง 167 ส่วน กาวจากน้ำยางที่ได้จะให้สมบัติความเหนียวในการติดระหว่างผ้ากับผ้าดีที่สุด รองลงไป คือ การติดระหว่างกระดาษหนา 100 กรัมกับกระดาษหนา 100 กรัม และกระดาษบาง 70 กรัมกับกระดาษบาง 70 กรัม ตามลำดับ

2.3.3.2 กาวสารละลาย

กาวชนิดนี้เป็นพิษและไวไฟ เพราะใช้สารละลายอินทรีย์เป็นส่วนประกอบในการละลายยางดิบ สารละลายที่ใช้ เช่น โทลูอิน (Toluene) แนพทา (Naphtha) หรือไตรคลอโรอีเทน (Trichloroethane) สารละลายที่เลือกใช้ขึ้นอยู่กับอัตราการแห้ง และความไวไฟ โดยพิจารณาจากลักษณะการใช้งาน กาวสารละลายที่นำไปใช้งานควรมีปริมาณของแข็งอยู่ประมาณ 10-25% โดยน้ำหนัก การใช้งานสามารถทำได้โดยการฉีดด้วยสเปรย์ ปาดด้วยมีด และถูกล้าง ข้อดีของกาวชนิดนี้ คือ แห้งเร็วที่อุณหภูมิห้องหรือในเตาอบ ความเหนียวและกาวยึดเกาะสามารถปรับปรุงได้ โดย

การเลือกใช้อย่างดีที่ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์แล้ว [19] ตัวอย่างของสูตรกาวประเภทนี้ แสดงดังตารางที่ 6

กาวสารละลายผลิตจากยางแห้งโดยใช้เบนซินเป็นตัวละลาย และใส่ฟีนอลิกเรซิน 40 phr [20] กาวนี้ให้สมบัติความเหนียวในการติดระหว่างผ้ากับผ้าดีที่สุด รองลงไป คือ ติดระหว่างกระดาษแข็งเทาขาวกับกระดาษแข็งเทาขาว

จากที่กล่าวมา กาวสารละลายที่ใช้สารอินทรีย์เป็นตัวทำละลาย จะมีความเป็นพิษ และติดไฟได้ง่าย ดังนั้นการเลือกใช้น้ำเป็นตัวทำละลายในการผลิตกาวประเภทนี้ จึงน่าจะช่วยขจัดปัญหาด้านนี้ได้ แต่เนื่องจากน้ำยางธรรมชาติที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตกาวจัดเป็นพอลิเมอร์ที่มีสมบัติชอบน้ำมัน (Hydrophobicity) แต่ในการผลิตกาวซึ่งใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย ทำให้สารเคมีที่ใช้น้ำยางพาราผสมเข้ากันได้ไม่ดี จึงต้องแก้ไขข้อด้อยนี้ด้วยการดัดแปลงโมเลกุลของยางธรรมชาติให้มีลักษณะชอบน้ำมากขึ้น โดยการเตรียมเป็นยางธรรมชาติอีพอกไซค์ เพื่อให้ น้ำยางกับสารเคมีสามารถผสมเข้ากันได้ดีขึ้น และวงแหวนอีพอกไซค์สามารถเกิดอันตรกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลในโมเลกุลของไม้ ซึ่งเป็นการเพิ่มความแข็งแรงในการยึดติดระหว่างกาวกับไม้

ตารางที่ 6 แสดงตัวอย่างสูตรกาวสารละลาย [19]

สารเคมี	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก
ยางดิบ	10
ซิงค์ออกไซด์	1
แอนติออกซิแดนต์	0.1
ซัลเฟอร์	0.1
สารละลาย	80

2.3.4 กลไกการยึดติดของกาวกับไม้ [21]

ความแข็งแรงของกาวเกิดจากกลไกการยึดติดของกาวกับไม้ ซึ่งมาจากเหตุผล

3 ประการ คือ

1. การเกิดพันธะเคมีของกาวกับไม้

แรงที่เกิดขึ้นจากพันธะเคมีระหว่างกาวกับไม้ มีค่าสูงกว่าแรงจากกลไกอื่นๆ ที่ทำให้เกิดการยึดติด กลไกนี้เป็นแรงที่เกิดจากพันธะโควาเลนต์เป็นส่วนใหญ่

2. การยึดตัวระหว่างโมเลกุลที่เกิดจากการคึงคูดและการดูดแนบ

แรงที่ได้จากกลไกนี้เป็นแรงวานเดอร์วาลส์และแรงที่เกิดจากพันธะไฮโดรเจน ซึ่งมีค่าน้อยกว่าแรงที่เกิดจากพันธะโควาเลนต์ตั้งแต่ 1.5 ถึง 15 เท่า

3. การยึดติดแบบเมคานิกส์ และการแทรกของกาวเข้าไปในช่องว่างของผนังเซลล์ กลไกนี้เกิดจากสายกาวเข้าไปแทรกในรูเล็กๆ ในผนังเซลล์หรือโมเลกุลของกาวเข้าไปแทรกในส่วนออสติออนของเซลล์โลส แรงที่เกิดจากการยึดติดแบบนี้ขึ้นอยู่กับการกระจายตัว การซึมซาบ การเปียกและขนาดของโมเลกุลของกาวเอง

แรงยึดระหว่างกาวกับไม้ ส่วนหนึ่งมาจากการดูดซับและการซึมซาบของสารทั้งสอง ขบวนการดูดซับและซึมซาบขึ้นอยู่กับโครงสร้างของโมเลกุล และสมบัติเคมีของสารทั้งสองชนิด โดยการใช้การเปียกและการกระจายตัวเป็นหลักในการพิจารณา การดูดซับและการซึมซาบระหว่างกาวกับไม้จะช่วยให้การแพร่ของกาว พฤติกรรมทั้งสองเกิดขึ้นระหว่างของเหลวที่มีความเข้มข้นสูง คือ กาว กับของแข็ง คือ ไม้ การเปียกของผิวไม้เป็นปัจจัยสำคัญที่จะกำหนดการดูดซับและการซึมซาบ เมื่อทา กาวบนผิวไม้การแพร่ของกาวจะเกิดดังนี้

