



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การพัฒนาสารสำหรับใช้ในงานติดไม้ยางพาราจากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์

Development of Rubber Wood Adhesive from Epoxidized Natural Rubber Latex

โดย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุกฤทธิรา รัตนวิไล และคณะ

สิงหาคม 2550

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การพัฒนาการใช้ในงานติดไม้ยางพาราจากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์

Development of Rubber Wood Adhesive from Epoxidized Natural Rubber Latex

คณะผู้วิจัย

สังกัด

- | | |
|---------------------------------|---------------------------|
| 1. ผศ.ดร. สุกฤทธิรา รัตนวิไล | ภาควิชาวิศวกรรมเคมี |
| 2. ผศ.ดร. ชเนศ รัตนวิไล | ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม |
| 3. นางสาวฉัตรปกรณ์ นันทวงศ์ | ภาควิชาวิศวกรรมเคมี |
| 4. นางสาวจุพินิธิ จิตต์ต่างวงศ์ | ภาควิชาวิศวกรรมเคมี |
| | คณะวิศวกรรมศาสตร์ |
| | มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ |

ชุดโครงการวิจัยการพัฒนาอุตสาหกรรมยางพารา

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว.ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทสรุปผู้บริหาร (Executive Summary)

งานวิจัยชิ้นนี้เป็นการเตรียมกาวยางจากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซค์ ซึ่งน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซค์เกิดจากการทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันของน้ำยางธรรมชาติ แล้วนำไปผสมตามสูตรร่วมกับสารเพิ่มการยึดติดต่างๆ เพื่อปรับปรุงสมบัติของกาวน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซค์ให้มีสมบัติดีขึ้นเพื่อให้สามารถนำไปใช้ในงานติดไม้ยางพาราได้ โดยเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซค์ที่เหมาะสมในการเตรียมกาวยาง มีค่าเท่ากับ 44% โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน 6 ชั่วโมง และสารตัวเติมที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ คิวมาโรนเรซิน 6, 7 และ 8 phr แบ่งข้าวเหนียวเจลลาติไนซ์ 6, 7 และ 8 phr และแบ่งข้าวเหนียวเจลลาติไนซ์ผสมร่วมกับคิวมาโรนเรซิน ที่อัตราส่วนต่าง โดยสมบัติที่ต้องการปรับปรุง คือ ความต้านแรงลอก ความต้านแรงเฉือน และนำกาวยางที่ผสมสารเพิ่มการยึดติดแต่ละชนิดที่ให้ค่าแรงเฉือนสูงสุดไปทดสอบความแข็งแรงของรอยต่อแบบนิ้วมือประสานในรูปแรงดึงขนานเส้นสูงสุด และความแข็งแรงของรอยต่อแบบนิ้วมือประสานในรูปการดัดสถิตย์แสดงผลด้วยค่ามอดูลัสแตกร้าว โดยทำการทดสอบตามมาตรฐานตามลำดับดังนี้

- ทดสอบความต้านแรงลอก (Cleavage peel strength)
(ASTM D3807) ใช้ชิ้นทดสอบไม้ยางพาราจำนวน 5 ชิ้นต่อหนึ่งตัวอย่าง
- ทดสอบความต้านแรงเฉือน (Shear strength)
(ASTM D2339) ใช้ชิ้นทดสอบไม้ยางพาราจำนวน 10 ชิ้นต่อหนึ่งตัวอย่าง
- ทดสอบความแข็งแรงของรอยต่อแบบนิ้วมือประสาน
 - การดึงขนานเส้น (Tension parallel to grain) (AITC Test 106. 1967)
ใช้ชิ้นทดสอบไม้ยางพาราจำนวน 10 ชิ้นต่อหนึ่งตัวอย่าง
 - การดัดสถิตย์ (Static bending) (ASTM 1989a) ใช้ชิ้นทดสอบไม้ยางพาราจำนวน 10 ชิ้นต่อหนึ่งตัวอย่าง

โดยพบว่าการผสมสารเพิ่มการยึดติดทั้ง 2 ชนิดคือ แบ่งข้าวเหนียวเจลลาติไนซ์ และคิวมาโรนอีพอกซิเดชันลงในกาวยางส่งผลให้ความต้านแรงลอกของกาวลดลงเนื่องจากการรวมตัวเป็นกลุ่มเล็กๆของอนุภาคในกาวเมื่อแห้ง จึงทำให้ความเป็นยาง (Elastomer) และความเป็นเนื้อเดียวกันของกาวลดน้อยลง ตรงกันข้ามความต้านแรงเฉือนการผสมสารเพิ่มการยึดติดทั้ง 2 ชนิดคือ แบ่งข้าวเหนียวเจลลาติไนซ์และคิวมาโรนอีพอกซิเดชันลงในกาวยาง ส่งผลให้ความต้านแรงเฉือนของกาวเพิ่มขึ้นโดยคิวมาโรนอีพอกซิเดชันส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของความต้านแรงเฉือนมากกว่าแบ่งข้าวเหนียวเจลลาติไนซ์

กาวยางที่ผสมคิวมาโรนอีมีลชันสามารถยึดติดไม้ได้ดีกว่ากาวยางที่ผสมแป้งข้าว-
เหนียวเจลลาติไนซ์กับคิวมาโรนอีมีลชัน และกาวยางที่ผสมแป้งข้าวเหนียวเจลลาติไนซ์
ตามลำดับ และกาวยางสามารถยึดติดได้ดีมากขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณคิวมาโรนอีมีลชัน ซึ่งปริมาณ
สูงสุดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ 8 phr ซึ่งเป็นสูตรกาวที่ดีที่สุด เนื่องจากมีเนื้อกาว ความหนืด และความ
หนาแน่นผ่านตามอก. 521-2527 แต่ค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ที่ 9.5 ซึ่งสูงกว่ามอก.181-2530
เพราะต้องมีการปรับความเป็นกรด-ด่าง เพื่อไม่ให้กาวยางจับตัวเป็นก้อน กาวยางผสมคิวมาโรน-
อีมีลชัน 8 phr มีค่าความต้านแรงลอก ความต้านแรงเฉือน แรงดึงขนาบเส้นสูงสุด ค่ามอดูลัส
แตกร้าวคือ 0.88×10^6 kN/m, 5.08×10^6 N/m², 28.40×10^6 N/m² และ 20.21×10^6 N/m² ตามลำดับ ซึ่งมี
ค่าน้อยกว่ากาวUF แต่หากไม่คิดค่าความต้านแรงลอกผลที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับผลของกาว TOA คือ
ความต้านแรงเฉือน แรงดึงขนาบเส้นสูงสุด และค่ามอดูลัสแตกร้าว 6.2×10^6 N/m², 37.21×10^6
N/m² และ 23.03×10^6 N/m² ตามลำดับ ซึ่งเป็นกาวที่นิยมใช้สำหรับติดไม้ในปัจจุบัน ดังนั้นจึงมี
ความเป็นไปได้สูงในการพัฒนากระบวนการนี้ให้สามารถใช้ในการอุตสาหกรรมไม้ยางพารา นอกจากนี้
กาวยางที่เตรียมได้ก็ยังมีข้อดีตรงที่ไม่เป็นอันตรายกับผู้ใช้และไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม เนื่องจากกาว
ยางมีน้ำเป็นส่วนประกอบหลัก จากการประเมินต้นทุนในการเตรียมกาวยางยางผสมคิวมาโรน-
อีมีลชัน 8 phr โดยคำนวณค่าใช้จ่ายเฉพาะในส่วนของวัตถุดิบที่ใช้ในการเตรียมเท่านั้น ไม่คำนึงถึง
ค่าไฟฟ้าและค่าแรงงาน ราคาของกาวยางที่เตรียมได้ประมาณ 219 บาทต่อกิโลกรัม

นอกจากนี้มีการวิเคราะห์ขนาดของอนุภาคของกาวโดยใช้เครื่องมือ Particle size
analyzer และหาขนาดช่องว่างของผนังเซลล์ไม้ยางพาราโดยใช้เทคนิค SEM (Scanning Electron
Microscope) พบว่าอนุภาคของกาวยางที่เตรียมได้ทุกชนิด สามารถแทรกตัวเข้าไปในรูพรุนของไม้
ยางพาราได้เนื่องจากมีขนาดอนุภาคเล็กกว่าขนาดรูพรุนของไม้ยางพารา โดยกาวที่เตรียมได้ทุก
ชนิดมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยใกล้เคียงกันประมาณ 1.1 ไมโครเมตร และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
(Standard deviation, SD) อยู่ในช่วง 0.5-0.7 โดยขนาดอนุภาคใหญ่สุดที่วัดได้มีขนาด 5.8
ไมโครเมตร ขนาดรูพรุนเฉลี่ยของไม้ยางพารามีค่าประมาณ 20 ไมโครเมตร และวิเคราะห์ชิ้นไม้
หลังการทดสอบ พบว่ากาวที่เตรียมได้ส่วนใหญ่อยู่เฉพาะบริเวณผิวหน้าของไม้ยางพาราทำให้แรง
ยึดเกาะระหว่างกาวกับไม้ต่ำ จึงทำให้ค่าความต้านแรงเฉือนที่ได้มีน้อยลงและลักษณะของชิ้น
ทดสอบของกาวยางภายหลังการดึงเกิดความเสียหายเฉพาะตรงจุดที่กาวไม่ได้เกิดบริเวณเนื้อไม้

จากการศึกษาหมู่ฟังก์ชันของกาวยางด้วยเทคนิค FT-IR พบว่ากาวยางที่ผสมแป้ง
ข้าวเหนียวเจลลาติไนซ์ปรากฏหมู่ฟังก์ชันของ C-O-C ที่อยู่บนโมเลกุลของอะไมเลสและอะไมโล-
เพกตินในแป้งข้าวเหนียวเจลลาติไนซ์ และกาวยางที่ผสมคิวมาโรนอีมีลชันปรากฏวงแหวน
เบนซีนที่อยู่บนโมเลกุลของคิวมาโรนเรซิน นอกจากนี้ยังปรากฏหมู่ฟังก์ชันของ C=O เพิ่ม

ขึ้นมาใน กาวยางที่ผสมสารเพิ่มการยึดติดทั้งสองชนิดโดยเฉพาะกาวยางที่ผสมคิวมาโรนอิมัลชัน ซึ่งหมู่ C=O สามารถพบได้ในโมเลกุลของกาว TOA และกาว UF เช่นเดียวกัน

มีการศึกษาสารเพิ่มการยึดเพิ่มเติมนอกขอบเขตการวิจัยโดยใช้ Petroleum resin 15, 30 และ 45 phr, Terpene phenolic resin 30, 45 และ 60 phr, และ ชัน (Dammar) 10, 15 และ 20 phr เป็นส่วนผสมร่วมในกาวน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์พบว่ากาวยางที่ผสม Terpene phenolic resin สามารถยึดติดไม่ได้ดีกว่ากาวยางที่ผสม Petroleum resin และกาวยางที่ผสมชัน ตามลำดับ และกาวยางผสม Terpene phenolic resin สามารถยึดติดได้ดีมากขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณ Terpene phenolic resin ซึ่งปริมาณสูงสุดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ 60 phr และมีแนวโน้มที่สามารถใส่เพิ่มได้ กาวยางที่ผสม Terpene phenolic resin มีเนื้อกาว ความหนืด และความหนาแน่นผ่าน มาตรฐาน ในส่วนของความต้านทานแรงลอก และความต้านทานแรงเฉือนมีค่า 2.23×10^6 kN/m, 5.64×10^6 N/m² ตามลำดับซึ่งสูงกว่าความต้านทานแรงลอก และความต้านทานแรงเฉือนของกาวยางที่ผสม คิวมาโรนอิมัลชันปริมาณ 8 phr ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.88×10^6 kN/m, 5.08×10^6 N/m² ตามลำดับ และที่สำคัญค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับความต้านทานแรงลอก และความต้านทานแรงเฉือนของกาว UF ซึ่งเป็นกาวที่ใช้สำหรับติดไม้ที่ใช้ในอุตสาหกรรม

บทคัดย่อ

โครงการวิจัย: RDG4950015

ชื่อโครงการวิจัย: การพัฒนาการสำหรับใช้ในงานติดไม้ยางพาราจากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์

นักวิจัย: ศศ.ดร. สุกฤทธิรา รัตนวิไลและคณะ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112

E-mail Address: sukritthira.b@psu.ac.th

ระยะเวลาทำการวิจัย: ธันวาคม 2548 – สิงหาคม 2550

คำสำคัญ: น้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์, กาวยางติดไม้, ไม้ยางพารา

ปัจจุบันกาวที่ใช้ในอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพาราเป็นกาวสังเคราะห์จำพวกกาวยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ ซึ่งกาวยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์เป็นโพลีเมอร์ที่จัดอยู่ในประเภทอะมิโนเรซิน (Amino resins) โดยทำปฏิกิริยาควบแน่นระหว่างยูเรียกับฟอร์มัลดีไฮด์ กาวยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์มีความแข็งแรงสูง แต่ไอระเหยของฟอร์มัลดีไฮด์จัดเป็นสารมีพิษที่เป็นอันตรายกับผู้ใช้ จากเหตุผลดังกล่าวเพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภคในการใช้เฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา และเล็งเห็นว่าในประเทศไทยโดยเฉพาะทางภาคใต้มีการปลูกยางพาราเป็นจำนวนมาก ในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาการพัฒนาการจากน้ำยางพาราในรูปของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (ENR) ซึ่งยางธรรมชาติอีพอกไซด์มีลักษณะชอบน้ำ โดยเตรียมยางธรรมชาติอีพอกไซด์จากน้ำยางข้นที่มีปริมาณเนื้อยางแห้ง (Dry Rubber Content, DRC) 20% โดยน้ำหนัก ทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส โดยใช้กรดเปอร์ฟอร์มิกเป็นสารอีพอกซิไดซ์ พบว่าปริมาณหมู่อีพอกไซด์ที่เกิดขึ้นบนโมเลกุลยางธรรมชาติเพิ่มขึ้นตามเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา และค่าอุณหภูมิกลายแก้ว (Glass transition temperature, T_g) ของยางธรรมชาติอีพอกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณหมู่อีพอกไซด์ และเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซด์ที่เหมาะสมสำหรับผลิตกาวยางเท่ากับ 44% ที่เวลาทำปฏิกิริยา 6 ชั่วโมง เมื่อทดสอบด้วยเครื่อง FT-IR กาวยางที่ผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินในโซ่ปรากฏหมู่ฟังก์ชันของ C-O-C บนโมเลกุลของอะไมเลสและอะไมโลเพกตินในแป้งข้าวเหนียวเจลาตินในโซ่ และกาวยางที่ผสมคิวมาโรนอิมัลชัน ปรากฏวงแหวนเบนซีนที่อยู่บนโมเลกุลของคิวมาโรนเรซิน และปรากฏ C=O ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันใหม่ที่เกิดขึ้นในกาวยาง สำหรับกาวยางที่ผสมคิวมาโรนอิมัลชันที่มีความเป็นกรดต่างของน้ำยางน้อยกว่า 8.6 น้ำยางจะจับตัวเป็นก้อน แต่กาวยางที่มีความเป็นกรดต่างมากกว่า 8.6 น้ำยางยังคงสภาพเป็นของเหลวหนืด สำหรับกาวยางทุกสูตรมีปริมาณเนื้อกาว (%TSC) ความหนาแน่น และความหนืดผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกาวยาง

มอก.521-2527 แต่ความเป็นกรด-ด่างสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกาวยาโพลิไวนิลอะซิเตดอิมัลชันมอก.181-2530 กาวยางที่ผสมคิวมาโรนอิมัลชันมีค่าความต้านแรงเฉือนสูงกว่า กาวยางที่ผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์กับคิวมาโรนอิมัลชัน และกาวยางที่ผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ และมีค่าเพิ่มตามปริมาณคิวมาโรนอิมัลชันที่ใช้ สำหรับกาวยางที่ผสมคิวมาโรนอิมัลชันปริมาณ 8 phr เป็นสูตรกาวที่ดีที่สุด มีค่าความต้านแรงเฉือน แรงดึงขนานเสี้ยนสูงสุด และค่ามอดูลัสแตกร้าวเท่ากับ $5.08 \times 10^6 \text{ N/m}^2$, $28.40 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ และ $20.21 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ ตามลำดับ แต่ค่าที่ได้ยังน้อยกว่ากาว TOA และกาว UF

ABSTRACT

Project Code: RDG4950015

Project Name: Development of Rubber Wood Adhesive from Epoxidized Natural Rubber Latex

Researcher: Sukritthira Ratanawilai, et al. Chemical Engineering Department, Engineering

Faculty, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla 90112

E-mail Address: sukritthira.b@psu.ac.th

Project Period: December, 2005 – August 2007

Keyword: Epoxidized Natural Rubber Latex, Rubber Wood Adhesive, Rubber Wood

At the moment, adhesive mostly used in rubber wood furniture industry is urea-formaldehyde which is amino resin polymer. It is made from condensation reaction between urea and formaldehyde. This adhesive has good adhesion but it is harmful for user because formaldehyde is poison and causes the irritation. For the safety of rubber wood furniture user and for the benefit of the owner of rubber wood plantation in the south of Thailand, the adhesive prepared from rubber latex is developed in the form of epoxidized natural rubber (ENR) and it is a water-based adhesive. ENR was prepared by epoxidation reaction of 20% DRC rubber latex with the performic acid at 50°C. It was found that the amount of epoxide groups in the natural rubber molecules increased upon time. In addition, T_g of ENR increased as the amount of epoxide groups increased. The optimum epoxidation for using as the adhesive is about 44% with 6 hours of the reaction time. By using FT-IR spectroscopy, C-O-C on molecule of amylose and amylopectin was found for the adhesive mixed with gelatinized sticky rice flour. Furthermore, the benzene ring on molecule of coumarone resin was observed and C=O was formed for the adhesive mixed with coumarone emulsion. Rubber adhesive mixed with coumarone emulsion was coagulated when pH was lower than 8.6 but if pH above 8.6, it was a sticky liquid. Dry rubber content, viscosity and density values of all rubber adhesives prepared in this research were in the range of Thai Industrial Standard 521-2527. However, pH was higher than value in Thai Industrial Standard 181-2530. Rubber adhesive mixed with coumarone emulsion showed higher shear strength followed by rubber adhesive mixed with gelatinized sticky rice flour and coumarone emulsion, and rubber adhesive mixed with gelatinized sticky rice flour, respectively.