น้ำซึ่งเป็นตัวทำละลายของกาวจะนำพอลิเมอร์ (เนื้อกาวและสารเติม) เคลื่อนที่ไปตามรูขนาดเล็กๆ ของเซลล์ เช่น ช่องเซลล์ (Cell lumen) หลุมผนังเซลล์ต่างๆ (Pits) และรูเล็กๆ ในส่วนออสติออนของผนังเซลล์ เป็นต้น ช่องเซลล์และหลุมผนังเซลล์มีขนาดใหญ่กว่าพอลิเมอร์ของกาว ดังนั้นการจึงเคลื่อนที่ผ่านส่วนทั้งสองไปตามส่วนต่างๆ ของไม้ได้ รูเล็กๆ ในส่วนออสติออนบนผนังเซลล์ในบางครั้งมีขนาดเล็กกว่าพอลิเมอร์ของกาว รูในส่วนนี้อาจยอมให้น้ำผ่านไปได้แต่ไม่ยอมให้พอลิเมอร์ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าผ่าน ดังนั้นในส่วนนี้จึงเหมือนตะแกรงที่แยกน้ำออกจากพอลิเมอร์ของกาว การแพร่ของกาวดังกล่าวจะมีผลต่อการยึดติดของกาวแบบเมคานิกส์ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งที่จะนำมาอธิบายแรงยึดระหว่างกาวกับไม้

2.3.5 การทดสอบกาว

การทดสอบกาวสามารถแบ่งได้ 2 อย่าง คือ การทดสอบกาวเหลวหรือกาวก่อนที่จะแข็งตัว และการทดสอบกาวที่แข็งตัวอย่างสมบูรณ์ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทำการทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของกาว คือ ปริมาณเนื้อกาว ความหนืด ความหนาแน่น โดยอ้างอิงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกาวยาง (มอก. 521-2527) และคุณสมบัติความเป็นกรด-ด่าง โดยอ้างอิงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกาวโพลีไวนิลอะซิเตตอิมัลชัน (มอก. 181-2530) เหตุที่ใช้ 2 มาตรฐานในการทดสอบเนื่องจากสมบัติความเป็นกรด-ด่าง ไม่ถูกกำหนดโดยมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกาวยาง (มอก. 521-2527) แต่ความเป็นกรด-ด่าง มีความสำคัญในการผลิตกาวและมีผลต่อผู้บริโภค ผู้วิจัยจึงนำมอก. 181-2530 มาใช้เป็นมาตรฐานควบคุม

1. การทดสอบกาวเหลวหรือกาวก่อนที่จะแข็งตัว เป็นการทดสอบเนื้อกาว ซึ่งมี การทดสอบคุณสมบัติต่างๆ [22, 23] ดังนี้

ปริมาณเนื้อกาว

วิธีทดสอบ

ชั่งตัวอย่างที่กวนดีแล้วประมาณ 5 กรัม ให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนถึง 0.001 กรัม ใส่ ในภาชนะแบนและปากกว้าง นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 ± 2 องศาเซลเซียส อย่างน้อย 2 ชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่ ทำให้เย็นในเดสิคเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนัก

วิธีคำนวณ

$$\text{เนื้อกาว (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักของตัวอย่างหลังอบ}}{\text{น้ำหนักของตัวอย่างก่อนอบ}} \times 100 \quad (4)$$

ความหนืด

วิธีทดสอบ

กวนตัวอย่างในเครื่องควบคุมอุณหภูมิจนกระทั่งตัวอย่างมีอุณหภูมิ 27 ± 2 องศาเซลเซียส แล้วทดสอบด้วยเครื่องวัดความหนืดอาร์วี บรุคฟิลด์ (RV Brookfield viscometer) โดยเลือกแกนและความเร็วที่เหมาะสม ให้ทดสอบ 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย

วิธีคำนวณ

$$\text{ค่าความหนืด} = \text{ค่าที่อ่านได้บนหน้าปัทม์} \times \text{factor ในคู่มือ} \quad (5)$$

ความหนาแน่น

วิธีทดสอบ

ชั่งพิกโนมิเตอร์ที่มีความจุระหว่าง 50 ถึง 110 ลูกบาศก์เซนติเมตร ให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนถึง 0.001 กรัม เทตัวอย่างที่กวนจนเข้าที่แล้วลงในพิกโนมิเตอร์จนเต็มแล้วชั่งน้ำหนักอีกครั้ง (ควรระวังไม่ให้เกิดฟองอากาศขึ้นในเนื้อกาว)

วิธีคำนวณ

$$\text{ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)} = \frac{M_1 - M_2}{V} \quad (6)$$

เมื่อ M_1 คือ น้ำหนักของพิกโนมิเตอร์และตัวอย่าง (กรัม)

M_2 คือ น้ำหนักของพิกโนมิเตอร์ (กรัม)

V คือ ความจุของพิกโนมิเตอร์ (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

ความเป็นกรด-ด่าง

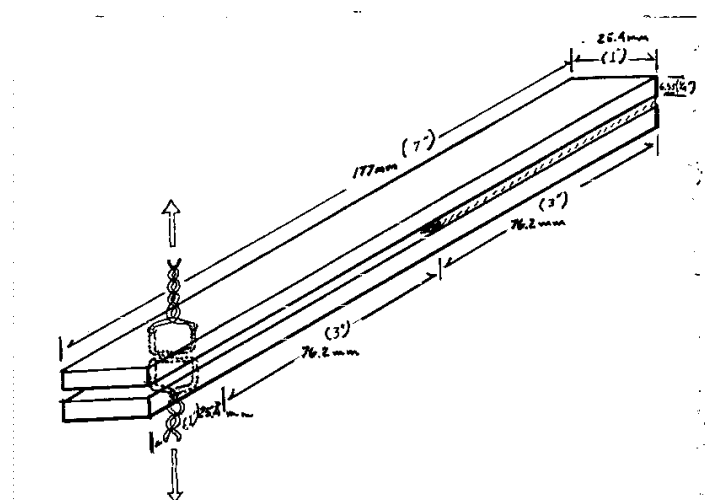
ทดสอบโดยใช้เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง ที่ประกอบด้วยกลาสส์อิเล็กโทรด

2. การทดสอบกาวที่แข็งตัวอย่างสมบูรณ์เพื่อประเมินแรงยึดของกาว การทดสอบหาแรงยึดของกาว ทำได้จากตัวอย่างที่ผ่านสภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นปกติตามแต่ละมาตรฐาน โดยปกติแล้วผลจากการทดสอบความแข็งแรงของกาวติดไม้จะมีค่าไม่ถึงครึ่งหนึ่งของแรงยึดติดระหว่างโมเลกุลในกาว แรงที่หายไปนี้อาจเกิดจากความเปื่อยที่ไม่สมบูรณ์ของกาวกับผิวหน้าไม้ ความเค้นภายในของแรงยึดติดระหว่างกาวกับไม้ และความเค้นอื่นๆ ที่ไม่สามารถวัดได้ ซึ่งมีการทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้

ความต้านแรงลอก [24]

เครื่องมือและขั้นตอนทดสอบ

- เครื่องทดสอบแรงดึง (Universal testing machine) โดยมีความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 1 และน้ำหนักที่ใช้ทดสอบเท่ากับ 30 กิโลนิวตัน
- ไม้ยางที่ปราศจากตำหนิที่เกิดจากยางไม้และรอยฉีกแตกของเนื้อไม้ขนาดกว้าง 25.4 มิลลิเมตร ยาว 177.3 มิลลิเมตร และหนา 5 มิลลิเมตร โดยส่วนปลายของชิ้นทดสอบต้องเจาะรูใส่ลวดยึดไว้ เพื่อใช้พันกับที่ยึดของเครื่องทดสอบ (ดังภาพประกอบที่ 11)