Besides, shear strength of rubber adhesive increased with increasing the amount of coumarone emulsion. Rubber adhesive having 8 phr of coumarone emulsion gave the best properties. It had shear strength, tension parallel to grain and modulus of rupture (MOR) of 5.08×10^6 N/m², 28.40×10^6 N/m² and 20.21×10^6 N/m² respectively. Nevertheless, these properties are lower than those of TOA and UF.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) สำหรับทุนวิจัยเพื่อสนับสนุนการทำวิจัยในครั้งนี้ ซึ่งทำให้งานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงไปได้เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร.เจริญ นาคะสรรค์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำและแนวทางแก้ปัญหา รวมทั้งอนุเคราะห์สารเคมีบางชนิดสำหรับงานวิจัยนี้เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทดสอบ คณะอุตสาหกรรมเกษตร และบุคลากรภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ทุกๆ ท่านที่ให้ความช่วยเหลือจนการดำเนินการวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ท้ายสุดขอขอบคุณสมาชิกในทีมวิจัยการใช้อย่างกับงานทางวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ทุกๆ ท่าน ที่คอยผลักดัน ร่วมฝ่าฟัน และเป็นกำลังใจที่ดีในการทำงานวิจัยชิ้นนี้จนสำเร็จ อีกทั้งเป็นเพื่อนร่วมความคิด ร่วมอุดมการณ์ และเพื่อนร่วมงานที่ดีในการสร้างสรรค์งานการใช้อย่างกับงานทางวิศวกรรมต่อไปในอนาคต

สุกฤทธิรา รัตนวิไลและคณะ

สารบัญ

	หน้า
บทสรุปผู้บริหาร	(3)
บทคัดย่อ	(6)
Abstract	(8)
กิตติกรรมประกาศ	(10)
สารบัญ	(11)
รายการตาราง	(13)
รายการภาพประกอบ	(15)
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 บทนำต้นเรื่อง	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2. ตรวจเอกสาร	4
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับน้ำยางธรรมชาติ	4
2.2 ยางธรรมชาติอีพอกไซค์	12
2.3 วัสดุแก้วและการยึดเกาะ	23
2.4 ชนิดของข้อต่อไม้ที่ใช้ในเฟอร์นิเจอร์	35
2.5 สารเพิ่มการยึดติด	36
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	44
3. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ	48
3.1 สารเคมี	48
3.2 อุปกรณ์	49
3.3 วิธีการวิจัย	52
4. ผลการทดลองและวิจารณ์	58
ส่วนที่ 1 รายงานผลตามขอบเขตงานวิจัยโดยใช้ Coumarone resin และแป้งข้าวเหนียว เจลลาตินซ์ เป็นส่วนผสมร่วมในกาวน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซค์	
4.1 การวิเคราะห์สมบัติของยางธรรมชาติอีพอกไซค์	58
	(11)

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 การเตรียมสารเพิ่มการยึดติด	64
4.3 การเตรียมกาวยาง	65
4.4 การทดสอบคุณสมบัติของกาว	80
4.5 การทดสอบความต้านแรงลอก	83
4.6 การทดสอบความต้านแรงเฉือน	86
4.7 การทดสอบความแข็งแรงของข้อต่อแบบนิ้วมือประสาน	90
4.8 การประเมินต้นทุนในการเตรียมกาวยาง	93
ส่วนที่ 2 การรายงานผลการศึกษาเพิ่มเติมนอกขอบเขตงานวิจัยโดยใช้ Petroleum resin, Terpene phenolic resin, และ ชัน (Dammar) เป็นส่วนผสมร่วมในกาวน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซค์	
4.9 สมบัติของน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซค์ต่อระยะเวลาการเก็บ	96
4.10 สารเพิ่มการยึดติด	97
4.11 กาวยางธรรมชาติอีพอกไซค์และสารตัวเติม	98
4.12 การทดสอบคุณสมบัติของกาว	102
4.13 การทดสอบความต้านแรงลอก	104
4.14 การทดสอบความต้านแรงเฉือน	106
5. สรุปผลการทดลอง	109
ข้อเสนอแนะ	111
เอกสารอ้างอิง	112
ภาคผนวก	
ก. บทความสำหรับการเผยแพร่และกิจกรรมที่เกี่ยวข้อง	116
ข. ตารางเปรียบเทียบวัสดุประสงค์	117
ค. คุณลักษณะทางฟิสิกส์ของกาวชนิดต่างๆ	124
ง. ผลการทดสอบคุณสมบัติของกาว	127

รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
1 องค์ประกอบของน้ำยางธรรมชาติ	5
2 ชนิดของน้ำยางและระบบการรักษาสภาพน้ำยางขึ้นที่ผลิตโดยวิธีการปั่น	8
3 การใช้สารอีพอกไซด์แต่ละชนิดในปฏิกิริยาออกซิเดชัน	14
4 เปอร์เซ็นต์การบวมพองของยางในของเหลวชนิดต่างๆ	19
5 ตัวอย่างสูตรกาวน้ำยางประเภทกาวฉีกของจดหมาย	26
6 ตัวอย่างสูตรกาวสารละลาย	27
7 ชนิดของเรซิน	37
8 อัตราส่วนของสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	53
9 อัตราส่วนของสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมกาวยางสูตรพื้นฐาน	56
10 อัตราส่วนของสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมกาวยางสูตรปรับปรุง	58
11 ตำแหน่งของหมู่ฟังก์ชันของยางธรรมชาติอีพอกไซด์	59
12 อัตราส่วนการดูดกลืนและปริมาณหมู่อีพอกไซด์ของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่วิเคราะห์โดยเทคนิค FT-IR และเทคนิค ¹ H-NMR	62
13 กาวสูตรต่างๆ โดยปรับเปลี่ยนเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและปริมาณของแป้งข้าวเหนียวเจลาตินในซ์	66
14 ผลของความต้านแรงเฉือนในกาวสูตรต่างๆ เมื่อใช้คิวมาโรนอีมีลชัน 8 phr เป็นสารเพิ่มการยึดติด โดยปรับเปลี่ยนค่าความเป็นกรด-ด่างในสูตรกาวพื้นฐาน	69
15 กาวสูตรต่างๆ โดยปรับเปลี่ยนชนิดและปริมาณของสารเพิ่มการยึดติดในสูตรกาวพื้นฐาน (แสดงในรูปน้ำหนักเปียก (กรัม) และน้ำหนักแห้ง (phr))	71
16 ต้นทุนในการเตรียมน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์	94
17 ต้นทุนในการเตรียม 22% คิวมาโรนอีมีลชัน	94
18 ต้นทุนในการเตรียมกาวยางผสมคิวมาโรนอีมีลชัน 8 phr	95
19 สมบัติของน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ต่อระยะเวลาการเก็บ	96
20 กาวยางสูตรปรับปรุงโดยปรับเปลี่ยนชนิด และปริมาณของสารเพิ่มการยึดติด	99
21 สัญลักษณ์หมายเลขแทนชนิดของกาว	102
22 กาวยาง (ตามมอก.521-2527)	124
23 กาวเรซินสังเคราะห์ (ฟีนอลิกและอะมีโนพลาสติก) สำหรับไม้ (ตามมอก.360-2523)	125

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
24 กาวโพลีไวนิลอะซิเตดอิมัลชัน (ตามมอก.181-2530)	126
25 ผลการทดสอบคุณสมบัติกาวก่อนใช้งาน	127
26 ผลการทดสอบคุณสมบัติกาวหลังใช้งาน	128

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบที่	หน้า
1 โครงสร้างของน้ำยางธรรมชาติ	6
2 โครงสร้างของยางธรรมชาติอีพอกไซด์	12
3 ปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันโดยใช้กรดเปอร์ฟอร์มิกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	14
4 ปฏิกิริยาการเปิดวงแหวนอีพอกไซด์	15
5 ปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันโดยการใช้อกรดเปอร์ฟอร์มิก	16
6 การคำนวณการจัดเรียงหมู่อีพอกไซด์แบบสุ่มของยางธรรมชาติอีพอกไซด์	17
7 การเปลี่ยนแปลงของค่าอุณหภูมิกลายแก้วต่อปริมาณเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซด์	18
8 ¹³ C-NMR สเปกตรัมของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ 30 เปอร์เซ็นต์โมล	20
9 ¹ H-NMR สเปกตรัมของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ 50 เปอร์เซ็นต์โมล	21
10 กราฟมาตรฐานเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซด์ของยางธรรมชาติอีพอกไซด์จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR	22
11 ขนาดและลักษณะชั้นทดสอบความต้านแรงลอก	30
12 ขนาดและลักษณะชั้นทดสอบความต้านแรงเฉือน	31
13 ปากจับชั้นทดสอบความต้านแรงเฉือน	32
14 ขนาดของชั้นทดสอบและการทดสอบการดึงขนานเลื่อน	33
15 ตัวอย่างชั้นทดสอบและตำแหน่งที่ใช้ทดสอบการคัดสติดัย	35
16 โครงสร้างโมเลกุลของ Abietic acid	37
17 โครงสร้างเคมีของ Indene และ Coumarone	38
18 ปฏิกิริยาการเกิดเรซินชนิด Novolak	40
19 โครงสร้างของเรซินฟีนอลิกชนิด Novolak ที่ปรับปรุงด้วยหมู่อัลคิล	40
20 แบบจำลองโครงสร้างกรานูลของแป้ง	41
21 สูตรโครงสร้างทางเคมีของอะไมโลส ซึ่งเชื่อมต่อด้วยพันธะ α -1,4 และอะไมโลเพกติน ที่เชื่อมต่อกับอะไมโลสด้วยพันธะ α -1,6	42
22 การบวม การแตกตัว และการกระจายตัวของกรานูลแป้งขณะเกิดเจล	43
23 ชุดอุปกรณ์สำหรับเตรียมน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์	49
24 เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์	50

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
25 เครื่องดีฟเฟอร์เรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์	50
26 เครื่องทดสอบสมบัติด้านการดึง	51
27 เครื่องวัดความหนืด อาร์ วี บรูคฟิลด์	51
28 เครื่องหมุนเหวี่ยง	52
29 วิธีการเตรียมคิวมาโรนอิมัลชัน	55
30 ลักษณะน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซค์จากปฏิกิริยาอีพอกซิเคชัน โดยใช้กรดเปอร์ฟอร์มิก และลักษณะน้ำยางขึ้น	58
31 กราฟสเปกตรัมอินฟราเรดของยางธรรมชาติและยางธรรมชาติอีพอกไซค์ระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยา 6 ชั่วโมง	60
32 ¹ H-NMR สเปกตรัมของยางธรรมชาติอีพอกไซค์ระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยา 6 ชั่วโมง	61
33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซค์กับเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา	62
34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิคล้ายแก้วกับเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซค์ของยางธรรมชาติอีพอกไซค์	63
35 คิวมาโรน อินดิน เรซินในรูปอิมัลชันและแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์	64
36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซค์กับค่าความต้านแรงเหนียว	65
37 กาวยางสูตรพื้นฐานที่ใช้ 10% โดยน้ำหนักของแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์เป็นสารเพิ่มการยึดติดในปริมาณต่างๆ	67
38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกาวสูตรต่างๆ กับค่าความต้านแรงเหนียว	67
39 กาวยางที่ค่าความเป็นกรด-ด่างต่างๆ เมื่อใช้คิวมาโรนอิมัลชัน 8 phr เป็นสารเพิ่มการยึดติด	68
40 กราฟแสดงผลของความเป็นกรด-ด่างต่อความต้านแรงเหนียว	69
41 กาวยางธรรมชาติอีพอกไซค์ 44% โมลอีพอกไซค์ ผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 10% โดยน้ำหนัก : คิวมาโรนอิมัลชัน 22% โดย น้ำหนัก ที่ปริมาณต่างๆ	73
42 กราฟแสดงสเปกตรัมอินฟราเรดของกาว UF กาว TOA และกาวยาง	74
43 กราฟแสดงสเปกตรัมอินฟราเรดของแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ กาวยางและกาวยางที่ผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์	75

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
44 กราฟแสดงสเปกตรัมอินฟราเรดของคิวมาโรนอิมัลชัน กาวยางและกาวยางที่ผสม คิวมาโรนอิมัลชัน	76
45 กราฟแสดงขนาดอนุภาคเฉลี่ยของกาวยางชนิดต่างๆ	77
46 ภาพถ่ายขวางเลื่อยรูปทรงของไม้ยางพารา ก่อนและหลังขัดกระดาษทราย	78
47 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของกาวยางผสมคิวมาโรนอิมัลชัน 8 phr และกาวยางผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 8 phr ณ กำลังขยายต่างๆ	79
48 กราฟแสดงผลของชนิดกาวต่อปริมาณเนื้อกาว	80
49 กราฟแสดงผลของชนิดกาวต่อความหนาแน่น	80
50 กราฟแสดงผลของชนิดกาวต่อความหนืด	81
51 กราฟแสดงผลของชนิดกาวต่อความเป็นกรด-ด่าง	81
52 กราฟแสดงผลของชนิดกาวต่อความต้านแรงลอก	83
53 ลักษณะชั้นทดสอบภายหลังการทดสอบความต้านแรงลอก	84
54 กราฟแสดงผลของชนิดกาวต่อความต้านแรงเฉือน	87
55 ลักษณะของชั้นทดสอบภายหลังการทดสอบแรงเฉือน	89
56 กราฟแสดงผลของชนิดกาวต่อแรงดึงขนาบเสี้ยนสูงสุด	90
57 ลักษณะของชั้นทดสอบภายหลังการทดสอบแรงดึงขนาบเสี้ยนสูงสุด	90
58 กราฟแสดงผลของชนิดกาวต่อค่ามอดูลัสแตกร้าว	91
59 ลักษณะของชั้นทดสอบภายหลังการทดสอบการดัดสติลย์	92
60 ลักษณะ Petroleum resin	97
61 ลักษณะ Terpene phenolic resin	97
62 ลักษณะ ชัน (Dammar)	98
63 กาวยางโดยมีสารเพิ่มการยึดติด คือ Terpene phenolic resin และ Petroleum resin ที่ปริมาณต่างๆ	100
64 กาวยางโดยมีสารเพิ่มการยึดติดคือ ชัน ที่ปริมาณต่างๆ	101
65 กราฟแสดงผลของชนิดกาวต่อปริมาณเนื้อกาว	102
66 กราฟแสดงผลของชนิดกาวต่อความหนาแน่น	103
67 กราฟแสดงผลของชนิดกาวต่อความหนืด	103

รายการภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
68 กราฟแสดงผลของชนิดกาบต่อความเป็นกรด-ด่าง	104
69 กราฟแสดงผลของชนิดกาบต่อความต้านแรงลอก	105
70 กราฟแสดงผลของชนิดกาบต่อความต้านแรงเฉือน	107

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำต้นเรื่อง

ปัจจุบันกาที่ใช้ในอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพาราเป็นกาสังเคราะห์ที่นำเข้ามาจากต่างประเทศจำพวกกายูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์หรือกาไอโซไซยานเนต ซึ่งไอของฟอร์มัลดีไฮด์ หากสูดดมเข้าไปมากๆ อาจทำให้น้ำท่วมปอด แน่นหน้าอกและเสียชีวิตได้ในที่สุด [1] ในส่วนของกาไอโซไซยานเนต ไอของกาชนิดนี้จัดเป็นสารที่มีพิษต่อระบบหายใจทำให้หลอดลมหดเกร็งเช่นกัน [2] นอกจากนี้แล้วจากข้อมูลการผลิตกาจำพวกกายูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ ที่ผลิตจากบริษัทในประเทศไทยโดยนำเข้าเฉพาะสารเคมีหลักจากต่างประเทศ พบอัตราการผลิตในปี 2546 ประมาณ 86,000 ตันต่อปี (<http://www.thannews.th.com/detailNews>) โดยกายูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ที่ใช้สำหรับข้อต่อไม้ชนิดต่างๆมีราคาประมาณ 38 บาทต่อกิโลกรัม หากใช้ในการอัดประสานต้องการความแข็งแรงสูงราคากายูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ประมาณ 56 บาทต่อกิโลกรัม และใช้ร่วมกับ hardener ราคาประมาณ 181 บาทต่อกิโลกรัม (บริษัท National starch and chemical (Thailand) Ltd) ราคาขายเฉลี่ยของกาทั้งสองประเภทประมาณ 80 บาทต่อกิโลกรัม ดังนั้นราคาขายรวมเบื้องต้นประมาณ 6,880 ล้านบาทต่อปี โดยกาใช้งานส่วนใหญ่ของกาทั้ง 2 ชนิดคือใช้กับงานไม้ทั่วไป งานไม้ในโรงงานเฟอร์นิเจอร์ งานบรรจุภัณฑ์ที่ใช้กระดาษหนา รวมทั้งกล่องกระดาษต่างๆ ซึ่งมีมูลค่าของกาสูงดังนั้นเพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้เฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา เพื่อลดการสูญเสียเงินจากการนำเข้ากาหรือสารเคมีในการผลิตกาสำหรับติดไม้ยางพาราที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน และเพื่อหาแนวทางต่อสู้กับความก้าวหน้าของนักวิจัยต่างประเทศที่พยายามค้นคว้าวิจัยเพื่อหาทางสังเคราะห์ชนิดต่างๆ มาแทนกาใช้ยางธรรมชาติผู้วิจัยจึงขอเสนอโครงการวิจัยหัวข้อการพัฒนาการผลิตกาสำหรับใช้ในงานติดไม้ยางพาราจากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ โดยมีเป้าหมายที่จะส่งเสริมการนำน้ำยางธรรมชาติไปใช้ในการผลิตกาสำหรับใช้ในงานติดไม้ยางพารา โดยใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม นั่นคือ การเตรียมวัสดุกาจากน้ำยางธรรมชาติซึ่งหลีกเลี่ยงกาใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ Organic solvent เช่น โทลูอิน หรือ เฮกเซน ซึ่งสารเหล่านี้เป็นตัวก่อให้เกิดมลพิษ ประกอบกับในประเทศไทยโดยเฉพาะ 14 จังหวัดภาคใต้ น้ำยางพาราหาได้ง่ายและมีราคาถูก หากสามารถผลิตกาสำหรับติดไม้ยางพาราจากน้ำยางธรรมชาติจะช่วยให้น้ำยางธรรมชาติเป็นที่ต้องการในตลาดวัสดุกาต่อไปใน