ภาพประกอบที่ 11 แสดงขนาดและลักษณะชิ้นทดสอบความต้านแรงลอก [24]

การเตรียมชิ้นทดสอบ

ทากาวให้ทั่วผิวหน้าชิ้นทดสอบทั้ง 2 ชิ้น ประมาณ 150 กรัมต่อตารางเมตร ประกบชิ้นทดสอบทั้งสองเข้าด้วยกันเป็นแนวยาว 3 นิ้วของความยาวของชิ้นทดสอบ หลังจากทากาวแล้วให้ประกบแผ่นทดสอบเข้าด้วยกันทันที แล้วทิ้งไว้เป็นเวลา 3 วัน ที่อุณหภูมิ 23 ± 2 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 50 ± 5 หรือตามที่ผู้ผลิตกาวกำหนดไว้

วิธีทดสอบ

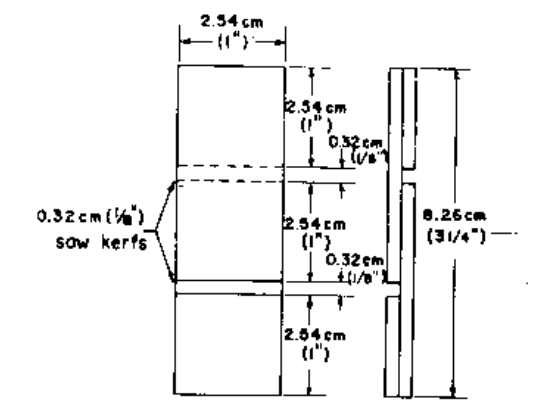
นำลวดที่ติดอยู่กับชิ้นทดสอบพันเข้ากับที่ยึดของชิ้นทดสอบ ใช้แรงดึงโดยที่อัตราการแยกของปากจับเท่ากับ 12.7 มิลลิเมตรต่อนาที อ่านค่าแรงเฉลี่ยที่ 50.8 มิลลิเมตร หรือทุกระยะห่าง 5 มิลลิเมตร อย่างน้อย 7 จุดบนชิ้นทดสอบ แล้วหาค่าเฉลี่ยของแรงเป็นกิโลนิวตันต่อความกว้าง 25 มิลลิเมตร ให้ทดสอบชิ้นทดสอบจำนวน 10 ชิ้น แล้วหาค่าเฉลี่ย

ความต้านแรงเฉือน [25]

เครื่องมือและชิ้นทดสอบ

- เครื่องทดสอบแรงดึง (Universal testing machine) ที่มีอัตราการเพิ่มแรงกดบนชิ้นทดสอบอยู่ระหว่าง 4535 ถึง 7560 กรัมต่อวินาที

- ไม้ยางที่ปราศจากตำหนิที่เกิดจากยางไม้และรอยฉีกแตกของเนื้อไม้ขนาดกว้าง 2.54 เซนติเมตร ยาว 8.26 เซนติเมตร และหนา 5 มิลลิเมตร (ดังภาพประกอบที่ 12)



ภาพประกอบที่ 12 แสดงขนาดและลักษณะชิ้นทดสอบความต้านแรงเฉือน [25]

การเตรียมชิ้นทดสอบ

ตากวให้ทั่วผิวหน้าชิ้นทดสอบทั้ง 2 ชิ้น ประมาณ 150 กรัมต่อตารางเมตร ประกบชิ้นทดสอบทั้งสองเข้าด้วยกัน โดยปรับรอยต่อให้มีช่วงที่ต่อกันยาว 25 ± 0.25 มิลลิเมตร ใช้ น้ำหนักกดทับไว้จนครบ 24 ชั่วโมง จึงเอาน้ำหนักออก แล้วปล่อยให้แห้งเป็นเวลา 6 วัน ที่อุณหภูมิ 23 ± 1 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 50 ± 2

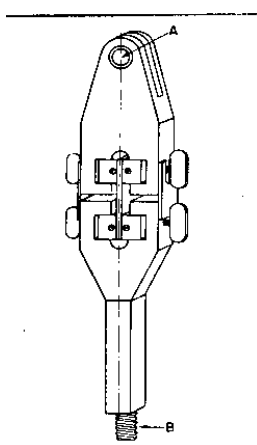
วิธีทดสอบ

- ไม่ได้แช่น้ำ

จับส่วนปลายของชิ้นทดสอบให้แน่นด้วยปากจับในลักษณะที่ผิวทากาวของชิ้นทดสอบอยู่ที่ทิศทางเดียวกันกับแรงดึง (ดังภาพประกอบที่ 13) ใช้แรงดึงที่อัตรา 4535 ถึง 7560 กรัมต่อวินาที แล้วอ่านค่าแรงดึงสูงสุดเป็นปอนด์ต่อตารางนิ้วของพื้นที่แรงเฉือน ให้ทดสอบชิ้นทดสอบจำนวน 10 ชิ้น แล้วหาค่าเฉลี่ย

- ภายหลังการแช่น้ำ

จุ่มชิ้นทดสอบให้มิดในน้ำเย็นที่อุณหภูมิ 27 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16-24 ชั่วโมง ระหว่างการทดสอบต้องให้น้ำท่วมทั่วผิวหน้าและขอบของชิ้นทดสอบทุกชิ้น แล้วนำชิ้นทดสอบไปทำการทดสอบทันทีตามวิธีที่ไม่ได้แช่น้ำ ให้ทดสอบชิ้นทดสอบจำนวน 10 ชิ้น แล้วหาค่าเฉลี่ยของแรง



ภาพประกอบที่ 13 แสดงปากจับชิ้นทดสอบความต้านแรงเฉือน [25]

การหาความแข็งแรงของรอยต่อแบบนิ้วมือประสาน

เครื่องมือ : เครื่องทดสอบกำลังไม้ (Universal testing machine)

- การดึงขนานเสี้ยน (Tension parallel to grain) [26]

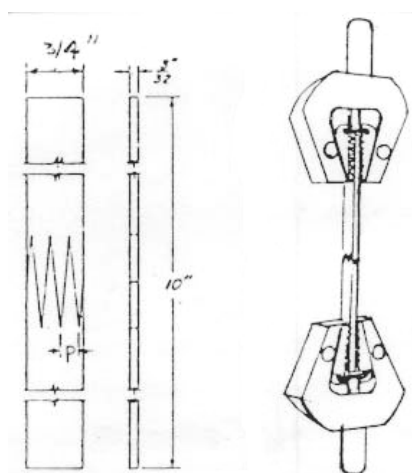
การเตรียมชิ้นทดสอบ

ใช้ไม้ยางขนาดกว้าง 19 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) ยาว 254 มิลลิเมตร (10 นิ้ว) และหนา 2.4 มิลลิเมตร (3/32 นิ้ว) เป็นชิ้นไม้ทดสอบ โดยมีความลาดเอียง 1: 10 ยาว 15 มิลลิเมตร มุมแหลมปลายฟัน 1 มิลลิเมตร ซึ่งมีลักษณะการต่อแบบแนวตั้ง ก่อนการประกอบชิ้นไม้ทดสอบต้องทำความสะอาดผิวให้ปราศจากฝุ่น ทากาวที่ผิวให้สม่ำเสมอ (ประมาณ 150 กรัมต่อตารางเมตร)

แล้วประกอบโดยใช้แม่แรงอัด (Bar clamps) อัดให้บาร์แนบสนิทใช้ฉากจับวัดให้ไม้ทั้ง 2 ชั้น ได้นากต่อกัน อัดทิ้งไว้ 6 ชั่วโมง เพื่อให้กาบแข็งตัวและทิ้งไว้ในบรรยากาศอย่างน้อย 7 วัน

วิธีทดสอบ

ใช้เครื่องยึดชิ้นทดสอบจับชิ้นทดสอบให้อยู่ในลักษณะที่ผิวทากาวของชิ้นทดสอบอยู่ทิศทางเดียวกับแรงดึง ซึ่งความเร็วที่ใช้ในการทดสอบในการดึง คือ 0.50 นิ้วต่อนาที เพิ่มแรงดึงจนชิ้นทดสอบทั้ง 2 ชั้นแยกออกจากกัน แล้วบันทึกค่าแรงที่ทำให้ชิ้นทดสอบแยกออกจากกัน ให้ทดสอบชิ้นทดสอบ 10 ชิ้น เพื่อหาค่าความแข็งแรงในการรับแรงดึงจนนานเปลี่ยนสูงสุด (Maximum tensile strength, S_t) ดังสมการที่ 7



ภาพประกอบที่ 14 แสดงขนาดของชิ้นทดสอบและการทดสอบการดึงจนนานเปลี่ยน [26]

$$S_t = \frac{P}{A} \quad (7)$$

เมื่อ S_t คือ ความแข็งแรงในการรับแรงดึงจนนานเปลี่ยน (นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร)

P คือ น้ำหนักกระทำสูงสุด (นิวตัน)

A คือ พื้นที่หน้าตัดที่รับแรงดึงจนนานเปลี่ยน (ตารางมิลลิเมตร)

- การดัดสถิตย์ (Static bending) [27]

การเตรียมชิ้นทดสอบ

ใช้ไม้ยางขนาดกว้าง 45 มิลลิเมตร ยาว 800 มิลลิเมตร และหนา 45 มิลลิเมตร

เป็นชิ้นไม้ทดสอบ โดยมีความลาดเอียง 1: 10 ยาว 15 มิลลิเมตร มุมแหลมปลายฟัน 1 มิลลิเมตร ซึ่งมีลักษณะการต่อแบบแนวตั้ง ก่อนการประกอบชิ้นไม้ทดสอบต้องทำความสะอาดผิวให้ปราศจากฝุ่น ทากาวที่เคลือบให้สม่ำเสมอ (ประมาณ 150 กรัมต่อตารางเมตร) แล้วประกอบโดยใช้แม่แรงอัด (bar clamps) อัดให้บาร์แนบสนิทใช้ฉลากจับวัดให้ไม้ทั้ง 2 ชิ้น ได้ฉากต่อกัน อัดทิ้งไว้ 6 ชั่วโมง เพื่อให้กาวแข็งตัวและทิ้งไว้ในบรรยากาศอย่างน้อย 7 วัน

วิธีทดสอบ

1. นำอุปกรณ์จับยึดชิ้นไม้ทดสอบวางบนแท่นเครื่องทดสอบกำลังไม้ และยึดติดหัวกดชิ้นไม้ทดสอบแบบกระจายหัวกดเป็น 2 หัวเข้ากับหัวกดของเครื่อง แล้วนำชิ้นไม้ทดสอบที่ประกอบเสร็จแล้วมายึดติดกับอุปกรณ์จับยึดไม้ทดสอบให้แน่นและได้ฉาก

1. ใช้หัวกดกดชิ้นไม้ทดสอบที่ตำแหน่ง 1/3 ของชิ้นทดสอบ โดยใช้อัตราเร็วในการกด (Crosshead speed) ที่ 0.9 มิลลิเมตรต่อนาที ซึ่งอัตราเร็วที่ใช้ในการกดกำหนดโดยช่วงเวลาในการทดสอบการกดที่ระดับแรงกดสูงสุดประมาณ 10 นาที หรือต้องไม่น้อยกว่า 6 นาที และไม่เกิน 20 นาที

2. ทำการจับเวลาในการทดสอบ และจดค่าความแข็งแรงของข้อต่อเป็นช่วงๆ ทุกๆ ค่าแรง 40 นิวตัน หรือประมาณ 4 กิโลกรัม แล้วทำการบันทึกค่าแรงจนถึงแรงกดสูงสุดที่ข้อต่อรับได้ ให้ทดสอบชิ้นทดสอบ 10 ชิ้น เพื่อหาค่าความแข็งแรงของข้อต่อจากค่ามอดูลัสแตกร้าว (Modulus of rupture, MOR) ดังสมการ

$$MOR = \frac{PL}{bd^2} \quad (8)$$

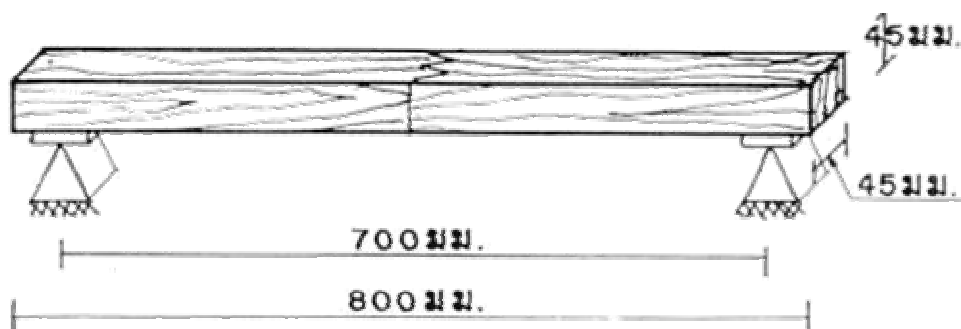
เมื่อ MOR คือ ความแข็งแรง (นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร)

P คือ น้ำหนักกระทำสูงสุด (นิวตัน)