อนาคตซึ่งเป็นผลดีต่อเศรษฐกิจของประเทศและชาวสวนยาง จากการคำนวณราคาต้นทุนต่อ 1 กิโลกรัมของสูตรกาวที่เสนอผลิตในงานวิจัยครั้งนี้โดยไม่รวมค่าใช้จ่ายด้านพลังงานและสารเพิ่มความเหนียวที่ใช้คือ Coumarone resin และแป้งข้าวเหนียว มีราคาประมาณ 200 บาทต่อ 1 กิโลกรัม โดยมีสัดส่วนการใช้น้ำยางธรรมชาติอยู่ 70 ส่วนต่อสารเคมี 30 ส่วนซึ่งหากแนวโน้มในการพัฒนาการผลิตกาวสำหรับใช้ในงานติดไม้ยางพารามีผลเป็นที่น่าพอใจประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับก็จะนำไปสู่ความสามารถในการเพิ่มมูลค่าของสินค้าทางการเกษตรกรรมของประเทศคือยางพารา และนำไปสู่ความก้าวหน้าเชิงวิชาการในด้านสารยึดติดที่ปราศจากตัวทำละลาย

แนวทางในการผลิตโดยกาวใช้น้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ ซึ่งเตรียมจากน้ำยางธรรมชาติโดยใช้กรดฟอร์มิกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการทำปฏิกิริยาอีพอกซิเคชัน (วัชรินทร์ สายน้ำใส 2545) ซึ่งทำให้เกิดวงแหวนอีพอกไซด์ (Epoxide rings) ในโมเลกุลยางธรรมชาติซึ่งวงแหวนอีพอกไซด์สามารถแตกออกได้ง่ายและเกิดอันตรกิริยาต่อได้ดีโดยเฉพาะกับหมู่ไฮดรอกซิลในโมเลกุลของแป้ง น้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่ได้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตกาวตามสูตรที่เลือกใช้ต่อไป

ผู้ทำวิจัยเสนอใช้น้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตกาวตาม โดยมี Coumarone resin และแป้งข้าวเหนียวเจลาติไนซ์ เป็นส่วนผสมร่วมซึ่งทำหน้าที่เพิ่มความแข็งแรงในการเกาะติดให้แก่กาว นำกาวที่เตรียมได้ทดสอบสมบัติกาวได้แก่ ปริมาณเนื้อกาว ความหนืด ความหนาแน่น และความเป็นกรด-ด่าง และทดสอบคุณภาพรอยต่อระหว่างกาวที่ผลิตได้กับข้อต่อไม้ยางพาราโดยทดสอบคุณภาพของรอยต่อด้วยการทดสอบความต้านแรงเฉือน (Shear strength) ความต้านแรงลอก (Cleavage peel strength) การดึงขนานเสี้ยน (Tension parallel to grain) และการคดสถิตย์ (Static bending) โดยมีปัจจัยและตัวแปรต่างๆที่ต้องการศึกษาตามวัตถุประสงค์และขอบเขตที่ได้กล่าวในลำดับต่อไป โดยในรายงานวิจัยฉบับนี้แบ่งการรายงานผลการวิจัยออกเป็น 2 ส่วนประกอบกันคือ ส่วนที่ 1 การรายงานผลตามขอบเขตของงานวิจัยโดยใช้ Coumarone resin และแป้งข้าวเหนียวเจลาติไนซ์ เป็นส่วนผสมร่วม ส่วนที่ 2 การรายงานผลการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อประโยชน์ของงานวิจัยโดยการใช้ Petroleum resin, Terpene phenolic resin, และ ชัน (Dammar) เป็นส่วนผสมร่วม

กล่าวโดยสรุปการวิจัยนี้ คือ การเตรียมน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์จากน้ำยางพาราสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบในการเตรียมกาวยางให้ได้คุณภาพตามมาตรฐาน เพื่อนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา และเพื่อเพิ่มความปลอดภัยให้กับผู้บริโภคในการใช้เฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพาราและเพิ่มมูลค่าให้กับน้ำยางพารา

1.2 วัตถุประสงค์

1. ให้ได้ผลิตภัณฑ์กาวจากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซค์สำหรับใช้ในงานติดไม้ยางพาราที่มีคุณสมบัติเชิงเคมี ฟิสิกส์ และเชิงกลตามมาตรฐานอุตสาหกรรมกาว โดยใช้สารเพิ่มความเหนียว Coumarone resin และ แป้งข้าวเหนียวเจลาตินในขั้นตอนการพัฒนาผลิตภัณฑ์กาว
2. ทดสอบคุณภาพเชิงเปรียบเทียบของรอยต่อไม้ยางพาราด้วยกาวที่ผลิตได้จากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซค์กับกาวที่ใช้ในโรงงานเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบสูตร และส่วนผสมในการผลิตกาวจากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซค์
2. ทราบประสิทธิภาพ และคุณสมบัติต่างๆ ของกาวที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับกาวที่ใช้ทั่วไปในอุตสาหกรรมไม้ยางพารา
3. ได้กาวจากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซค์สำหรับใช้ในงานติดไม้ยางพารา
4. ทราบผลการวิจัยเชิงเศรษฐศาสตร์
5. สามารถนำผลงานที่ได้เผยแพร่ต่อสาธารณชน

บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับน้ำยางธรรมชาติ

น้ำยางธรรมชาติเป็นยางไม้ที่ได้จากการกรีดต้นไม้ใหญ่ที่เรียกว่า ต้นยางพารา มีชื่อเรียกทางพฤกษศาสตร์ว่า *Hevea brasiliensis* และมีถิ่นฐานเดิมอยู่ในทวีปอเมริกาใต้ ในปัจจุบันนิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย เช่น อุตสาหกรรมถุงมือยาง อุตสาหกรรมยางรถยนต์ เป็นต้น ทั้งในรูปของน้ำยางสด น้ำยางข้นจากการรักษาสภาพ และยางดิบประเภทต่างๆ

2.1.1 สมบัติทั่วไปของน้ำยางธรรมชาติ [3]

เมื่อกรีดยางผ่านเปลือกของต้นยาง จะมีน้ำยางซึมออกมาเป็นของเหลวสีขาวขุ่น คล้ายน้ำมันหรือครีม กลิ่นหอมเล็กน้อย มีความหนาแน่นระหว่าง 0.975 ถึง 0.980 กรัมต่อมิลลิลิตร มีค่าความเป็นกรด-ด่างตั้งแต่ 6.5 ถึง 7.0 ความหนืดและส่วนประกอบต่างๆ ของน้ำยางจะเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น พันธุ์ยาง อายุของต้นยาง และฤดูกาลกรีด เป็นต้น เมื่อนำน้ำยางที่กรีดได้ไปตรวจสอบจะพบว่ามือนูภาคขนาดต่างๆ กันแขวนลอย (Dispersion) อยู่ในตัวกลางที่เป็นของเหลว นูภาคเหล่านี้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 5 ไมโครเมตร และมีประจุเป็นลบซึ่งผลักกันตลอดเวลา จึงทำให้นูภาคเหล่านี้สามารถแขวนลอย และคงสภาพเป็นของเหลวอยู่ได้นานจนกว่าจะมีปัจจัยต่างๆ มารบกวนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง สำหรับส่วนของสารที่เป็นตัวกลางนั้น โดยทั่วไปเรียกว่า เซรัม (Serum)

น้ำยางมีลักษณะเป็นสารละลายคอลลอยด์ (Colloid) ชนิดไฮโดรโซล (Hydrosol) หรือสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย แต่มีลักษณะพิเศษกว่าไฮโดรโซลทั่วไป คือ น้ำยางมีลักษณะกึ่งชอบน้ำ (Hydrophilic) คือ ลักษณะที่เป็นสารละลายได้ง่ายเมื่อมีน้ำเป็นตัวทำละลาย และไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) คือ ลักษณะที่ไม่ยอมรวมกับน้ำ แต่ลักษณะที่ไม่ชอบน้ำจะเด่นกว่า นอกจากนี้ น้ำยางยังประกอบด้วยส่วนที่ไม่ใช่ยาง ได้แก่ สารพวกโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และอนุผลของโลหะ เป็นต้น องค์ประกอบของน้ำยางจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงองค์ประกอบของน้ำยางธรรมชาติ [3]

องค์ประกอบของน้ำยาง	ปริมาณ (%โดยน้ำหนัก)
ส่วนที่เป็นเนื้อยาง	35
ส่วนที่ไม่ใช่เนื้อยาง	
-ส่วนที่เป็นน้ำหรือเซรัม	55
-ส่วนที่เป็นลูทอยด์ (Lutoid) และสารอื่นๆ	10

ส่วนที่เป็นเนื้อยาง

เป็นอนุภาคที่ประกอบด้วยสารไฮโดรคาร์บอนได้จากหน่วยไอโซพรีน (Isoprene) มาเชื่อมต่อกันแขนกลอยอยู่ในเซรัม อนุภาคยางมีทั้งทรงกลมและรีคล้ายลูกแพร์ และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.02-0.03 ไมครอน โมเลกุลมีขนาดใหญ่ไม่ละลายน้ำ และเมื่ออยู่ในสภาพน้ำยางสดผิวรอบอนุภาคจะถูกห่อหุ้มด้วยชั้นของสารจำพวกไขมันและโปรตีน นอกจากนี้ยังมีโลหะบางชนิด เช่น แมกนีเซียม โพแทสเซียม และทองแดง ปนอยู่ในส่วนของยางประมาณ 0.05% โดยน้ำหนัก

ส่วนที่ไม่ใช่ยาง

ส่วนที่เป็นน้ำหรือที่เรียกว่าเซรัมของยาง มีความหนาแน่นประมาณ 1.02 กรัมต่อมิลลิลิตร ประกอบด้วยสารต่างๆ ดังนี้

- คาร์โบไฮเดรต เป็นสารพวกแป้งและน้ำตาล สารเหล่านี้จะถูกเปลี่ยนแปลงเป็นกรดไขมันได้โดยแบคทีเรียหรือจุลินทรีย์ทำให้น้ำยางจับตัวเป็นก้อน

- โปรตีนและกรดอะมิโนที่สำคัญ ได้แก่ แอลฟาไกลูโบลิน และอีวีน ซึ่งแอลฟา-ไกลูโบลินพบมากในน้ำยางสดมีสมบัติไม่ละลายน้ำแต่ละลายในสารละลายของเกลือ กรดและด่าง สำหรับอีวีนมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำประมาณ 10,000 และสามารถละลายน้ำได้ สารพวกโปรตีนประมาณครึ่งหนึ่งละลายอยู่ในส่วนที่เป็นน้ำ อีกครึ่งหนึ่งเ็นที่ถูกดูดซับอยู่รอบๆ ผิวนอกของอนุภาคยางและที่เหลือปะปนอยู่ในส่วนของลูทอยด์

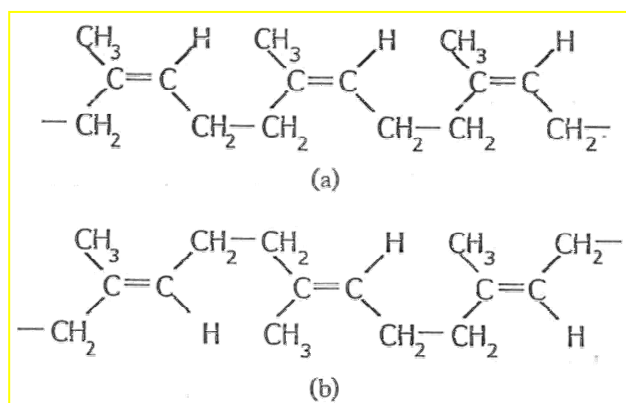
- ลูทอยด์ (Lutoid) หรือวิสคอยด์ (Viscoid) ในน้ำยางมีลักษณะเป็นอนุภาคทรงกลมมีเยื่อหุ้มห่ออยู่ภายในเยื่อประกอบด้วยสารละลายพวกกรด กรดเกลือ โปรตีน น้ำตาล และโพลีฟีนอลออกซิเดส (Polyphenoloxidase) มีผลต่อความหนืด และความเสถียรของน้ำยางสดลูทอยด์มีสมบัติการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่าย ดังนั้นการเติมน้ำลงในน้ำยางมีผลทำให้ลูทอยด์เกิดการบวมตัวและแตกออกซึ่งเป็นผลให้ของเหลวภายในลูทอยด์ออกมาอยู่ในส่วนของเซรัม ทำให้น้ำยางมีความหนืดเพิ่มขึ้น นอกจากจะมีสารพวกลูทอยด์แล้วยังมีสารอีกประเภทหนึ่ง เรียกว่า อนุภาค

เฟรย์-วิสลิง (Frey wyssling) ซึ่งมีลักษณะกลม สีเหลืองเข้ม และมีอนุภาคใหญ่กว่าอนุภาคยาง มีสารคาโรทีนอยด์ (Carotinoid) ซึ่งเป็นตัวทำให้เกิดสีเหลือง น้ำยางชั้นที่ได้จากการหมุนเหวี่ยงโดยการเติมแอมโมเนียจะไม่พบอนุภาคเฟรย์-วิสลิงอยู่ด้วย อาจเป็นเพราะอนุภาคเหล่านี้ถูกแยกออกจากยางและละลายอยู่ในส่วนของเซรัม

2.1.2 โครงสร้างทางเคมีของน้ำยางธรรมชาติ

น้ำยางธรรมชาติเป็นสารประกอบที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ มีชื่อทางเคมีว่า โพลีไอโซพรีน (Polyisoprene) ซึ่งได้จากหน่วยของไอโซพรีนต่อกันแบบหัวต่อหาง แต่ละหน่วยไอโซพรีนประกอบด้วยธาตุคาร์บอน 5 อะตอม และไฮโดรเจน 8 อะตอม มีสูตรเคมี คือ $(C_5H_8)_n$

การเชื่อมต่อกันเป็นโมเลกุลนั้นอาจเชื่อมได้ 2 แบบ คือ แบบซิส (cis-form) และแบบทรานส์ (trans-form) ซึ่งมีสูตรโครงสร้าง ดังนี้



(a) cis-1,4 Polyisoprene

(b) trans-1,4 Polyisoprene

ภาพประกอบที่ 1 แสดงโครงสร้างของน้ำยางธรรมชาติ [4]

ยางพาราประกอบด้วยสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างเกือบทั้งหมด (ประมาณ 97%) เป็น cis-1,4 ดังนั้นชื่อทางเคมีที่แท้จริงของยางพารา คือ cis-1,4 Polyisoprene สำหรับยางกัตตาเปอร์ชา (Gutta-percha) หรือยางบาลาด้า (Balata) มีโครงสร้างเป็น trans-1,4 Polyisoprene ยางกัตตาเปอร์ชามีปลูกอยู่ในประเทศมาเลเซีย ส่วนยางบาลาด้ามีปลูกอยู่ตามชายฝั่งตะวันออกเฉียงเหนือของทวีปอเมริกาใต้และประเทศอินโดเนเซีย ในทางการค้าไม่ค่อยมีความสำคัญมีการใช้งานน้อยซึ่งแต่เดิมใช้ทำสายเคเบิลได้น้ำ ในปัจจุบันใช้หุ้มลูกกอล์ฟและทำกาวยพิเศษบางชนิดเท่านั้น ทั้งนี้เพราะน้ำยางแข็งตัวเร็วมากในอากาศ [3]

2.1.3 การรักษาสภาพน้ำยางธรรมชาติ [5]

น้ำยางสด (Field latex) ที่ได้จากต้น เมื่อทิ้งไว้ส่วนที่เป็นน้ำจะค่อยๆ ระเหยไปทำให้น้ำยางข้นขึ้น หรือถ้าน้ำยางถูกรบกวนจนทำให้สารที่ห่อหุ้มเม็ดยางแตกออก เม็ดยางจะจับตัวเป็นก้อนเล็กๆ ที่เรียกว่า เม็ดพริก และถ้าแตกออกมากก็จะจับตัวเป็นก้อนใหญ่ นอกจากนี้ถ้าใส่กรดลงไปจะช่วยให้ยางจับตัวเป็นก้อนเร็วขึ้น เพราะฉะนั้นถ้าไม่เติมสารเคมีเพื่อป้องกันการจับตัวของเม็ดยางแล้วน้ำยางสดจะคงสภาพอยู่ได้ไม่เกิน 3 ชั่วโมง ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการจับตัว คือ ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นในน้ำยาง อุณหภูมิ และสมบัติความคงตัวของน้ำยางแต่ละพันธุ์ ซึ่งสัมพันธ์กับธาตุโลหะที่มีอยู่ในน้ำยางและลูทอยด์ที่แตกออกเนื่องมาจากการกรีดต้นยาง เมื่อน้ำยางเสียสภาพจะเกิดการแยกออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นเนื้อยางกับส่วนที่เป็นขรุ้ม ซึ่งภายหลังจะเกิดการบูดเน่าและมีกลิ่นเหม็น เพราะฉะนั้นสิ่งสำคัญที่ควรกระทำ คือ ภายหลังจากที่ได้น้ำยางจากการกรีดมาแล้วภายใน 2-3 ชั่วโมง ต้องรีบเติมสารรักษาสภาพน้ำยางลงในน้ำยางเพื่อควบคุมการเกิดกรดไขมันทำให้น้ำยางคงสภาพเป็นของเหลวอยู่เสมอ สารเคมีที่ใช้รักษาสภาพน้ำยางมีหลายชนิด ได้แก่ แอมโมเนีย ฟอสเฟต คอสติโกโซดา โซเดียมไบซัลไฟต์ โพร์มาลดีไฮด์กับบอเรต และออกซาลเรต เป็นต้น การใช้แอมโมเนียมีข้อดี คือ สามารถเติมในน้ำยางได้ง่าย และไล่ออกจากน้ำยางได้ง่ายเช่นกัน

การเก็บรักษาสภาพน้ำยาง มี 2 ประการ คือ

1. เก็บรักษาในระยะสั้น (Short-term preservation) วัตถุประสงค์ คือ เพื่อรักษาสภาพน้ำยางให้คงเป็นของเหลวในช่วง 2-3 วัน ก่อนที่จะนำไปทำยางแท่งชนิดต่างๆ หรือก่อนที่จะทำเป็นน้ำยางข้น สารที่ใช้ เรียกว่า สารป้องกันน้ำยางจับตัว (Anticoagulant)
2. เก็บรักษาในระยะยาว (Long-term preservation) ส่วนใหญ่มีวัตถุประสงค์ คือ เพื่อคงสภาพน้ำยางให้อยู่ในสภาพของน้ำยางข้น ในช่วงที่เก็บอยู่ในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางสำเร็จรูปหรือรอการส่งน้ำยางข้นไปจำหน่ายต่างประเทศ ซึ่งควรเก็บไว้ได้นาน้อย 1 เดือน สารเคมีที่ใช้รักษาสภาพน้ำยางข้นให้เป็นของเหลวอยู่ได้นานๆ เรียกว่า สารรักษาสภาพน้ำยาง (Preservatives) สำหรับน้ำยางข้นที่ใช้แอมโมเนียเพียงอย่างเดียวเพื่อรักษาสภาพน้ำยางจะต้องใช้ปริมาณแอมโมเนียสูงถึง 0.7% โดยน้ำหนัก น้ำยางชนิดนี้ เรียกว่า HA latex (High Ammonia latex) ส่วนน้ำยางที่ใช้แอมโมเนียเล็กน้อยประมาณ 0.2% โดยน้ำหนัก รวมกับสารช่วยอื่นๆ เรียกว่า LA latex (Low Ammonia latex) ตัวอย่างชนิดของน้ำยางและระบบการรักษาสภาพน้ำยางข้นที่ผลิตโดยวิธีการปั่นแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงชนิดของน้ำยางและระบบการรักษาสภาพน้ำยางข้นที่ผลิตโดยวิธีการปั่น [5]