L คือ ระยะห่างระหว่างจุดรองรับ span (มิลลิเมตร)

b คือ ความกว้างของชิ้นไม้ทดสอบ (มิลลิเมตร)

d คือ ความลึกของชิ้นไม้ทดสอบ (มิลลิเมตร)



ภาพประกอบที่ 15 แสดงตัวอย่างชิ้นทดสอบและตำแหน่งที่ใช้ทดสอบการดัดสติย์ [27]

2.4 ชนิดของข้อต่อไม้ที่ใช้ในเฟอร์นิเจอร์

ข้อต่อที่ใช้ในงานเฟอร์นิเจอร์มีหลายชนิดสามารถเลือกใช้ได้ตามความเหมาะสมของงาน [28] ซึ่งข้อต่องานเฟอร์นิเจอร์แบ่งเป็น 3 ประเภท คือ

2.4.1 การเข้ากรอบโครง (Framing joints)

เป็นข้อต่อที่ใช้สำหรับงานที่เป็นกรอบโครงของโครงสร้างเครื่องเรือนต่างๆ เช่น โครงสร้างเก้าอี้ ประตู ตู้ เป็นต้น ซึ่งการเข้ากรอบโครงมีข้อต่อที่ใช้ทำงานอยู่หลายชนิด ดังนี้

- ข้อต่อปลาย (Butt joints) เป็นการเข้าไม้ด้วยการนำปลายไม้แผ่นหนึ่งชนเข้ากับหน้าไม้ หรือขอบไม้อีกแผ่นหนึ่ง การต่อวิธีนี้มีความแข็งแรงน้อยจึงอาจเพิ่มความแข็งแรงได้ โดยการใช้การยึดเหนี่ยวของกาว หรือตะปู

- ข้อต่อบังใบ (Rabbit joints) เป็นการเข้าไม้โดยการนำปลายไม้หรือหัวไม้ ฝังลงไปในเรื่อง หรือหัวไม้อีกแผ่นหนึ่งซึ่งบังใบเอาไว้ เพื่อเพิ่มพื้นที่ยึดเหนี่ยวของกาวให้มากขึ้น จึงทำให้แข็งแรงมากกว่าการต่อชน

- ข้อต่อแบบเกย (Lap joints) เป็นการประกอบไม้สองตัววางกัน โดยบากไม้ลงไปครึ่งหนึ่งของความหนาของไม้ทั้งสอง วางเกยทับกันให้สนิทแล้วนำไม้ทั้งสองอัดเข้าด้วยกัน หรือจะเพิ่มความแข็งแรงด้วยการยึดด้วยกาว หรือตะปู

2.4.2 การต่อไม้ให้กว้าง (Widening joints)

เป็นข้อต่อที่ใช้กับการนำไม้ที่แคบมาต่อทางด้านข้างให้มีความกว้างเพิ่มขึ้น โดยไม้จำเป็นต้องใช้ไม้หน้ากว้างมาทำเพราะมีราคาแพง งานที่พบเห็น เช่น พื้นโต๊ะ

2.4.3 การต่อแบบยาว (Longtheneing joints)

เป็นการต่อไม้ให้มีความยาวเพิ่มขึ้น เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการทำเครื่องเรือน และงานโครงสร้างตกแต่งภายใน การต่อไม้แบบยาวจะพบมากในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีไม้ขนาดเล็กและสั้นที่เหลือจากการแปรรูป โดยการใช้ข้อต่อเดือยประสานนิ้วแบบฟันปลา (Finger joints) ซึ่งเป็นการต่อไม้ที่มีการตัดปลายไม้ที่จะนำมาต่อกันเป็นลักษณะของเดือยประสานคล้ายนิ้วมือ ข้อต่อเดือยประสานนิ้วแบ่งเป็น 3 ชนิด คือ

- ข้อต่อเดือยประสานนิ้วแบบฟันปลาด้านความหนา (Horizontal finger joints)
- ข้อต่อเดือยประสานนิ้วแบบฟันปลาด้านความกว้าง (Vertical finger joints)
- ข้อต่อเดือยประสานนิ้วแบบฟันปลาแบบเอียง (Inclined finger joints)

ข้อต่อเดือยประสานนิ้วแบบฟันปลา (Finger joints) นิยมนำมาใช้เป็นข้อต่อไม้สำหรับงานเฟอร์นิเจอร์ จึงต้องมีการทดสอบสมบัติเชิงกลของข้อต่อเดือยประสานนิ้ว [29]

2.5 สารเพิ่มการยึดติด (Tackifiers)

การยึดติด (Tack) เป็นความสามารถในการต้านทานการแยกของวัสดุสองชนิด หลังจากที่เกิดการสัมผัสกันภายใต้ความดันต่ำๆ [30] สารเพิ่มการยึดติดเป็นวัสดุที่ใส่ลงไปในอีลาสโตเมอร์เพื่อปรับปรุงการยึดติด สารเคมีที่ใช้เพิ่มการยึดติดส่วนมากจะเป็นสารประกอบประเภทเรซิน [31] ซึ่งเรซินที่ใช้ในอุตสาหกรรมยางที่ทำหน้าที่สารเพิ่มการยึดติด (Tackifiers) สารวัลคาไนซ์ (Curing agents) สารเสริมแรงหรือเสริมคุณสมบัติ (Reinforcing agents) โดยการใช้งานส่วนใหญ่จะทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มการยึดติด จากตารางที่ 7 เป็นหน้าที่หลัก 3 ประการของเรซินกลุ่มต่างๆ โดยที่กลุ่มใหญ่ที่สุดที่ใช้งานในอุตสาหกรรมยาง คือ เรซินชนิดฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ (Phenol-formaldehyde resins) เนื่องจากมีราคาถูกกว่าชนิดอื่นๆ

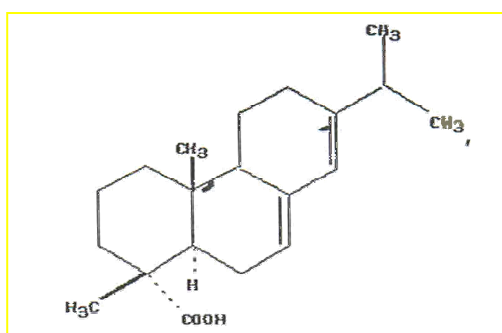
ตารางที่ 7 แสดงชนิดของเรซิน [31]

Curing resins	Reinforcing resins	Tackifying resins
- Phenol-formaldehyde resole type	- Phenol-formaldehyde novolak type	- Phenol-formaldehyde novolak type
	- High styrene resins	- Hydrocarbon
	- Methylene donols	- Rosin derivatives
	- Resorcinol	- Phenol-acetylene condensation
	- Resorcinol-formaldehyde	- Terpene derivatives
	- Poly-butadiene resins	- Coumarone Indene
	- Styrene-acrylonitrile	- Tall oil derivatives
	- Poly-vinyl-chloride resins	