ชนิดของน้ำยาง	ระบบการรักษาสภาพน้ำยางข้น
HA	0.7% โดยน้ำหนักของแอมโมเนีย
LA-SPP	0.2% โดยน้ำหนักของแอมโมเนีย + 0.2% โดยน้ำหนักของโซเดียมเพนตะคลอโรฟีนีต
LA-BA	0.2% โดยน้ำหนักของแอมโมเนีย + 0.2% โดยน้ำหนักของกรดบอริก + 0.05% โดยน้ำหนักของกรดลอริก
LA-ZDC	0.2% โดยน้ำหนักของแอมโมเนีย + 0.1% โดยน้ำหนักของซิงค์ไดเอทิลไดไซโอคาร์บาริเมต + 0.05% โดยน้ำหนักของกรดลอริก
LA-TZ	0.2% โดยน้ำหนักของแอมโมเนีย + 0.013% โดยน้ำหนักของเตตระเมทิลไฮยูเรมไดซัลไฟด์ (TMTD) + 0.13% โดยน้ำหนักของซิงค์ออกไซด์ + 0.05% โดยน้ำหนักของกรดลอริก

หมายเหตุ สารเคมีที่เติมคิดโดยสัดส่วนน้ำหนัก/น้ำหนักยางทั้งหมด

2.1.4 น้ำยางข้น (Concentrated latex)

น้ำยางสดจากต้นยังไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ในงานอุตสาหกรรม เนื่องจากมีปริมาณน้ำยางต่ำ ดังนั้นจึงมีการผลิตน้ำยางข้นเพื่อแยกส่วนที่ไม่ใช่น้ำยางออกไป ทำให้มีเนื้อยางเพิ่มสูงขึ้นและง่ายต่อการเก็บรักษา

น้ำยางข้น หมายถึง น้ำยางที่ผ่านการกำจัดน้ำออกไปบางส่วน เพื่อให้มีเนื้อยางแห้งเพิ่มขึ้นเป็น 60% โดยน้ำหนัก ซึ่งจากเดิมมีเนื้อยางแห้งอยู่เพียง 30-40% โดยน้ำหนัก ปัจจุบันความต้องการน้ำยางข้นเพิ่มมากขึ้น จึงได้ปรับปรุงวิธีการผลิตน้ำยางข้นให้มีสมบัติที่ดีขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่ใช้น้ำยางข้นเป็นวัตถุดิบ ได้แก่ ผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม (Dipping) แบบหล่อ (Casting) แบบพ่น (Spraying) และแบบใช้แม่แบบ (Molding) เป็นต้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำยางข้น ได้แก่ ถุงมือ ลูกโป่ง และกาว เป็นต้น

การผลิตน้ำยางข้นแบ่งออกเป็น 4 วิธี คือ

1. วิธีทำให้เกิดครีม (Creaming)
2. วิธีการปั่นโดยเครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuging machine)
3. วิธีทำให้น้ำระเหย (Evaporation)
4. วิธีการแยกด้วยไฟฟ้า (Electrodecantation)

2.1.4.1 วิธีทำให้เกิดครีม (Creaming)

เป็นวิธีเก่าแก่ที่สุดในการผลิตน้ำยางข้น โดยทำให้ส่วนที่เป็นยางลอยตัวแยกออกจากน้ำหรือใช้สารที่ทำให้เกิดครีม (Creaming agent) เติมลงในน้ำยางสดที่ผสมแอมโมเนีย (เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำยางจับตัวเป็นก้อน) สารพวกนี้ได้แก่ โซเดียมอัลกิเนตหรือแอมโมเนียมอัลกิเนต (Sodium alginate or ammonium alginate) แล้วกวนให้เข้ากันยางตั้งทิ้งไว้ประมาณ 10-12 วัน ส่วนที่เป็นยางจะลอยขึ้นมารวมกันอยู่ทางตอนบนของส่วนที่เป็นน้ำ ดังนั้นน้ำยางจะแยกเป็น 2 ชั้น ชั้นล่างเป็นน้ำซึ่งมีส่วนที่เป็นยางเพียงเล็กน้อย ส่วนชั้นบนเป็นครีมซึ่งมีปริมาณเนื้อยางสูงประกอบด้วยปริมาณของแข็ง (Total Solid Content, TSC) ประมาณ 61.5% โดยน้ำหนัก (ซึ่งมีเนื้อยางแห้งอยู่ประมาณ 60% โดยน้ำหนัก) น้ำที่อยู่ตอนล่างสามารถระบายออกโดยเหลือน้ำยางตอนบนไว้ หลังจากนั้นให้เติมแอมโมเนียลงไปอีกครั้งเพื่อรักษาสภาพน้ำยางข้นแต่วิธีนี้ไม่นิยมทำกัน เพราะยุ่งยากและสิ้นเปลืองเวลา

2.1.4.2 วิธีการปั่นโดยเครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuging machine)

เป็นวิธีที่นิยมใช้มากในปัจจุบัน น้ำยางข้นที่ได้สามารถนำไปทำผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปได้แทบทุกชนิด เครื่องหมุนเหวี่ยงที่ใช้ เรียกว่า Latex separator หรือ Latex concentrator เป็นการหมุนเหวี่ยงเพื่อแยกยางที่เบากว่า (ความถ่วงจำเพาะ 0.92) ออกจากของเหลวที่หนักกว่า (ความถ่วงจำเพาะ 1.02) โดยน้ำยางสดที่ใส่แอมโมเนียมาแล้วจะไหลผ่านท่อเข้าไปในถ้วยปั่นแยกและถูกเหวี่ยงโดยการหมุนด้วยความเร็ว 7,000-8,000 รอบต่อนาที โดยวิธีนี้สารจะถูกแยกออกเป็น 2 ทาง ทางหนึ่งเป็นน้ำยางข้นจะถูกเหวี่ยงขึ้นข้างบน และไหลออกตามช่องทางตอนบนของเครื่องที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดประมาณ 61.5% โดยน้ำหนัก (เป็นเนื้อยางแห้ง 60% โดยน้ำหนัก) ส่วนอีกทางหนึ่งอยู่ด้านล่างเป็นน้ำยางที่มีเนื้อยางแห้งปนอยู่เพียง 3-5% โดยน้ำหนัก เรียกว่า หางน้ำยาง (Skim latex)

การผลิตน้ำยางข้นโดยวิธีการปั่นเป็นวิธีที่นิยมและทำกันเป็นการค้ามากที่สุด ส่วนวิธีอื่นๆ จำกัดการใช้ เพราะเป็นวิธีที่ค่อนข้างยุ่งยาก สิ้นเปลืองเวลา จึงไม่ค่อยนิยมทำเป็นการค้า

2.1.4.3 วิธีทำให้น้ำระเหย (Evaporation)

น้ำยางข้นจากวิธีนี้ มีสมบัติแตกต่างจากวิธีใช้เครื่องหมุนเหวี่ยง วิธีทำเป็นเพียงการระเหยเอาน้ำออกจากน้ำยางสดเพียงอย่างเดียวเท่านั้น จึงต้องเติมสารที่ทำให้น้ำยางคงตัวและไม่ระเหิดไป ได้แก่ สารจำพวกสบู่ และป้องกันไม่ให้น้ำยางที่บริเวณผิวหน้าหรือบริเวณที่มีการระเหยน้ำเกิดการจับตัว การผลิตทำโดยการกรองน้ำยางตามปกติพร้อมทั้งเติมสารที่ทำให้น้ำคงตัวลงไป เช่น สบู่โปแตสเซียมจากน้ำมันมะพร้าว (Potassium coconut oil soap) ปริมาณ 2% โดยน้ำหนักหลังจาก

นั้นทำให้น้ำระเหยด้วยความร้อน โดยผ่านน้ำร้อนเข้าไปในถัง 2 ชั้น ที่มีน้ำยางอยู่ภายใน ขณะที่ถึงบรรจุน้ำยางหมุ่นไปรอบๆ นั้นอากาศภายในถังจะถูกดูดออกไปพร้อมกับพาน้ำที่ระเหยออกจากน้ำยางออกไปให้เร็วที่สุด วิธีนี้จะได้น้ำยางชั้นที่มีปริมาณของแข็งรวมทั้งหมด 70-75% โดยน้ำหนัก น้ำยางชั้นที่ได้มีความคงตัวสูงมากสามารถนำไปใช้ประโยชน์โดยการผสมกับสารที่มีความหนืดสูง เช่น การทำกาว ซีเมนต์ราดถนน เป็นต้น

2.1.4.4 วิธีการแยกด้วยไฟฟ้า (Electrodecantation)

น้ำยางสดเป็นของเหลวที่มีอนุภาคของยางแขวนลอยอยู่ในของเหลวที่เป็นตัวกลาง การเคลื่อนไหวของอนุภาคเหล่านี้จะเกิดอย่างต่อเนื่องตามประจุไฟฟ้าที่มีอยู่ เนื่องจากอนุภาคของยางมีประจุลบจึงวิ่งเข้าหาขั้วบวกตลอดเวลา

วิธีการแยกน้ำยางด้วยไฟฟ้านี้ทำโดยการผ่านกระแสไฟฟ้าลงไปในน้ำยาง ทำให้เกิดความต่างศักย์ภายในเซลล์อนุภาคของยางจะวิ่งเข้าหาจากซึ่งเป็นขั้วบวกที่อยู่ใกล้ที่สุด ทำให้อนุภาคยางอยู่รวมตัวกันหนาแน่นจนเกิดเป็นน้ำยางข้นขึ้น นอกจากนี้อนุภาคยางสามารถลอยตัวขึ้นสู่ข้างบน ซึ่งสามารถช้อนเอาน้ำยางข้นส่วนนี้ออกจากถังได้ วิธีนี้จะได้น้ำยางชั้นที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมด 62-63% โดยน้ำหนัก และเนื้อยางแห้ง 60% โดยน้ำหนัก หลังจากนั้นจึงเก็บรักษาโดยการเติมแอมโมเนีย 0.7% โดยน้ำหนักลงในน้ำยาง

2.1.5 การเตรียมสารเพื่อใช้น้ำยาง

สารจำเป็นต่างๆ ที่จะต้องผสมลงในน้ำยางเพื่อการผลิตวัตถุสำเร็จรูปต่างๆ นั้น จำเป็นต้องทำให้อยู่ในสถานะของเหลวเสียก่อน เช่น ทำเป็นสารละลาย ดิสเพิซชันหรืออิมัลชัน (Aqueous solutions, dispersion or emulsions) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของสารนั้นๆ ว่าเป็นพวกของแข็งที่ละลายน้ำได้หรือไม่ หรือเป็นของเหลวที่ไม่ละลายในน้ำ โดยยกเว้นกรณีพิเศษสำหรับสารเพิ่มบางชนิดที่สามารถผสมในสถานะของแข็งลงในน้ำยางที่จะทำเป็นยางฟองน้ำ และการเติมพวกพลาสติกไซเซอร์ชนิดเอสเตอร์ลงในน้ำยางโพลีไวนิลอะซิเตต [3]

หลักการสำคัญในการพิจารณาเติมสารละลายดิสเพิซชัน และอิมัลชันลงในน้ำยางมีดังนี้คือ

1. ขนาดของอนุภาคสารที่กระจายในดิสเพิซชันและขนาดของของเหลวในอิมัลชันจะต้องเล็กพอๆ กับขนาดของอนุภาคในน้ำยางที่ใช้ อย่างไรก็ตามหลักการพิจารณาข้อนี้ขึ้นอยู่กับ การแปรูปน้ำยางเป็นผลผลิตว่าต้องการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์อะไร เช่น การผลิตยางฟองน้ำ ยางใช้อนุภาคสารที่มีขนาดใหญ่กว่ากรณีการผลิตผลิตภัณฑ์ประเภทจุ่มแบบพิมพ์ได้

2. ระบบความคงตัวของดิสเพิซชัน และอิมัลชันควรเหมือนกับระบบความคงตัวของน้ำยางที่ใช้ มิฉะนั้นแล้วอาจเกิดปัญหามีปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดผลน้ำยางจับตัวได้

3. ควรปรับระดับความเป็นกรด-ด่างของสารละลายดิสเพิซชัน และอิมัลชันให้เท่ากับระดับความเป็นกรด-ด่างของน้ำยางที่ใช้

2.1.5.1 การเตรียมสารละลาย

1. สารเร่งปฏิกิริยาลดคาไนซ์ที่ละลายน้ำได้

ในการเตรียมสารเร่งปฏิกิริยาลดคาไนซ์ที่ละลายน้ำได้ มักเกิดปัญหาเกี่ยวกับสารนี้ละลายน้ำได้ไม่ดี และการละลายขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ เช่น โพเพอริดีเนียม เพนตะเมทิลีน ไดไทโอคาบาเมต นอกจากนี้ยังมีปัญหาเกี่ยวกับการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส เช่น พวกโซเดียมเมอเคพโทเบนซไทอาโซล ซึ่งเมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสดังกล่าวนี้แล้วสารละลายจะมีลักษณะขุ่นและตกตะกอน อีกทั้งยังทำให้ความว่องไวของสารนี้ลดลงด้วย

2. ไฮโดรคอลลอยด์

ใช้ในงานน้ำยางเพื่อปรับความหนืดหรือรักษาความคงตัวของน้ำยาง หรือส่งเสริมลักษณะครีม เป็นต้น การเตรียมสารละลายจากไฮโดรคอลลอยด์ เพื่อให้ได้สารละลายที่มีสถานะการละลายสม่ำเสมอดีนั้นมีความยุ่งยากมาก

2.1.5.2 การเตรียมดิสเพิชั่น

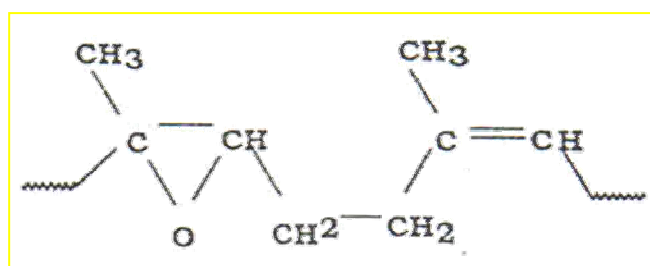
โดยทั่วไปวิธีการเตรียมดิสเพิชั่นสำหรับใช้งานน้ำยาง ขั้นแรกคือการผสมสารผงกับน้ำและใส่ตัวการทำให้เกิดดิสเพิชั่น และตัวการทำให้เกิดความคงตัวปริมาณเล็กน้อย จากนั้นจึงบดของผสมนี้ด้วยเครื่องบด เพื่อให้บดย่อยอนุภาคของสาร

เครื่องมือที่ใช้บดย่อยอนุภาคของสารแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. ประเภทที่บดย่อยสารอนุภาคเล็กละเอียดที่เกาะกันอยู่ แต่จะไม่บดย่อยสารอนุภาคขนาดใหญ่ เครื่องประเภทนี้เรียกว่า คอลลอยด์มิล (Colloid mills) ใช้เตรียมดิสเพิชั่นของสารพวกซิงค์ออกไซด์
2. ประเภทที่บดย่อยสารอนุภาคขนาดใหญ่ หรืออนุภาคที่เกาะกันแน่น เครื่องประเภทนี้ได้แก่ บอลและเพบเบิลมิล อุลตราโซนิกมิล และแอททริชันมิล (Ball and Pebble mills Ultrasonic mills and Attrition mills) ใช้เตรียมดิสเพิชั่นของสารพวกซัลเฟอร์ สารเร่งปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน เป็นต้น

2.2 ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (Epoxidized Natural Rubber, ENR)

น้ำยางธรรมชาติเป็นพอลิเมอร์ที่มีสมบัติชอบน้ำมัน (Hydrophobicity) แต่ในการผลิตกาซึ่งใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย ทำให้สารเคมีที่ใช้กับน้ำยางพาราผสมเข้ากันได้ไม่ดี จึงต้องแก้ไขข้อด้อยนี้ด้วยการดัดแปลงโมเลกุลของยางธรรมชาติให้มีลักษณะชอบน้ำมากขึ้น โดยการเพิ่มหมู่ฟังก์ชันทางเคมีที่มีสภาพขั้วในโมเลกุลจากการทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน เพื่อให้ได้เป็นยางธรรมชาติอีพอกไซด์ น้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่ได้จะสามารถผสมกับสารเคมีได้เข้ากันดีขึ้น และวงแหวนอีพอกไซด์สามารถเกิดอัตรกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลในโมเลกุลของไม้ ซึ่งเป็นการเพิ่มความแข็งแรงในการยึดติดระหว่างกากับไม้



ภาพประกอบที่ 2 แสดงโครงสร้างของยางธรรมชาติอีพอกไซด์

2.2.1 ลักษณะทางเคมีของปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน [7]

ยางธรรมชาติอีพอกไซด์เตรียมโดยการดัดแปลงโมเลกุลยางธรรมชาติจากการทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี ดังนี้

สภาวะสารละลาย (Solution state)

โดยใช้กรดเปอร์เบนโซอิก (Perbenzoic acid) กรดเปอร์ฟะทาลิก (Perphthalic acid) หรือสารละลายของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์กับกรดอะซิติกที่มีกรดพาราโทลูอินซัลโฟนิก เป็นสารเร่งปฏิกิริยา

สภาวะน้ำยาง (Latex state)

โดยทั่วไปนิยมใช้เปอร์แอซิดเป็นสารที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เปอร์แอซิดที่ใช้ คือ กรดเปอร์อะซิติก และกรดเปอร์ฟอร์มิก ทั้งนี้เนื่องจากการใช้เปอร์แอซิดจะให้ปริมาณหมู่อีพอกไซด์ค่อนข้างสูงภายใต้สภาวะของการทำปฏิกิริยาและปริมาณสารเคมีที่เหมาะสม การทำปฏิกิริยาออกซิเดชันในสภาวะน้ำยางนี้จะมีความสะดวก ปลอดภัยจากตัวทำละลาย ประหยัดและเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงจากการเป็ดวงแหวนอีพอกไซด์ค่อนข้างน้อย จึงนิยมใช้วิธีการนี้มากกว่า

การใช้สารอีพอกไซด์แต่ละชนิดในปฏิกิริยาออกซิเดชัน รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 3 [8] โดยวิธีการใช้สารอีพอกไซด์ที่นิยมมีดังนี้ คือ

1. ใช้เปอร์ออกไซด์และไฮโดรเปอร์ออกไซด์

เบนโซิลเปอร์ออกไซด์ใช้เป็นสารอีพอกไซด์พวกพอลิไอโซพรีน ในกรณีของพอลิบิวตะไดอินใช้ *t*-butylhydroperoxide เป็นสารอีพอกไซด์ แต่สารพวกเปอร์แอซิดเป็นสารอีพอกไซด์ที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าพวกเปอร์ออกไซด์

2. ใช้เปอร์แอซิดโดยตรง

เปอร์แอซิดเป็นสารอีพอกไซด์สำหรับยางไดอิน ในสภาวะสารละลายและสภาวะน้ำยาง เช่น กรดเปอร์เบนโซอิกเป็นสารอีพอกไซด์ของพอลิไอโซพรีนและพอลิบิวตะไดอิน

3. ใช้เปอร์แอซิดโดยที่เตรียม In situ

3.1 กรดอะซิติกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เป็นกรดเปอร์อะซิติกที่อุณหภูมิสูงกว่า 40 องศาเซลเซียส และ 60 องศาเซลเซียส เมื่อทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่ำจะใช้สารเร่งปฏิกิริยา เช่น *p*-toluenesulfonic acid

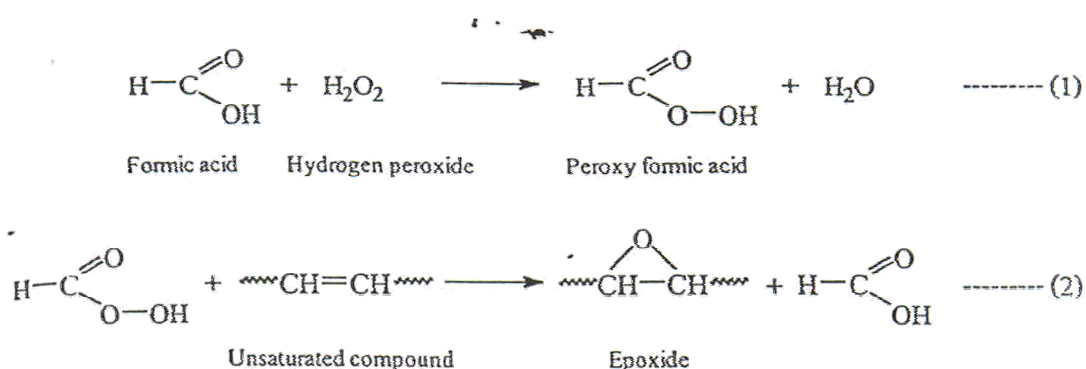
3.2 กรดฟอร์มิกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เป็นสารอีพอกไซด์พวกพอลิไดอินอีลาสโตเมอร์ สำหรับการอีพอกไซด์ยางธรรมชาติในกรณีใช้สารเร่งปฏิกิริยา 1 phr ของ 2,5-di-*t*-phenylhydro quinine ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จะได้ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่มีหมู่อีพอกไซด์ 50 เปอร์เซนต์โมล

3.3 กรดฟอร์มิก ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และ second acid เช่น กรดซัลฟูริก

ตารางที่ 3 แสดงการใช้สารอีพอกไซด์แต่ละชนิดในปฏิกิริยาออกซิเดชัน [8]

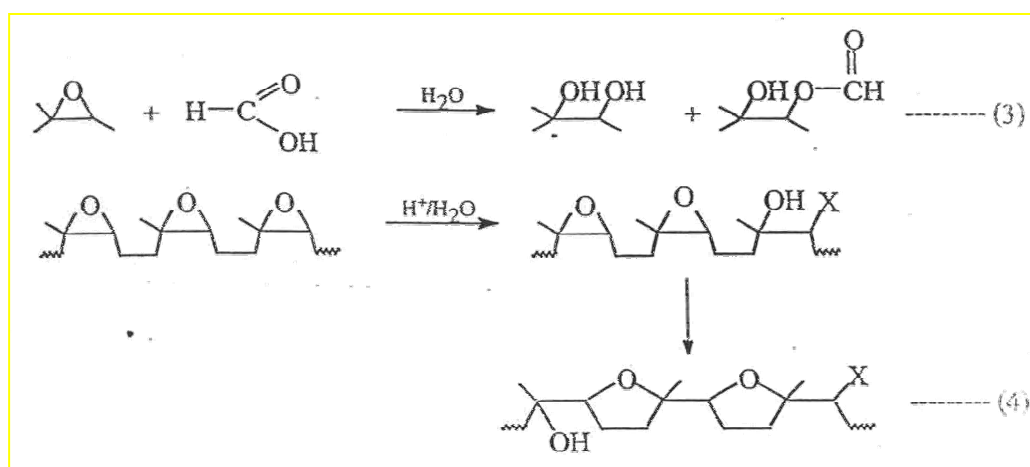
สารอีพอกไซด์	อีลาสโตเมอร์	สถานะของปฏิกิริยา
- Benzoyl peroxide	Polyisoprene	สารละลาย
- Perbenzoic acid	Polybutadiene, natural rubber	สารละลาย
- Hydrogen peroxide + acetic acid	Polybutadiene, natural rubber	สารละลาย
- Hydrogen peroxide + formic acid	Polybutadiene, natural rubber,	สารละลาย และ latex
- Hydrogen peroxide + formic acid	EPDM, SBR	
+ a second acid	SBR, natural rubber	สารละลาย และ latex

โดยทั่วไปปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันของยางธรรมชาติจะใช้กรดเปอร์อะซิติก หรือ กรดเปอร์ฟอร์มิก ซึ่งอาจจะเตรียมเปอร์เอไซด์ก่อน หรืออาจจะใช้แบบการเกิดเปอร์เอไซด์ในขณะที่ทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน (in-situ) ก็ได้ การเกิดเปอร์เอไซด์ในขณะที่ทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน แสดงดังภาพประกอบที่ 3 อัตราส่วนโดยโมลของกรดฟอร์มิกกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่นิยมใช้อยู่ในช่วง 0.2-0.5 [9]



ภาพประกอบที่ 3 แสดงปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันโดยใช้กรดเปอร์ฟอร์มิกและไฮโดรเจน-เปอร์ออกไซด์ [9]

ในกรณีการใช้กรดอะซิติกจะต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) เช่น กรดซัลฟูริก หรือกรดซัลโฟนิก เพื่อช่วยให้เกิดเป็นเปอร์เอซิดในลักษณะเดียวกับปฏิกิริยาที่ (1) สำหรับการเกิดปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันดังปฏิกิริยาที่ (2) ในภาพประกอบที่ 3 จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่จะต้องควบคุมสถานะของปฏิกิริยาอย่างระมัดระวัง เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปฏิกิริยาการเปิดวงแหวนอีพอกไซด์ซึ่งสามารถเกิดได้ 2 แบบ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4 คือ แบบแรกเป็นการแตกของหมู่อีพอกไซด์อย่างง่าย ซึ่งจะได้ไกลคอล (Glycol) และไฮดรอกซีเอสเทอร์ (Hydroxyester) ดังปฏิกิริยาที่ (3) สำหรับพอลิเมอร์ที่มีหมู่อีพอกไซด์อยู่ติดกันเมื่อเกิดการเปิดวงแหวนอีพอกไซด์จะได้ไซคลิกอีเธอร์ (Cyclic ether) เป็นผลิตภัณฑ์หลัก แสดงดังปฏิกิริยาที่ (4) ในภาพประกอบที่ 4



ภาพประกอบที่ 4 แสดงปฏิกิริยาการเปิดวงแหวนอีพอกไซด์ [9]

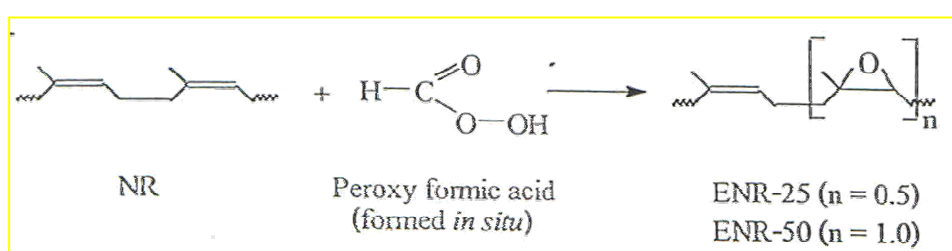
2.2.2 การเตรียมยางธรรมชาติอีพอกไซด์

ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (Epoxidized natural rubber, ENR) เตรียมจากน้ำยางธรรมชาติ โดยใช้วิธีการเกิดกรดเปอร์ฟอร์มิกในขณะที่ทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน (Hydrogen peroxide / formic acid in-situ) แสดงดังปฏิกิริยาในภาพประกอบที่ 5 โดยควบคุมสถานะในการเตรียมอย่างระมัดระวัง เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปฏิกิริยาการเปิดวงแหวนอีพอกไซด์ น้ำยางธรรมชาติที่จะนำมาใช้จะต้องนำมาทำให้มีความเสถียรต่อกรดเสียก่อน โดยการเติมสารช่วยเพิ่มความเสถียรที่ไม่มีประจุ (Non-ionic surfactant) จากนั้นจึงนำมาทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส นำน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่ได้มาปรับสภาพให้เป็นกลาง หลังจากนั้นทำให้จับตัวด้วยความร้อนล้างด้วยน้ำ แล้วอบแห้งด้วยอากาศร้อน

การเตรียมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ [10] โดยการทำปฏิกิริยาของน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียสูงกับกรดเปอร์ฟอร์มิก ใช้สบู่นิกนอลไอออนิกเป็นสารเพิ่มความเสถียรของน้ำยาง

ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง พบว่าปริมาณหมู่อีพอกไซด์ที่เกิดขึ้นบนโมเลกุลของยางมีค่าสูง และเวลาที่น้ำยางเสียสภาพค่อนข้างนาน และค่าความหนืดมูนนี้ มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณหมู่อีพอกไซด์

ในปัจจุบันมีการผลิตยางธรรมชาติอีพอกไซด์ในการค้า 2 ชนิด คือ ENR-25 และ ENR-50 ซึ่งมีปริมาณหมู่อีพอกไซด์เท่ากับ 25 และ 50 เปอร์เซนต์โมล ตัวอย่างยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่จำหน่ายในทางการค้า เช่น Epoxyprene 25 และ Epoxyprene 50 ของบริษัท Kumpulan Guthrie Berhad ประเทศมาเลเซีย [7]



ภาพประกอบที่ 5 แสดงปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันโดยใช้กรดเปอร์ฟอร์มิก [7]

ปริมาณหมู่อีพอกไซด์ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและเวลาในการทำปฏิกิริยา [7] ค่าความหนืดมูนนี้ อุณหภูมิคล้ายแก้ว ความเค้นเหนือนและความหนืดเหนือนของยางธรรมชาติอีพอกไซด์มีค่าสูงกว่ายางธรรมชาติ และมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณหมู่อีพอกไซด์ นอกจากนี้ยังมีการรีเอกตีฟเบลนด์ระหว่างยางธรรมชาติอีพอกไซด์กับแป้งมันสำปะหลัง พบว่าค่าความหนืดมูนนี้ ความเค้นเหนือนและความหนืดเหนือนของพอลิเมอร์เบลนด์ระหว่างยางธรรมชาติอีพอกไซด์กับแป้งมันสำปะหลัง-เจลลาดีนซ์เพิ่มขึ้นตามปริมาณแป้งมันสำปะหลัง ความต้านทานต่อการดึงสูงขึ้นตามปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้นจนถึงปริมาณ 50 phr หลังจากนั้นความต้านทานต่อการดึงมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ส่วนค่ามอดูลัสและความต้านทานต่อการฉีกขาดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ความสามารถในการยืดจนขาดมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณแป้งมันสำปะหลัง

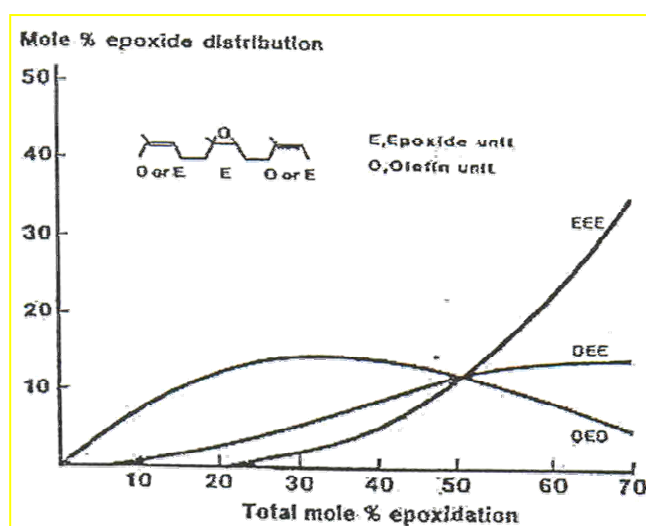
2.2.3 โครงสร้างโมเลกุลของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ [7]

สเตอริโอเคมี (Stereochemistry)

ยางธรรมชาติมีลักษณะของโครงสร้างโมเลกุลเป็นแบบซิส-1,4-พอลิไอโซพรีน ปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันด้วยกรดเปอร์ออกไซด์ เป็นปฏิกิริยาเคมีที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงสเตอริโอเคมีของโมเลกุล ดังนั้นยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่ได้จะยังคงมีลักษณะของโครงสร้างโมเลกุลเป็นแบบซิส-1,4 (cis-1,4-configuration) ทั้งหมด

การกระจายของหมู่อีพอกไซด์ (Epoxide distribution)

การกระจายตัวของหมู่อีพอกไซด์ตลอดความยาวของโซ่โมเลกุลจะมีผลต่อสมบัติทางกายภาพของยางธรรมชาติอีพอกไซด์เป็นอย่างมาก ถ้าให้เกิดอีพอกซิเดชันตรงตำแหน่งพันธะคู่ของยางธรรมชาตินั้นเกิดแบบสุ่ม (Random) และไม่มีการควบคุม พบว่าเปอร์เซ็นต์โมลทั้งหมดของตำแหน่งต่างๆ ของหมู่อีพอกไซด์ที่ระดับของการเกิดอีพอกซิเดชันต่างๆ สามารถคำนวณได้ดังตัวอย่างในภาพประกอบที่ 6 พบว่าเมื่อระดับการเกิดอีพอกซิเดชันเพิ่มขึ้นการจัดเรียงตัวของหน่วยอีพอกไซด์ (Epoxide unit, E) และหน่วยโอลิฟิน (Olefin unit, O) แบบ O-E-O จะเพิ่มขึ้นจนกระทั่งระดับของการเกิดอีพอกซิเดชันประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์โมล จากนั้นการจัดตัวแบบ O-E-O จะลดลง การจัดตัวแบบ O-E-E จะเริ่มเกิดเมื่อระดับของการเกิดอีพอกซิเดชันประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์โมล ซึ่งการจัดตัวแบบนี้เพิ่มตามระดับของการเกิดอีพอกซิเดชัน และที่ระดับการเกิดอีพอกซิเดชันสูงประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์โมล จะมีการจัดตัวแบบ E-E-E เกิดขึ้น ด้วย ซึ่งการจัดตัวแบบนี้เพิ่มขึ้นอย่างมากและมากกว่าการจัดตัวแบบอื่นๆ เมื่อระดับการเกิดอีพอกซิเดชันสูงกว่า 50 เปอร์เซ็นต์โมล ซึ่งนอกจากการคำนวณแล้วยังสามารถตรวจวัดลำดับการจัดตัวของหน่วยอีพอกไซด์ (Epoxide unit, E) และหน่วยโอลิฟินของการเกิดอีพอกซิเดชัน ในยาง ENR-25 และ ENR-50 ได้ โดยการตรวจวัดด้วยเทคนิคนิวเคลียร์แมกนีติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโกปี (^{13}C NMR) และ ^1H -NMR พบว่า จะเป็นไปตามผลที่ได้จากการคำนวณ โดยมีรายละเอียดในการคำนวณตามหัวข้อ 2.5



ภาพประกอบที่ 6 แสดงการคำนวณการจัดเรียงหมู่อีพอกไซด์แบบสุ่มของยางธรรมชาติ-อีพอกไซด์ [11]

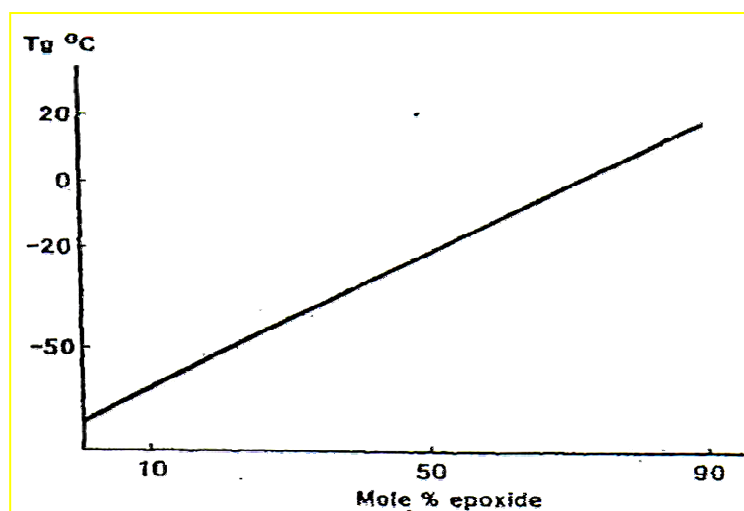
2.2.4 สมบัติของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ [7]

ความหนืดมูนีและความสามารถในการละลาย

ENR-25 และ ENR-50 มีค่าความหนืดมูนีอยู่ในช่วง 75-90 หน่วย ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องบดก่อน (Premasticate) ที่จะนำไปผสมกับสารเคมีต่างๆ นอกจากนี้ยางธรรมชาติอีพอกไซด์จะมีสภาพความเป็นขี้ผึ้งเพิ่มขึ้นตามปริมาณหมู่อีพอกไซด์ สำหรับความสามารถในการละลายของยางธรรมชาติอีพอกไซด์จะขึ้นอยู่กับระดับของการเกิดอีพอกซิเดชัน และชนิดของตัวทำละลาย ซึ่งยางธรรมชาติอีพอกไซด์สามารถละลายได้ง่ายขึ้นหากมีการบดขยักก่อน ตัวทำละลายที่เหมาะสม ได้แก่ โทลูอิน คลอโรฟอร์มและเตตราไฮโดรฟูเรน (Tetrahydrofuran, THF)