โดยทั่วไปสารเพิ่มการยึดติดมีอยู่หลายประเภท ดังนี้

2.5.1 อนุพันธ์ของโรซิน (Rosin derivatives)

เป็นสารเคมีผสมของกรด Abietic acid ดังโครงสร้างในภาพประกอบที่ 16 และกรดอื่นๆที่เกี่ยวข้อง มักจะเกิดจากการทำปฏิกิริยา Esterified ของสาร Polyhydric alcohol หลังจากนั้นทำปฏิกิริยา Hydrogenated, Dimerrized หรือ Disproportionated เพื่อปรับปรุงสมบัติด้าน Ageing และความเสถียรต่อความร้อน (Heat stability)



ภาพประกอบที่ 16 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ Abietic acid [32]

2.5.2 เรซินชนิดคูมารอน-อินเดน (Coumarone-indene resins)

ซึ่งประกอบด้วยสารพวก Indene, Styrene, Methyl styrene, Methyl indene และไฮโดรคาร์บอนอื่นๆ โดยมีโครงสร้างของ Indene และ Coumarone ดังโครงสร้างในภาพประกอบที่ 17 ซึ่งสารชนิดนี้เป็นผลิตภัณฑ์จากถ่านหินที่ได้จาก Coal coke oven light oils มีฤทธิ์เป็นกรดทำให้การวัลคาไนซ์ยางเกิดได้ช้า เคยใช้เป็นสารทำให้นิ่ม (Softeners) สารเคมีชนิดนี้ทำให้ยางที่ไม่ใส่สารตัวเติมมีความทนทานต่อแรงดึงต่ำ เช่น ยางเอสปีอาร์ เป็นต้น มีความแข็งแรงมากขึ้น และเมื่อผสมสารตัวเติมชนิดไม่เสริมประสิทธิภาพ เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต และเคลย์ เป็นต้น เมื่อผสมลงไปยางเอสปีอาร์ และผสม Coumarone indene resin ปริมาณ 15-25 phr [33] พบว่าทำให้ความทนทานต่อแรงดึงสูงขึ้น และทำให้ความต้านทานต่อการหักงอดีขึ้น โดยเชื่อว่าสารเคมีชนิดนี้ช่วยให้สารตัวเติมกระจายตัวในยางได้ดีขึ้น



ภาพประกอบที่ 17 แสดงโครงสร้างเคมีของ Indene และ Coumarone [32]

2.5.3 เรซินจากปิโตรเลียมชนิดอลิฟาติก (Aliphatic petroleum resins)

ผลิตจากสารไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัวที่ได้จาก Cracking crude oil โดยเรซินที่ได้มีทั้งส่วนที่เป็นอะโรมาติกน้อยจนถึงมากหรือเป็นอะลิฟาติก พวกที่เป็นอะลิฟาติกจะมีไอโซพรีนปนอยู่ด้วย ส่วนเคมีอะโรมาติกจะมีไซโคลเพนเตไดอินอยู่เป็นส่วนใหญ่ อะลิฟาติกส่วนใหญ่ใช้เป็นสารเพิ่มการยึดติด [33] ทั้งนี้เพราะมีบางส่วนในอะลิฟาติกที่ไม่ละลายเข้ากันกับยาง ทำให้มีผลทางการเหนียวติดของยาง

2.5.4 โอลิโกเมอร์ชนิดเทอร์พีน (Terpene oligomers)

เป็นชนิด α - หรือ β -pinene ที่ได้จากต้นสนโดยที่สารเพิ่มการยึดติดชนิดนี้มีองค์ประกอบเป็น Rosin, Terpene, Terpene-phenolic, Tall oil derivatives, Pine tars, Gum rosin และ Wood rosin resins สารเคมีกลุ่มนี้สามารถเพิ่มการยึดติดได้ไม่สม่ำเสมอ ขึ้นอยู่กับแหล่งของต้นสนอย่างไรก็ตามได้มีการทำให้บริสุทธิ์มากขึ้นเพื่อให้มีความสม่ำเสมอ สำหรับการใช้งานมักจะใช้ร่วมกับเรซินฟอรัลดีไฮด์ชนิดโนโวแลก เพื่อให้การยึดติดทั้งตอนเริ่มต้นและในระยะเวลายาว

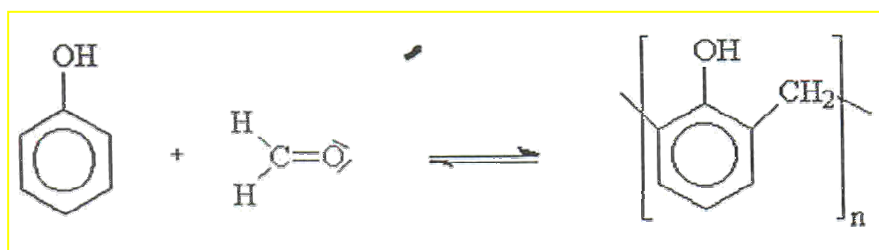
ขณะใช้งานดีขึ้น [30] การผสมสารเพิ่มการยึดติดชนิด Wood rosin ในรูปอิมัลชันลงไปในน้ำยางธรรมชาติเพื่อทำกาว [34] สามารถผสมได้ถึง 80 phr โดยที่ไม่ทำให้น้ำยางเสียสภาพ ปริมาณ Wood rosin ที่เหมาะสมใช้ไม่ควรเกิน 30 phr เพื่อให้ได้สมบัติที่ดีของความต้านแรงเฉือนและความต้านแรงลอก การใช้ Chlorinated alkyl phosphate oil 1-3 % โดยน้ำหนัก ทำให้ระยะเวลาการเซตตัวจะอยู่ในช่วง 30-35 นาที กาวที่ได้สามารถวัลคาไนซ์ได้ที่อุณหภูมิห้อง โดยจะใช้เวลาเพิ่มขึ้นตามปริมาณ Wood rosin ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งอยู่ในช่วง 40-70 นาที นอกจากนั้นกาวที่เตรียมได้มีความทนทานต่อน้ำสูงมากกว่า 60 วัน และสามารถเก็บไว้ได้นานมากกว่า 4 เดือน

การใส่สารเติมแต่ง ได้แก่ โรซิน ซิลิกาและเซมาดำ ในกาวที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ [5] มีผลทำให้สมบัติความต้านทานแรงดึงลอกเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (ประมาณ 36%) ยกเว้น ซิลิกาเกรด AEROSIL200 ที่ทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงลอกเพิ่มขึ้นถึง 4 เท่า ส่วนกรณีของกาวที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง พบว่าสารเติมแต่งมีผลต่อสมบัติความต้านทานแรงดึงลอกเพียงเล็กน้อย และการทดสอบการใช้งานที่เก็บไว้ที่สภาวะต่างๆ ในช่วง 12 สัปดาห์ พบว่าความต้านทานแรงดึงลอกเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงสัปดาห์แรก ลักษณะความเสียหายจากการดึงลอกมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงจาก cohesive failure คือ มีกาวเหลือติดอยู่ที่ผิวชิ้นทดสอบ เป็น adhesive failure คือ ไม่มีกาวติดที่ผิวชิ้นทดสอบ ไม่ว่าจะเก็บชิ้นงานไว้ที่อุณหภูมิเท่าไรก็ตาม

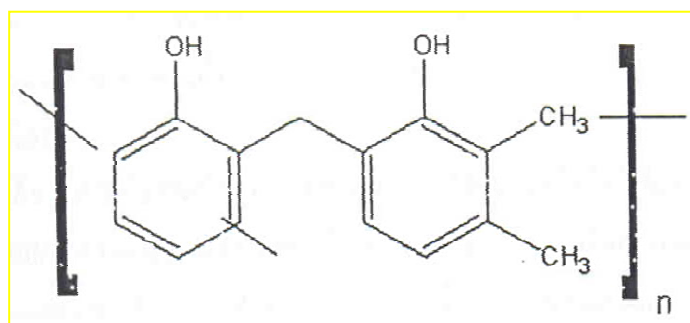
2.5.5 เรซินฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ (Pheno;-formaldehyde resins)

เป็นเรซินที่ใช้ในอุตสาหกรรมยางมาเป็นระยะเวลานาน โดยใช้เป็นสารเพิ่มการยึดติด สารเสริมแรงหรือเสริมคุณสมบัติ สารวัลคาไนซ์ ในกรณีที่ใช้สารเคมีกลุ่มนี้เพื่อเพิ่มการยึดติด จะใช้ในการประกอบชิ้นส่วนต่างๆ เป็นผลิตภัณฑ์ ส่วนการใช้เพื่อเพิ่มหรือเสริมสมบัตินั้น พบว่าสารเคมีชนิดนี้ให้สมบัติด้านความแข็งตึง (Stiffness) และความแข็ง ในกรณีที่ใช้เป็นสารวัลคาไนซ์ นั้นจะใช้ในการวัลคาไนซ์ยางเบลคเดอร์ชนิดที่ทำจากยางบิวไทล์ (Butyl tire-curing bladders) ถุงลมนิรภัย (Air bags) และผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความทนทานต่อความร้อนสูง

ในกรณีที่ใช้เป็นสารยึดติดนั้นจะเป็นชนิด Novolak resin ที่มีความแตกต่างกัน โดยทั่วไปมีโครงสร้างเป็นเส้นตรง ดังภาพประกอบที่ 18 โดยทั่วไปจะมีการปรับปรุงด้วยอัลคิล (Alkyl-modified phenol-formaldehyde resins) ซึ่งเป็นหมู่ออกทิล (Octyl group) หรือเทอร์เทียรีบิวทิล (t-butyl group) ดังภาพประกอบที่ 19 โดยทั่วไปเรซินชนิดนี้ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงและอุณหภูมิจุดอ่อนตัวสูงจะให้การเกาะติด (Tack) ที่ดี โดยเฉพาะภายใต้สภาวะที่มีความชื้นและอุณหภูมิสูง



ภาพประกอบที่ 18 แสดงปฏิกิริยาการเกิดเรซินชนิด Novolak [32]

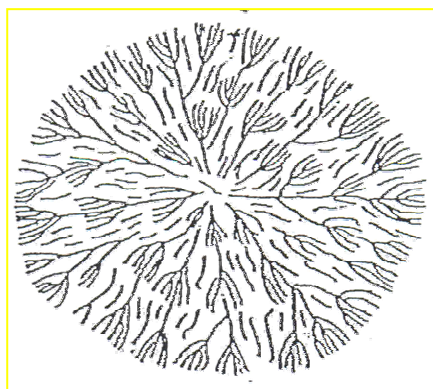


ภาพประกอบที่ 19 แสดงโครงสร้างของเรซินฟีนอลิกชนิด Novolak ที่ปรับปรุงด้วยหมู่อัลคิล [32]

สารเพิ่มแรงยึดติดโดยทั่วไปมีน้ำหนักโมเลกุลระหว่าง 500-2,000 มีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลกว้าง มีจุดอ่อนตัว (Ring และ Ball softening point) ตั้งแต่ 50-150 องศาเซลเซียส สารเคมีชนิดนี้มีข้อจำกัดทางด้านความเข้ากันได้กับอีลาสโตเมอร์ โดยที่มีความเข้ากันได้ต่ำกว่าสารเสริมสภาพพลาสติก (Plasticizers) แต่มีความเข้ากันได้มากกว่าสารตัวเติม หน้าที่ของสารเพิ่มการยึดติดเมื่อใช้ปริมาณระหว่าง 1-10 phr จะทำให้เพิ่มค่าการยึดติดเริ่มต้น (Initial tack) และป้องกันการเสื่อมหรือการลดลงของการยึดติด สารเพิ่มการยึดติดจะต้องมีความเข้ากันได้กับยางในกรณีของฟีนอลิกที่ผ่านการปรับปรุง (Modified phenolic) ด้วย Para-alkyl group ช่วยปรับปรุงความเข้ากันได้กับยางไม่มีขั้ว (Nonpolar elastomers) นอกจากนี้เมื่อหมู่อัลคิลเป็นชนิด t-octyl ประสิทธิภาพการทำหน้าที่เพิ่มการยึดติดจะเกิดขึ้นสูงสุดเมื่อสารเพิ่มการยึดติดมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 2,000

2.5.6 แป้ง (Flour)