ค่าอุณหภูมิคล้ายแก้ว (Glass Transition Temperature, Tg)

การเกิดหมู่อีพอกไซด์ที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 1 เปอร์เซนต์โมลบนโมเลกุลยางธรรมชาติ จะทำให้ค่าอุณหภูมิคล้ายแก้วเพิ่มขึ้นประมาณ 1 องศาเซลเซียส [12] ดังแสดงในภาพประกอบที่ 7 ซึ่งพบว่า ENR-25 มีค่าอุณหภูมิคล้ายแก้วประมาณ -47 องศาเซลเซียส และ ENR-50 มีค่าอุณหภูมิคล้ายแก้วประมาณ -22 องศาเซลเซียส



ภาพประกอบที่ 7 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าอุณหภูมิคล้ายแก้วต่อปริมาณเปอร์เซนต์โมลอีพอกไซด์ [9]

ความทนทานต่อน้ำมัน

สภาพความเป็นขี้ผึ้งของยางธรรมชาติอีพอกไซด์จะเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณหมู่อีพอกไซด์ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้ความต้านทานต่อน้ำมันและตัวทำละลายเปลี่ยนแปลงไป ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่มีระดับการอีพอกซิเดชันสูงจะเป็นวัสดุที่ทนทานต่อสารไฮโดรคาร์บอน

แต่ความทนทานต่อตัวทำละลายที่มีขั้วจะลดลง ดังแสดงในตารางที่ 4 ยาง ENR-50 จะทนทานต่อ ASTM Oil ได้ใกล้เคียงกับยางไนไตรล์ที่มีปริมาณอะคริโลไนไตรล์ปานกลาง (Medium NBR, 34 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของอะคริโลไนไตรล์) และจะทนทานกว่ายางคลอโรพรีน (CR) จึงสามารถใช้ ENR-50 แทนพอลิเมอร์เหล่านี้ได้ในงานที่ต้องการสมบัติด้านความทนทานต่อน้ำมัน แต่ ENR-50 จะไม่ทนทานไปกว่ายางไนไตรล์ในกรณีของน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีแอลกอฮอล์เป็นองค์ประกอบ (Alcohol-containing fuels)

ตารางที่ 4 แสดงเปอร์เซ็นต์การบวมพองของยางในของเหลวชนิดต่างๆ [9]

Properties	NR	ENR-25	ENR-50	NBR	CR
70h/100°C in					
ASTM No.1 oil	97	11	-5	-4	2.5
ASTM No.2 oil	145	71	13	7	33
ASTM No.3 oil	209	126	36	18	59
70h/23°C in					
ASTM ref. Fuel B	178	127	59	38	-
Ethanol	-0.45	15	28	16	-
Methyl ethyl ketone	-36	51	98	178	-

ความทนทานต่อโอโซนและการซึมของอากาศ

ยางธรรมชาติอีพอกไซด์สามารถทนทานต่อโอโซน และการซึมของอากาศได้ใกล้เคียงกับยางบิวไทล์ เพราะพันธะคู่ในโครงสร้างยางธรรมชาติมีปริมาณลดน้อยลง และมีกลุ่มของอีพอกไซด์เกิดขึ้นแทนที่พันธะคู่ ทำให้โมเลกุลของยางเคลื่อนที่ได้ยากขึ้น

2.2.5 การวิเคราะห์ปริมาณหมู่อีพอกไซด์ (Analysis of Epoxide Level)

การวิเคราะห์ปริมาณหมู่อีพอกไซด์มีหลายวิธีดังรายละเอียดด้านล่าง

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโกปี

(Nuclear Magnetic Resonance, NMR analysis)

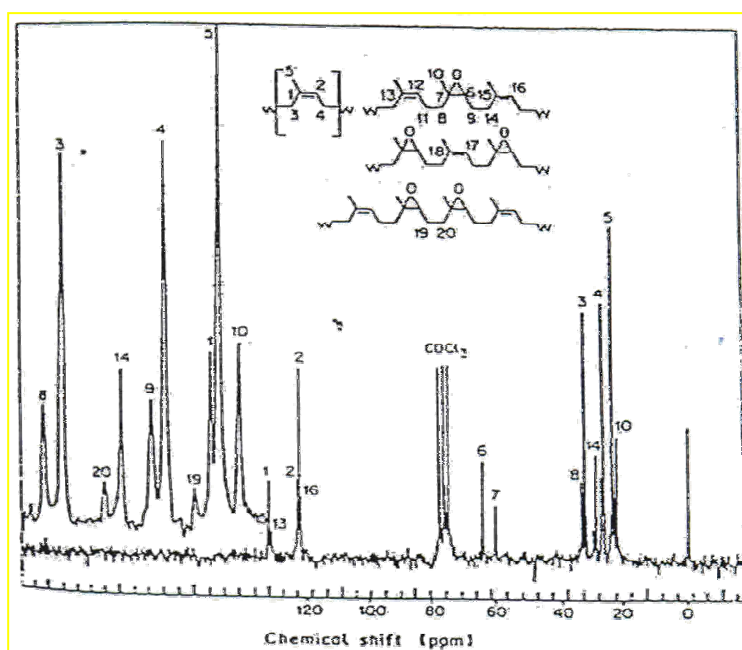
ตัวอย่างที่จะใช้ทดสอบต้องเตรียมในรูปของสารละลายเข้มข้นประมาณ 5% โดย

น้ำหนักต่อปริมาตร โดยใช้ดิวเทอเรตคลอโรฟอร์ม (Deuterated chloroform) ในหลอดทดลองขนาด 5 มิลลิลิตร และใช้เตตราเมทิลไซเลน (Tetramethyl silane, TMS) เป็นสารมาตรฐาน มีการวิเคราะห์ได้ 2 วิธี คือ ^{13}C -NMR และ ^1H -NMR spectrum โดยทำที่อุณหภูมิห้อง [13] ตัวอย่างการวัด ^{13}C -NMR spectrum ของยางธรรมชาติอีพอกไซด์จะแสดงการเลื่อน (Chemical shift) ของคาร์บอนตรงตำแหน่งพันธะคู่ (Olefinic carbon) และคาร์บอนของหมู่อีพอกไซด์ (Epoxy ring carbon) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 8

จะเห็นว่าเรโซแนนซ์ของคาร์บอนตรงตำแหน่งพันธะคู่ ปรากฏจุดยอดที่ประมาณ 124.4, 125.0 และ 125.7 ppm และคาร์บอนของหมู่อีพอกไซด์ปรากฏจุดยอดที่ประมาณ 64.5 ppm ซึ่งสามารถคำนวณเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซด์ได้จากอัตราส่วนของพื้นที่ใต้จุดยอด จากความสัมพันธ์ดังสมการที่ 1 (เจริญ นาคะสรรค์ และคณะ 2544)

$$\% \text{ Mole epoxide} = \frac{A_{64.5}}{A_{64.5} + A_{124.4, 125.0, 125.7}} \times 100 \quad (1)$$

โดยที่ $A_{64.5}$, $A_{124.4}$, $A_{125.0}$ และ $A_{125.7}$ เป็นพื้นที่ใต้จุดยอดที่ตำแหน่ง 64.5, 124.4, 125.0 และ 125.7 ppm ตามลำดับ

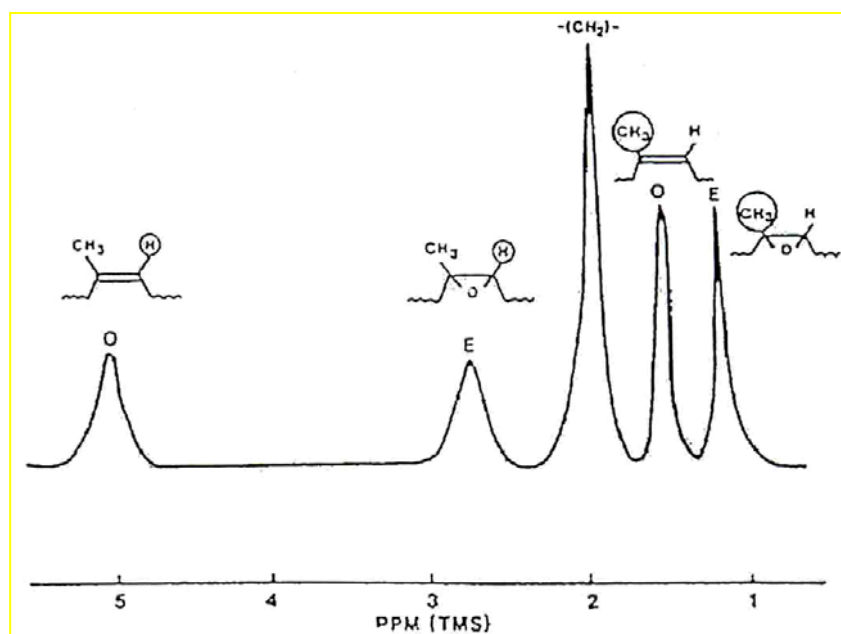


ภาพประกอบที่ 8 แสดง ^{13}C -NMR สเปกตรัมของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ 30 เปอร์เซนต์โมล [14]

ตัวอย่างการวัด $^1\text{H-NMR}$ spectrum ของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ในภาพประกอบที่ 9 แสดงการเลื่อนของโปรตอนที่เกี่ยวข้องกับคาร์บอนที่เกิดพันธะคู่ที่ประมาณ 5.14 ppm และโปรตอนที่เกี่ยวข้องกับคาร์บอนของหมู่อีพอกไซด์ที่ประมาณ 2.70 ppm ซึ่งสามารถคำนวณเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซด์ได้จากอัตราส่วนของพื้นที่ใต้จุดยอด โดยอาศัยความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2 [13]

$$\% \text{ Mole epoxide} = \frac{A_{2.70}}{A_{2.70} + A_{5.14}} \times 100 \quad (2)$$

โดยที่ $A_{2.70}$ และ $A_{5.14}$ เป็นพื้นที่ใต้พีคที่ตำแหน่ง 2.70 และ 5.14 ppm



ภาพประกอบที่ 9 แสดง $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ 50 เปอร์เซ็นต์โมล [12]

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (Infrared spectroscopy)

เตรียมตัวอย่างให้อยู่ในรูปของสารละลาย โดยใช้คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (CCl_4) เป็นตัวทำละลาย แล้วนำไปเคลือบบนแผ่นผลึกโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) จากนั้นนำไปอบเพื่อไล่ตัวทำละลายออกไป วิเคราะห์ด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยทั่วไปอินฟราเรดสเปกตรัมของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ จะปรากฏตำแหน่งของแถบการดูดกลืนของหมู่

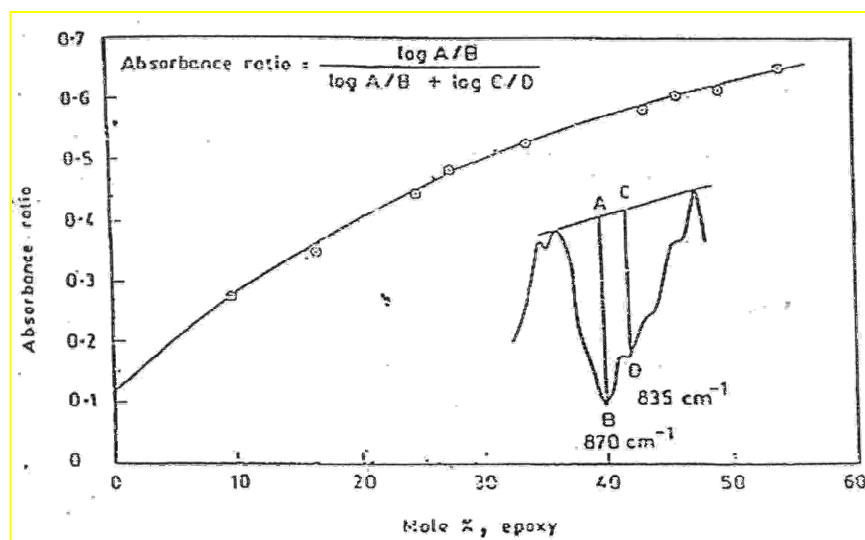
อีพอกไซด์ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 870 และ 1240 cm^{-1} นอกเหนือจากแถบการดูดกลืนแสงปกติของยางธรรมชาติ และอาจปรากฏแถบการดูดกลืนของหมู่อื่นๆ อันเนื่องมาจากปฏิกิริยาการเปิดวงแหวนของหมู่อีพอกไซด์ เช่น แถบการดูดกลืนของหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) ที่ตำแหน่งเลขคลื่น $3600\text{--}3200\text{ cm}^{-1}$ หมู่ฟูเร็น (furan group) ตำแหน่งเลขคลื่น 1065 cm^{-1} และหมู่อีเธอร์ (ether group) ตำแหน่งเลขคลื่น $1800\text{--}1650\text{ cm}^{-1}$ [11]

คำนวณค่าอัตราส่วนการดูดกลืน (Absorbance ratio) ของแถบดูดกลืนแสงอินฟราเรดที่ตำแหน่งเลขคลื่น 870 cm^{-1} (cis-epoxy) ต่อแถบดูดกลืนแสงอินฟราเรดที่ตำแหน่งเลขคลื่น 835 cm^{-1} (cis-double bond) คำนวณค่าอัตราส่วนการดูดกลืน จากสมการที่ 3 ดังนี้

$$\text{Absorbance ratio} = \frac{a_{870}}{a_{870} + a_{835}} \quad (3)$$

โดย a_{870} และ a_{835} เป็นการดูดกลืนแสงอินฟราเรดที่ตำแหน่งเลขคลื่น 870 และ 835 cm^{-1} ตามลำดับ

นำค่าอัตราส่วนการดูดกลืนแสงที่ได้ไปคำนวณเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซด์ โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานที่พล็อตระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซด์ กับอัตราส่วนการดูดกลืนแสงของสเปกตรัมที่ตำแหน่งเลขคลื่น $870/835\text{ cm}^{-1}$ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 10



ภาพประกอบที่ 10 แสดงกราฟมาตรฐานเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซด์ของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR [11]

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 และแม้แต่วัสดุที่ละลายก็อาจล้างฟิล์มนี้ได้ยาก เพราะเนื่องจากน้ำหนักโมเลกุลที่สูงของน้ำยาง ถ้าเปรียบเทียบการยึดเกาะแล้วกาวสารละลายจะให้การยึดเกาะที่ดีกว่า แต่สามารถพัฒนาการยึดเกาะกาวน้ำยางโดยให้อยู่ในระบบของการวัลคาไนซ์ได้

ตัวอย่างของกาวประเภทนี้ คือ กาวฉีกของจดหมาย กาวติดผนัง กาวใช้งานทั่วไป กาวติดพรม และกาวติดแถบล้อรถยนต์ ซึ่งตัวอย่างสูตรกาวฉีกของจดหมายแสดงดังตารางที่ 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 เหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะฟิล์มแห้งของน้ำยางธรรมชาติมีลักษณะโครงสร้างพิเศษที่มีสารพวกลีโพรตีน 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 แกรมกับกระดาษหนา 100 แกรม และกระดาษบาง 70 แกรมกับกระดาษบาง 70 แกรม 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 ในผนังเซลล์หรือโมเลกุลของกาวเข้าไปแทรกในส่วนต่อประสานของเซลล์โลส 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 ในส่วนต่อประสานของผนังเซลล์ เป็นต้น ช่องเซลล์และหลุมผนังเซลล์มีขนาดใหญ่กว่าพอลิเมอร์ของกาว ดังนั้นการจึงเคลื่อนที่ผ่านส่วนทั้งสองไปตามส่วนต่างๆ ของไม้ได้ รูเล็กๆ ในส่วนต่อประสานบนผนังเซลล์ในบางครั้งมีขนาดเล็กกว่าพอลิเมอร์ของกาว 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

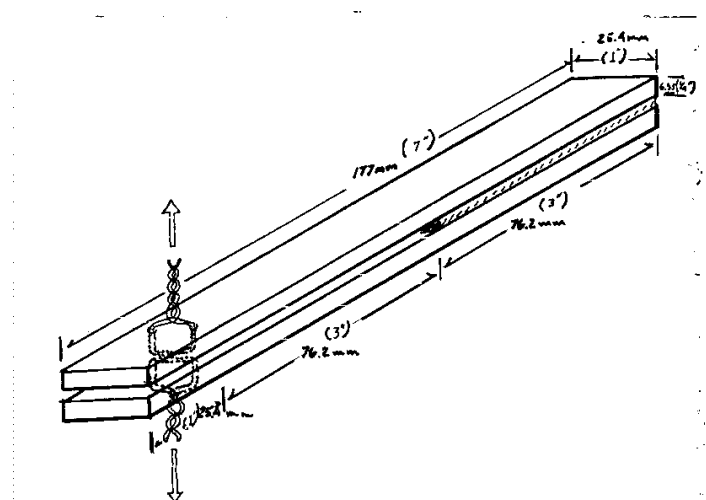
ทดสอบโดยใช้เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง ที่ประกอบด้วยกลาสส์อิเล็กโทรด

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

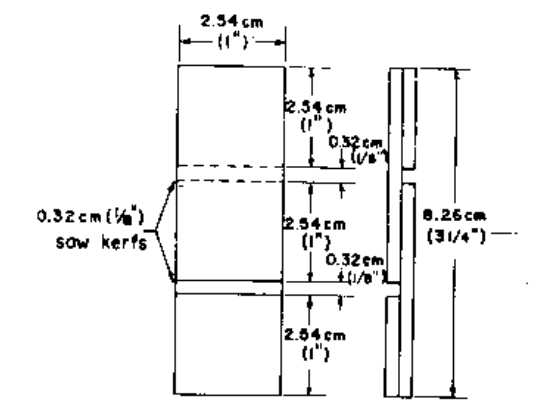
นำลวดที่ติดอยู่กับชิ้นทดสอบพันเข้ากับที่ยึดของชิ้นทดสอบ ใช้แรงดึงโดยที่อัตราการแยกของปากจับเท่ากับ 12.7 มิลลิเมตรต่อนาที อ่านค่าแรงเฉลี่ยที่ 50.8 มิลลิเมตร หรือทุกระยะห่าง 5 มิลลิเมตร อย่างน้อย 7 จุดบนชิ้นทดสอบ แล้วหาค่าเฉลี่ยของแรงเป็นกิโลนิวตันต่อความกว้าง 25 มิลลิเมตร ให้ทดสอบชิ้นทดสอบจำนวน 10 ชิ้น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

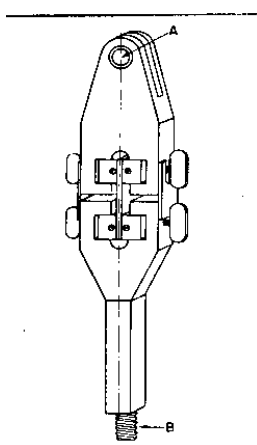
วิธีทดสอบ

- 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]

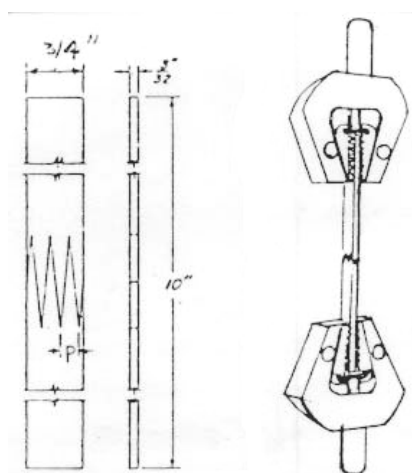
การเตรียมชิ้นทดสอบ

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 ทากาวที่เดียวให้สม่ำเสมอ (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

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

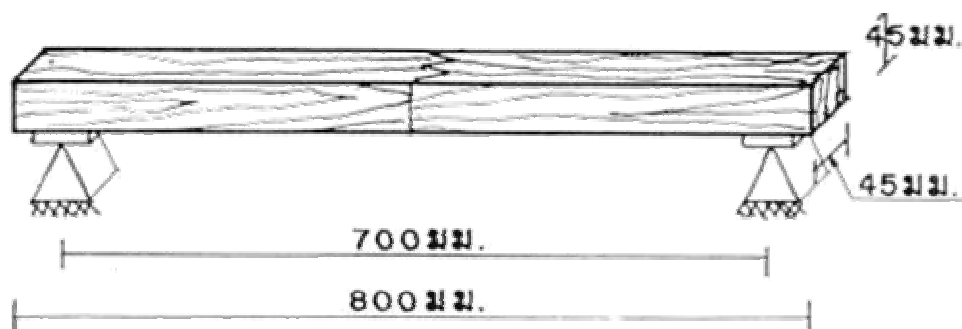
เมื่อ MOR คือ ความแข็งแรง (นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร)

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 (Longthening 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

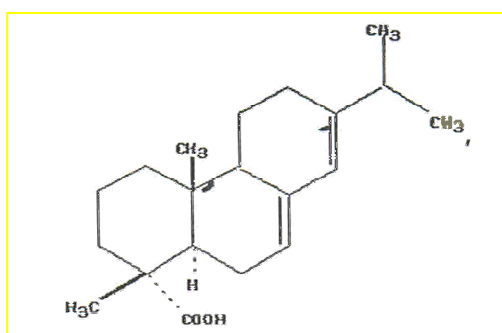
ตารางที่ 7 แสดงชนิดของเรซิน [31]

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

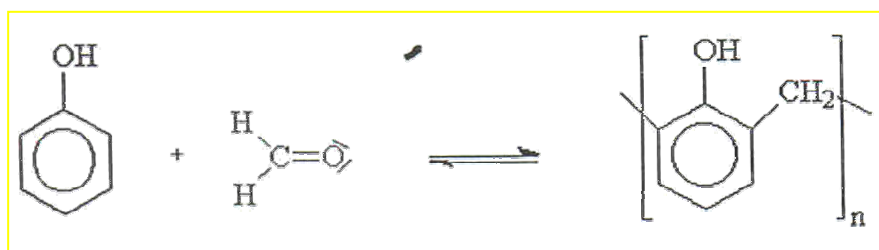
ขณะใช้งานดีขึ้น [30] การผสมสารเพิ่มการยึดติดชนิด Wood rosin ในรูปอิมัลชันลงไปในน้ำยางธรรมชาติเพื่อทำกาว [34] สามารถผสมได้ถึง 80 phr โดยที่ไม่ทำให้น้ำยางเสียสภาพ ปริมาณ Wood rosin ที่เหมาะสมใช้ไม่ควรเกิน 30 phr เพื่อให้ได้สมบัติที่ดีของความต้านแรงเฉือนและความต้านแรงลอก การใช้ Chlorinated alkyl phosphate 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

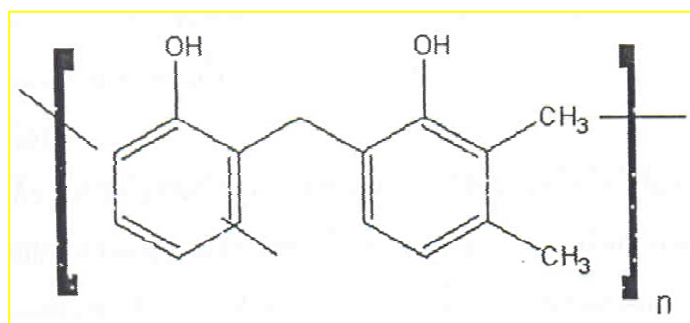
2.5.5 เรซินฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ (Pheno;-formaldehyde resins)

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]

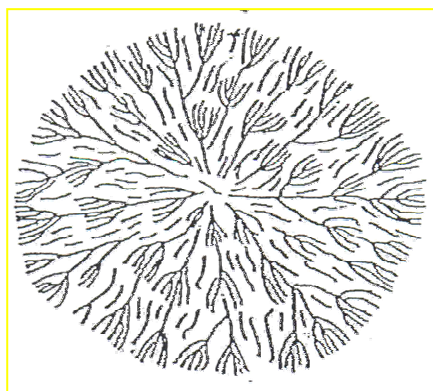


ภาพประกอบที่ 19 แสดงโครงสร้างของเรซินฟีนอลิกชนิด Novolak ที่ปรับปรุงด้วยหมู่อัลคิล [32]

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)

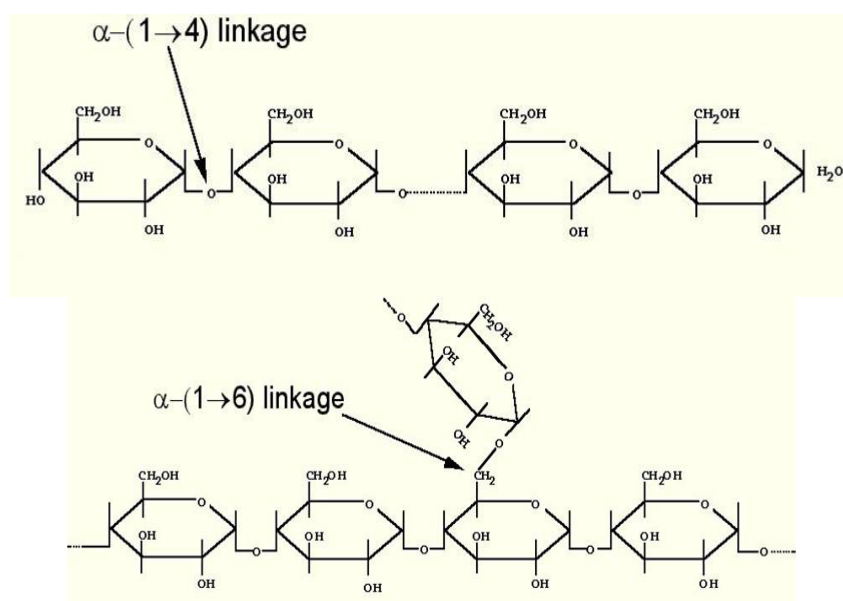
แป้ง หมายถึง สารประกอบของอะไมเลส (Amylose) และอะไมโลเพกติน (Amylopectin) รวมทั้งส่วนประกอบอื่นๆ ได้แก่ โปรตีน ไขมัน เกลือแร่ แต่ถ้านับเฉพาะสารประกอบของอะไมเลส และอะไมโลเพกติน จะใช้แทนด้วยคำว่า สตาร์ช (Starch) โครงสร้างของกรานูลของแป้งหรือเม็ดแป้ง (Starch granule) [35] แสดงในภาพประกอบที่ 20 จะเห็นได้ว่าส่วนที่เป็นโครงหลักของกรานูลจะเป็นอะไมโลเพกติน 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



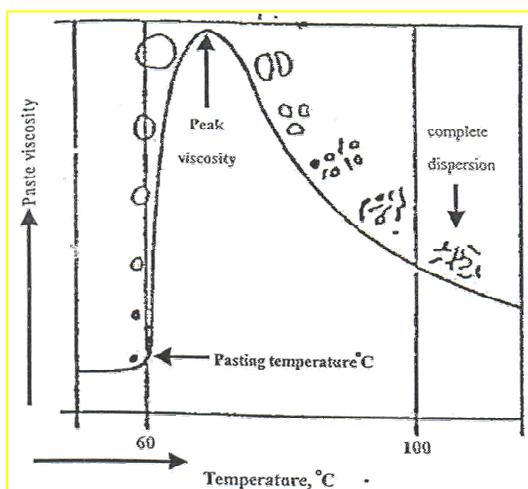
ภาพประกอบที่ 20 แสดงแบบจำลองโครงสร้างกรานูลของแป้ง [35]

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



ภาพประกอบที่ 22 แสดงการบวม การแตกตัว และการกระจายตัวของกรานูลแป้งขณะเกิดเจล [35]

การใช้แป้งข้าวเหนียวเติมลงไปในการน้ำยางที่ 30 phr [36] เมื่อทดลองนำไปติดระหว่างกระดาษขาวกับกระดาษขาว และกระดาษน้ำตาลกับกระดาษน้ำตาลให้สมบัติแรงดึงกาวสูงสุด ช่วยในการเหนียวติดดี แต่เมื่อทดลองนำไปติดระหว่างผ้ากับผ้าจะต้องใช้แป้งข้าวเหนียวเติมลงไปในการน้ำยางที่ 50 phr จึงจะให้ผลดี สารช่วยเสริมแรงกาวน้ำยางที่ให้ผลดีรองจากแป้งข้าวเหนียว คือ แป้งข้าวโพด ผสมที่ 30 phr และถึงแม้จะเพิ่มระดับความเข้มข้นของสารเสริมแรงกาวน้ำยางก็ไม่ได้ให้ผลที่ดีขึ้น และกาวน้ำยางที่เติมสารเสริมแรงกาวน้ำยางนี้สามารถเก็บไว้ได้นานประมาณ 5 เดือน โดยที่ไม่ทำให้สมบัติแรงดึงกาวเปลี่ยนแปลง แต่เมื่อเริ่มเดือนที่ 6 กาวน้ำยางจะเกิดการเสื่อมสภาพสมบัติแรงดึงกาวจะลดลง สำหรับแป้งสาธิตจะเป็นสารเสริมแรงกาวน้ำยางที่เมื่อเติมลงไปในการน้ำยางแล้วจะทำให้กาวน้ำยางเกิดการเสียสภาพ ซึ่งเกิดการจับเป็นก้อนและมีสมบัติช่วยเสริมแรงกาวน้ำยางเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

กล่าวโดยสรุป งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาถึงชนิดและปริมาณของสารเพิ่มการยึดติดตามขอบเขตงานวิจัยคือ แป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์และคิวมาโรนอิมัลชัน ที่มีต่อกาวยาง โดยทำการทดสอบคุณสมบัติของกาวที่เตรียมได้ในรูปของกาวเหลวหรือกาวก่อนที่จะแข็งตัว เป็นการทดสอบเนื้อกาว ได้แก่ การหาปริมาณเนื้อกาว ความหนืด ความหนาแน่น และความเป็นกรด-ด่าง และการทดสอบกาวที่แข็งตัวอย่างสมบูรณ์ เพื่อทดสอบแรงยึดติดของกาวกับไม้ยางพารา ได้แก่ การทดสอบความต้านแรงลอก (Cleavage peel strength) ความต้านแรงเฉือน (Shear strength) การดึงขนานเสี้ยน (Tension parallel to grain) และการดัดสถิตย์ (Static bending) และทำการศึกษาเพิ่มเติมนอกขอบเขตงานวิจัยโดยใช้ Petroleum resin, Terpene phenolic resin, และ ชัน (Dammar) เป็นส่วนผสมร่วม

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาเกี่ยวกับการออกสูตรจากน้ำยางธรรมชาติ

ในปี พ.ศ. 2541 วราภรณ์ ขจรไชยกุล และคณะ [20] ทำการศึกษาหาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตกาวยางจากยางแห้งเพื่อใช้งานทั่วไป โดยทดลองบดผสมยางกับสารเคมีต่างๆ ตามสูตรพื้นฐานและใส่สารเพิ่มความเหนียวซึ่งสารเพิ่มความเหนียวที่ใช้ในการทดลองได้แก่ ฟีนอลิครีซินและโซเดียมโพลีอะคริเลท โดยแปรปริมาณของสารเพิ่มความเหนียวคือ 10, 20, 30 และ 40 ส่วนในยาง 100 ส่วน แล้วนำไปละลายในตัวทำละลายได้แก่ เบนซีน โทลูอีน และเซลลูลอส ปริมาณ 600 และ 800 มิลลิลิตร นำกาวยางที่ได้ไปทดลองติดระหว่างกระดาษ 70 แกรมกับกระดาษ 70 แกรม กระดาษแข็งเทา-ขาว กับกระดาษแข็งเทา-ขาว และระหว่างผ้ากับผ้า พบว่าสูตรกาวยางจากยางแห้งเพื่อใช้งานทั่วไปที่เหมาะสมคือ สูตรพื้นฐานที่มีการใส่สารเพิ่มความเหนียวฟีนอลิครีซิน 40 ส่วนต่อยาง 100 ส่วน แล้วนำไปละลายในตัวทำละลายเบนซีนปริมาณ 600 มิลลิลิตร กาวยางจากยางแห้งที่ได้จะให้สมบัติความเหนียวในการติดระหว่างผ้ากับผ้าดีที่สุด รองลงไปที่กระดาษเทา-ขาวกับกระดาษเทา-ขาว

วราภรณ์ ขจรไชยกุล และคณะ [18] ทำการศึกษาหาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตกาวยางจากน้ำยางเพื่อใช้งานทั่วไป โดยทดลองผสมน้ำยางธรรมชาติกับสารเคมีต่างๆ ตามสูตรพื้นฐาน บ่มให้น้ำยางผสมสารเคมีเกิดการคงรูปบางส่วนแล้วใส่สารเพิ่มความเหนียวโซเดียมโพลีอะคริเลทในปริมาณต่างๆ คือ 20, 30, 40 และ 50 ส่วน ต่อน้ำยาง 167 ส่วน นำกาวยางจากน้ำยางธรรมชาติที่ได้ไปทดลองติดระหว่างกระดาษบาง 70 แกรมกับกระดาษบาง 70 แกรม กระดาษหนา 100 แกรมกับกระดาษหนา 100 แกรม และระหว่างผ้าขาวกับผ้าขาวทดสอบสมบัติแรงดึงกาว เปรียบเทียบกับสูตรพื้นฐานที่ยังไม่ได้ใส่สารเพิ่มความเหนียว และเปรียบเทียบกับกาวลาเท็กซ์ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด พบว่าสูตรกาวยางจากน้ำยางเพื่อใช้งานทั่วไปที่เหมาะสมคือ สูตรพื้นฐานที่มีการใส่สารเพิ่มความเหนียวโซเดียมโพลีอะคริเลทปริมาณ 50 ส่วนต่อน้ำยาง 167 ส่วน กาวยางที่ได้จะให้สมบัติความเหนียวในการติดระหว่างผ้ากับผ้าดีที่สุด รองลงไปที่ การติดระหว่างกระดาษหนา 100 แกรมกับกระดาษหนา 100 แกรม และกระดาษบาง 70 แกรมกับกระดาษบาง 70 แกรม ตามลำดับ

ในปี พ.ศ. 2537 วราภรณ์ ขจรไชยกุล และวิภา เสวตกนิษฐ์ [36] ทำการศึกษาการนำสารอื่นมาผสมในน้ำยางในการทำกาวจากน้ำยางเพิ่มเสริมความแข็งแรงให้แก่กาวจากน้ำยางและช่วยลดข้อเสียของกาวจากน้ำยางที่จะทำให้สิ่งของหดตัว และเกิดความแข็งแรงในการยึดติดซ้ำด้วยซึ่งสารที่นำมาทดลองใช้ได้แก่ แป้งมัน แป้งข้าวโพด แป้งข้าวเหนียว และแป้งสาลี โดยเติมลงในสูตรกาวน้ำยางพื้นฐาน ซึ่งได้เจือจางปริมาณของแข็งทั้งหมด 50% และแปรปริมาณของแป้งทั้ง 4 ชนิดที่เติมลงในกาวน้ำยางคือ 30, 50, 70 และ 90 ส่วนในยาง 100 ส่วน (phr) ทดสอบแรงดึงกาว

โดยทดสอบติดตามน้ำยางทุกสูตรระหว่างผ้ากับผ้า กระดาษขาวกับกระดาษขาว และกระดาษน้ำตาลกับกระดาษน้ำตาล เมื่อกาวน้ำยางมีอายุ 7 วัน, 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 เดือน และเปรียบเทียบกับตัวควบคุมคือ กาวน้ำยางที่ไม่ได้เติมสารที่ไม่ได้เติมสารเสริมแรงกาวน้ำยาง ผลการทดลองพบว่า แป้งข้าวเหนียวที่เติมลงไปในการกาวน้ำยางที่ระดับความเข้มข้น 30 ส่วนในยาง 100 ส่วน เมื่อทดลองนำไปติดระหว่างกระดาษขาวกับกระดาษขาว และกระดาษน้ำตาลกับกระดาษน้ำตาล ดีที่สุดคือให้สมบัติแรงดึงกาวสูงสุดและช่วยให้การเหนียวติดดี แต่เมื่อทดลองนำไปติดระหว่างผ้ากับผ้า จะต้องใช้แป้งข้าวเหนียวเติมลงไปในการกาวน้ำยางที่ระดับความเข้มข้น 50 phr จึงจะให้ผลดีสารช่วยเสริมแรงกาวน้ำยางที่ให้ผลดีรองจากแป้งข้าวเหนียวคือ แป้งข้าวโพดที่ระดับความเข้มข้น 30 phr และถึงแม้จะเพิ่มระดับความเข้มข้นของสารเสริมแรงกาวน้ำยางก็ไม่ได้ให้ผลที่ดีขึ้น และกาวน้ำยางที่เติมสารเสริมแรงกาวน้ำยางนี้สามารถเก็บไว้ได้นานประมาณ 5 เดือน โดยที่ไม่ให้สมบัติแรงดึงกาวเปลี่ยนแปลง แต่เมื่อเริ่มเดือนที่ 6 กาวน้ำยางจะเกิดการเสื่อมสภาพ สมบัติแรงดึงกาวจะตกลงสำหรับแป้งสาลี จะเป็นสารเสริมแรงกาวน้ำยางที่เมื่อเติมลงไปในการกาวน้ำยางแล้ว จะทำให้กาวน้ำยางเกิดการเสียสภาพ เกิดการจับเป็นก้อนและมีสมบัติช่วยเสริมแรงกาวน้ำยางเพียงเล็กน้อยเท่านั้น สรุปได้ว่าสารเติมแป้งมัน แป้งข้าวโพด แป้งข้าวเหนียว ในปริมาณที่เหมาะสมจะเป็นสารเติมที่ช่วยเสริมแรงให้กับกาวน้ำยางได้ดีแต่อาจเสื่อมสภาพเมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลานานกว่า 6 เดือน แต่แป้งสาลีช่วยเสริมแรงกาวน้ำยางเพียงเล็กน้อยและทำให้กาวน้ำยางเกิดการเสียสภาพด้วย