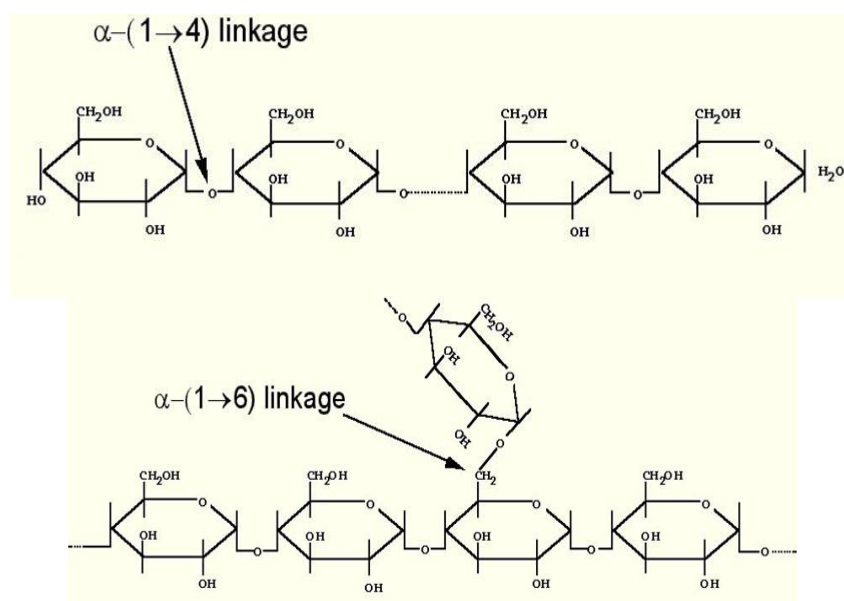
แป้ง หมายถึง สารประกอบของอะไมเลส (Amylose) และอะไมโลเพกติน (Amylopectin) รวมทั้งส่วนประกอบอื่นๆ ได้แก่ โปรตีน ไขมัน เกลือแร่ แต่ถ้านับเฉพาะสารประกอบของอะไมเลส และอะไมโลเพกติน จะใช้แทนด้วยคำว่า สตาร์ช (Starch) โครงสร้างของกรานูลของแป้งหรือเม็ดแป้ง (Starch granule) [35] แสดงในภาพประกอบที่ 20 จะเห็นได้ว่าส่วนที่เป็นโครงหลักของกรานูลจะเป็นอะไมโลเพกติน ซึ่งมีโครงสร้างเป็นเกลียวคู่ (Double helices) รวมกันได้เกลียวขนาดใหญ่ (Superhelical structure) ที่มีสมบัติเป็นพอลิเมอร์ผลึก (Crystalline polymer) โครงสร้างที่มีระเบียบที่สามารถบรรจุพอลิเมอร์สายโซ่สั้นกว่าไว้ภายในได้ และการที่โครงสร้างเป็นเกลียวเมื่อโครงสร้างมีสารไอออนบวก (Cation) เข้ามาเกี่ยวข้องจะทำให้เกิดการละลายน้ำได้ดีขึ้น โดยผลของ Polyelectrolyte effects จะทำให้ความหนืด (Viscosity) ลดลงด้วยการจัดเรียงตัวในกรานูลของแป้งประกอบด้วยส่วนที่เป็นผลึก (Crystalline regions) มากและน้อย รวมทั้งส่วนที่มีโครงสร้างอสัณฐาน (Amorphous regions) ของสายโซ่บริเวณที่พับกัน หรือมีกิ่งสาขาซับซ้อน ซึ่งเป็นบริเวณที่โมเลกุลขนาดเล็ก เช่น น้ำสามารถเข้าไปละลายได้ โครงสร้างของอะไมโลสทั่วไปเป็นชนิดสายโซ่ตรง (Linear) ของน้ำตาลกลูโคส 1,000-6,000 หน่วย เกาะกันด้วยพันธะ α -1,4 ที่อาจมีกิ่งสาขาสั้นๆ เล็กน้อยได้ด้วย (กิ่งสาขา 1 จุดต่อ 1,000 หน่วยน้ำตาลกลูโคส) และมีการเชื่อมต่อกับอะไมโลเพกตินด้วยพันธะ α -1,6 แสดงดังภาพประกอบที่ 21



ภาพประกอบที่ 20 แสดงแบบจำลองโครงสร้างกรานูลของแป้ง [35]

ลักษณะจำเพาะที่สำคัญของแป้ง ได้แก่ การเกิดเจล (Gelatinization) ซึ่งโดยทั่วไปแล้วแป้งไม่ละลายในน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่เกิดเจลของแป้ง (Gelatinization temperature) สาเหตุที่แป้งไม่สามารถละลายในน้ำเย็น เนื่องจากพันธะไฮโดรเจนจำนวนมากที่มีอยู่ภายในกรานูล การเปลี่ยนแปลงของกรานูลในน้ำเมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 22

เมื่อให้ความร้อนกรานูลจะเริ่มบวมอย่างไม่ผันกลับ (Irreversible swelling) เกิดขึ้นได้ในส่วนของ
 อัสัณฐานและบวมขึ้นเรื่อยๆ จนทำให้พันธะไฮโดรเจนแตกออก และโมเลกุลของน้ำแทรกตัวได้
 (Hydration) และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้โครงสร้างที่เป็นระเบียบถูกรบกวน ณ จุดนี้เองที่
 กรานูลเกิดการสูญเสียโพลาไรเซชัน (Loss of the polarization cross) หรือมีการสูญเสียสมบัติ
 Birefringence เมื่อผ่านลำแสงโพลาไรซ์และความเป็นผลึกลดลง เพราะเก็ลียการจัดเรียงตัวของ
 อะไมโลเพกตินคลายตัวออกการละลายจึงเกิดได้ดีและแป้งจะเหนียวขึ้น ซึ่งคำว่า Gelatinization จะ
 ใช้กับปรากฏการณ์เช่นนี้ ที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดดังกล่าวกรานูลจะเกิดการแตกออก เมื่อให้ความร้อน
 ต่อไปโมเลกุลอะไมโลสอิสระจะหลุดออกมาได้ทำให้ความหนืดของสารละลายสูงขึ้น และ
 เนื่องจากกรานูลของแป้งมีขนาดไม่เท่ากันกรานูลที่เล็กกว่าจะเริ่มเกิดเจลที่อุณหภูมิสูงกว่า ดังนั้น
 การเกิดเจลของแป้งจึงไม่สามารถบอกอุณหภูมิที่แน่นอนได้บอกได้เพียงช่วงอุณหภูมิ ซึ่งอุณหภูมินี้
 ขึ้นกับชนิดของแป้ง ขนาดกรานูลและปริมาณอะไมโลเพกติน เช่น แป้งมันฝรั่งจะมีขนาด กรานูล
 ใหญ่ ปริมาณอะไมโลเพกตินสูงจึงมีอุณหภูมิการเกิดเจลต่ำ ส่วนแป้งข้าวเจ้าที่มีขนาด กรานูลเล็ก
 ที่สุดจะมีช่วงอุณหภูมิดังกล่าวสูงที่สุด นอกจากนี้หลังจากเกิดเจลแล้วเมื่อให้อุณหภูมิลดต่ำลงมาจะ
 เกิดการผันกลับเรียกว่ารีโทรกราเดชัน (Retrogradation) กล่าวคือ โมเลกุลอะไมโลสจะเรียงตัวชิด
 กันแน่นมากขึ้นจนทำให้โมเลกุลของน้ำถูกแยกออก และอะไมโลสรวมตัวได้เป็นแผ่นฟิล์มของแป้ง



ภาพประกอบที่ 21 แสดงสูตรโครงสร้างทางเคมีของอะไมโลส (บน) ซึ่งเชื่อมต่อด้วยพันธะ α -1,4
 และอะไมโลเพกติน (ล่าง) ที่เชื่อมต่อกับอะไมโลส (บน) ด้วยพันธะ α -1,6