การศึกษาเกี่ยวกับการเตรียมยางธรรมชาติอีพอกไซค์ มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องคือ

ในปี พ.ศ. 2544 วัชรินทร์ สายน้ำใส [7] การศึกษาริเอกทีฟเบลนด์ระหว่างยางธรรมชาติอีพอกไซค์ กับแป้งมันสำปะหลังเตรียมยางธรรมชาติอีพอกไซค์จากการทำปฏิกิริยาน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียสูงกับกรดฟอร์มิก โดยใช้สบูชนิดไม่มีประจุเป็นสารเพิ่มความเสถียรของน้ำยาง พบว่าปริมาณหมู่อีพอกไซค์ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและเวลาในการทำปฏิกิริยา ค่าอุณหภูมิคล้ายแก้วของยางธรรมชาติอีพอกไซค์มีค่าสูงกว่ายางธรรมชาติและมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณหมู่อีพอกไซค์ นอกจากนี้พบว่ายางธรรมชาติอีพอกไซค์มีพฤติกรรมกลไกเป็นแบบของไหลเชิงพลาสติก มีค่าความหนืดมูนี ความเค้นเฉือน ความหนืดเฉือนเพิ่มขึ้นตามปริมาณหมู่อีพอกไซค์บนโมเลกุลของยางธรรมชาติ ยางธรรมชาติอีพอกไซค์ที่วัดค่าในชัด้วยกัมมันต์ระบบปกติมีระยะเวลาการวัดคาบในชัเพิ่มขึ้นตามปริมาณหมู่อีพอกไซค์และความต้านทานต่อการดึงสูงขึ้นตามปริมาณหมู่อีพอกไซค์ จนถึงประมาณ 50 โมลเปอร์เซ็นต์ หลังจากนั้นความต้านทานต่อการดึงมีค่าลดลงอย่างมาก มีค่าความหนืดมูนี ความเค้นเฉือน ความหนืดเฉือนของพอลิเมอร์เบลนด์ของยางธรรมชาติอีพอกไซค์กับแป้งมันสำปะหลังเจลาตินในชัปริมาณ 0, 10, 30, 50 และ 75 phr เพิ่มขึ้นตามปริมาณแป้งมันสำปะหลัง และมีพฤติกรรมกลไกเป็นแบบของไหลเชิงพลาสติกเช่นเดียวกับคอมปาวด์ของพอลิ-

เมอร์เบลนด์ที่วัลคาไนซ์ด้วยกำมะถันระบบปกติมีระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้สั้นลงแต่ละระยะเวลาการวัลคาไนซ์ยาวขึ้นตามปริมาณแป้งมันสำปะหลัง ความต้านทานต่อการดึงสูงขึ้นตามปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้นจนถึงปริมาณ 50 phr หลังจากนั้นความต้านทานต่อการดึงมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ส่วนค่ามอดูลัสและความต้านทานต่อการฉีกขาดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ความสามารถในการยืดจนขาดมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณแป้งมันสำปะหลัง

การศึกษาเกี่ยวกับข้อต่อไม้ยางพารามีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องคือ

ในปี พ.ศ. 2542 วรธรรม และจรัส [37] สรุปว่ากาอิมัลชันโพลีเมอร์ริค ไอโซไซยานาต (EPI) ที่ทดสอบเป็นกาวที่มีความทนทานต่อสถานะบ่มน้ำเดือดรุนแรงได้พอสมควร โดยมีไม้ยางพารา ไม้เรเดเอลเดอร์ ไม้สัก และไม้บีช ให้ค่าความแข็งแรงของรอยต่อเกยอยู่ในเกณฑ์ของมาตรฐาน DIN EN 204 ประเภทความทนทาน ชั้น D4 ซึ่งสูงกว่ากาว PVAc ที่มีประเภทความทนทานเพียงชั้น D2 เท่านั้น ส่วนคุณภาพของการยึดเหนี่ยวของกาวกับไม้นั้นนอกจากจะขึ้นอยู่กับคุณภาพของกาวที่ใช้ต่างแหล่งและต่างชนิดกันแล้ว ยังขึ้นอยู่กับคุณภาพของพื้นผิวหน้าของไม้แต่ละชนิดด้วย ดังเช่นผลของการติดกาว EPI กับไม้ประดู่ ไม้โอ๊ก และไม้สนลาว ที่ให้ค่าความแข็งแรงของรอยต่อเกยค้อยกว่าชนิดอื่น

ในปี ค.ศ. 2005 Ismail Aydin และ Gursel Colakoglu [38] ได้ทำการศึกษาการบำบัดก่อนทำการทดลองด้วยสารเคมีเพื่อนำไปใช้กับพื้นผิวที่เป็นไม้เป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวางเพื่อจะปรับปรุงความสามารถในการเชื่อมพันธะ ความทนทานต่อน้ำและความว่องไวในการเกิดพันธะระหว่างกาวกับไม้ นอกเหนือจากวิธีการทางเคมี วิธีการเตรียมตัวอย่างทางกายภาพบางอย่าง เช่น การขัดกระดาษทราย การไสด้วยกบไสไม้สามารถลดปัญหาที่เกี่ยวกับการยึดเกาะและเป็นการปรับปรุงการเชื่อมพันธะกันระหว่างไม้กับกาว ในการศึกษาครั้งนี้จะใช้ไม้อัดที่ได้มาจากต้นบีชที่ผ่านการอบด้วยไอน้ำ ลักษณะกลมที่มีความหนา 2 มิลลิเมตรเป็นวัตถุดิบ จากนั้นนำไม้มาอบทั้งวิธี air-drying และ oven-drying หลังจากการอบแล้วพื้นผิวหน้าของไม้บางส่วนจะถูกนำไปขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 100 และ 180 กริต ชั้นทั้งสามของไม้อัดทั้งที่ขัดและไม่ขัดด้วยกระดาษทราย โดยมีการยึดติดด้วยกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์และฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์เรซินเพื่อศึกษาถึงผลของการขัดด้วยกระดาษทรายต่อลักษณะทางกายภาพของมัน และยังได้มีการศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอช ความหยาบของพื้นผิวและความเปื่อยของการยึดติดของกาว ความเปื่อยของไม้อัด สามารถศึกษาได้โดยการวัดมุมสัมผัสตามวิธี sessile drop ซึ่งคุณสมบัติของไม้อัดที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ศึกษาหลังผ่านกระบวนการขัดด้วยกระดาษทราย ค่าความแข็งแรงของแรงเฉือนและแรงดัดโค้งของไม้อัดที่ขัดด้วยกระดาษทรายแล้วและไม่ขัดซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดของกาวและวิธีการอบไม้อัด

ในปี ค.ศ. 2004 Wolfgang Gindl และคณะ[39] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการใส่เรซินเข้าไปเซลล์ของไม้ซึ่งอาจจะเพิ่มความคงทนของการยึดติดของพันธะของกาวในงานวิจัยนี้จะศึกษาการ

แพร่ของสารประกอบเรซินเข้าไปในผนังเซลล์ซึ่งแบ่งเป็นสองระบบ คือระบบพีนอลฟอร์มาลดีไฮด์ (PF) และพอลิเมอร์ิก เมทิลีนไดฟีนิลไดไอโซไซยาเนต (pMDI) ตามลำดับ การหาค่าการแพร่สามารถสังเกตได้จากแถบดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตของเรซินทั้งสองชนิด ซึ่งผลของการแพร่ของเรซินเข้าไปในผนังเซลล์ต่อคุณสมบัติทางกายภาพสามารถประเมินได้จาก nanoindentation ซึ่งจะแสดงปริมาณ เรซินชนิดระบบพีนอลฟอร์มาลดีไฮด์ ที่แพร่เข้าไปในผนังเซลล์แต่ไม่สามารถตรวจพบสารประกอบพอลิเมอร์ิก เมทิลีน ไดฟีนิลไดไอโซไซยาเนต จากการตรวจสอบสารยึดติดทั้งสองพบว่าผนังเซลล์ที่มีพื้นผิวที่ติดกันแล้วจะถูกทำลายในระหว่างการใส่ ส่วนการแพร่ของสารประกอบเรซินเข้าไปในผนังเซลล์ที่ไม่ถูกทำลายค่าโมดูลัสจะไม่เปลี่ยนแปลงจะเพิ่มค่าความแข็งของผนังเซลล์ กับก้าว ซึ่งผนังเซลล์ถูกทำลายเนื่องจากการใส่ส่งผลให้ค่าความแข็งและค่าโมดูลัสลดลง สรุปได้ว่าเพื่อให้ได้การเชื่อมพันธะที่ดีดังนั้นจึงจำเป็นต้องทากาวในโครงสร้างของไม้ให้ลึกเพียงพอเพื่อจะได้ไม่ทำลายผนังเซลล์

บทที่ 3

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 สารเคมี

3.1.1 สารเคมีสำหรับเตรียมน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์

- น้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียสูง
(HA Latex, บริษัทไทยรับเบอร์ลาเท็กซ์กรุ๊ป จำกัด)
- ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์, H_2O_2 (50%, Commercial Grade, Peroxythai)
- กรดฟอร์มิก, $CHOOH$ (98-100%, Merck)
- เมทานอล, CH_3OH (99.9%, Lab-Scan)
- Teric N30

3.1.2 สารเคมีสำหรับเตรียมกาวยาง

- โซเดียมไฮดรอกไซด์, KOH (85%, A.R.Grade, Lab-Scan)
- ซิงค์ออกไซด์, ZnO (50%, Lucky Four Co.,Ltd.)
- กำมะถัน, S (50%, Lucky Four Co.,Ltd.)
- แซลลิไซลิก, $ZDEC$ (50%, Lucky Four Co.,Ltd.)
- วิงสเตย์ แอล (50%, Lucky Four Co.,Ltd.)
- ไททานเนียมไดออกไซด์, TiO_2 (50%, Lucky Four Co.,Ltd.)
- Potassium oleate (10%, Lucky Four Co.,Ltd.)
- Carboxylmethylcellulose Sodium salt, CMC
(1,500-4,500 mPa.s, Fluka)
- Salicylic acid

3.1.3 สารเคมีสำหรับเตรียมสารเพิ่มการยึดติด

- สารเพิ่มการยึดติดตามขอบเขตการวิจัย
 1. แป้งข้าวเหนียว (ชนิดโม่น้ำ ตราช้างทะเล)
 2. คิวมาโรน อินดีน เรซิน (Coumarone indene resin)
- สารเพิ่มการยึดติดนอกขอบเขตการวิจัย
 1. Petroleum resin
 2. Terpene phenolic resin
 3. ชัน (Dammar)
- โทลูอีน (99.5%, A.R. Grade, Lab-Scan)
- กรดโอเลอิก
- พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol, PVA)

3.2 อุปกรณ์

3.2.1 ปฏิกรณ์ (Reactor) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ แสดงดังภาพประกอบที่ 23 ประกอบด้วย

- ขวดแก้วขนาดความจุ 5 ลิตร สำหรับทำปฏิกิริยา
- ชุดใบพัดกวนต่อเข้ากับมอเตอร์
- อ่างน้ำร้อน (Water bath) สำหรับควบคุมอุณหภูมิ สามารถปรับอุณหภูมิในอ่างน้ำได้สูงสุด 110 องศาเซลเซียส

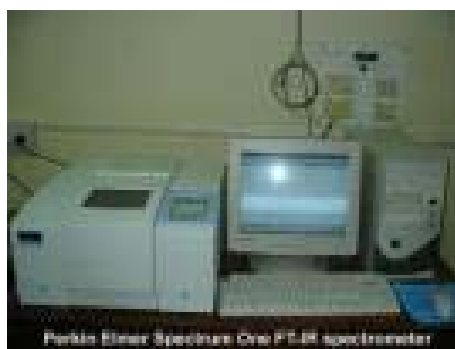


ภาพประกอบที่ 23 แสดงชุดอุปกรณ์สำหรับเตรียมน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์

3.2.2 เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Fourier

Transform Infrared spectrophotometer, FT-IR)

ยี่ห้อ Bruker รุ่น EQUINOX55 ใช้ศึกษาโครงสร้างทางเคมีของสาร โดยอาศัยรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงอินฟราเรดที่ความยาวคลื่น 0.8-200 ไมโครเมตร หรือรังสีที่มีเลขคลื่น 12,500-50 cm^{-1} ลักษณะของเครื่องแสดงดังภาพประกอบที่ 24



ภาพประกอบที่ 24 แสดงเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

3.2.3 เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning

Calorimeter, DSC)

ใช้ศึกษาสมบัติด้านความร้อนของสาร ซึ่งสามารถลดอุณหภูมิให้ต่ำลง เพื่อหาค่าอุณหภูมิกลายแก้ว (Glass transition temperature, T_g) โดยใช้ไนโตรเจนเหลว ลักษณะของเครื่องแสดงดังภาพประกอบที่ 25



ภาพประกอบที่ 25 แสดงเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์

3.2.4 เครื่องทดสอบสมบัติด้านการดึง (Universal testing machine)

ยี่ห้อ LLOYD รุ่น LR 30 K หัวจับทดสอบแรงดึงแบบ Parallel wedge grip TG.28 (30 KN) ลักษณะของเครื่องแสดงดังภาพประกอบที่ 26



ภาพประกอบที่ 26 แสดงเครื่องทดสอบสมบัติด้านการดึง

3.2.5 ตู้อบอากาศร้อน (Hot air oven)

ยี่ห้อ EYELA รุ่น NDO-600 N สามารถปรับอุณหภูมิการใช้งานได้สูงสุด 250 องศาเซลเซียส

3.2.6 เครื่องชั่งไฟฟ้า (Electrical balance)

ยี่ห้อ METTLER รุ่น TOLEDO ชั่งได้ละเอียด 0.01 กรัม สามารถรับน้ำหนักได้สูงสุด 5,000 กรัม

3.2.7 เครื่องวัดความหนืด อาร์ วี บรูกฟิลด์ (RV Brook-field viscometer)

รุ่น LVT สามารถใช้ความเร็วในการหมุนได้สูงสุดที่ 60 รอบต่อนาที ลักษณะของเครื่องแสดงดังภาพประกอบที่ 27



ภาพประกอบที่ 27 แสดงเครื่องวัดความหนืด อาร์ วี บรูกฟิลด์

3.2.8 เครื่องหมุนเหวี่ยงแบบควบคุมอุณหภูมิ (Centrifuging refrigerated)

ยี่ห้อ SORVALL รุ่น RC 5B plus สามารถปรับอุณหภูมิการใช้งานได้ในช่วง -20 ถึง 40 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการหมุนสูงสุดที่ 25,000 รอบต่อนาที ลักษณะของเครื่องแสดง ดังภาพประกอบที่ 28



ภาพประกอบที่ 28 แสดงเครื่องหมุนเหวี่ยง

3.2.9 เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH-meter)

ยี่ห้อ ORION รุ่น 420A

3.3 วิธีการวิจัย

3.3.1 การเตรียมน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์จากปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน [10]

การเตรียมน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ โดยใช้สารเคมีตามอัตราส่วนที่แสดงดังตารางที่ 8 นำน้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียสูงมาเจือจางปริมาณเนื้อยางแห้ง (Dry Rubber Content, DRC) เป็น 20 % โดยน้ำหนัก แล้วเติมลงในปฏิกรณ์ที่มีเครื่องกวน ปรับอุณหภูมิให้ได้ 50 องศาเซลเซียส แล้วเติมสบู Teric N30 เข้มข้น 10% โดยน้ำหนัก เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำยางจับตัว กวนให้เข้ากันประมาณ 20 นาที เติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และกรดฟอร์มิกแล้วปล่อยให้เกิดปฏิกิริยา 9 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างประมาณ 10 มิลลิลิตร เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณหมู่อีพอกไซด์ด้วยเครื่องอินฟราเรด สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (FT-IR) และค่าอุณหภูมิกลายแก้วด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ โดยนำตัวอย่างที่ได้ไปจับตัวด้วยเมทานอล ริดให้เป็นแผ่นบางๆ ล้างด้วยน้ำ หลายๆ ครั้ง หลังจากนั้นนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 36 ชั่วโมง

นำน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่ได้ไปปั่นโดยเครื่องหมุนเหวี่ยงที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส ความเร็ว 7,000 - 8,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาทีเพื่อปรับค่า DRC ให้เป็น 60% โดยน้ำหนัก ก่อนที่จะนำไปทำการ

ตารางที่ 8 แสดงอัตราส่วนของสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง [10]

สารเคมี	ปริมาณที่ใช้ (กรัม)
Latex, dry weight	115.6
Hydrogen peroxide	797
Formic acid	174
Teric N30	50

3.3.2 การวิเคราะห์สมบัติของน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์

3.3.2.1 การวิเคราะห์ปริมาณหมู่อีพอกไซด์

นำตัวอย่างน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่แห้งประมาณ 2 กรัม มาตัดเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วละลายในคลอโรฟอร์มในหลอดทดลองขนาดกลาง ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 1 คืน หรือจนยางเกิดลักษณะเจล หลังจากนั้นนำเจลที่ได้ไปทาเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ บนเซลล์โพแทสเซียมโบรไมด์ (KBr) นำไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จนกระทั่งตัวทำละลายระเหยหมด จึงนำไปวิเคราะห์หาปริมาณหมู่อีพอกไซด์ด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (FT-IR) และเทคนิคแมกเน็ติก เรโซแนนซ์สเปกโตรสโกปี ($^1\text{H-NMR}$)

3.3.2.2 การวิเคราะห์สมบัติเชิงความร้อน

นำตัวอย่างน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่แห้งแล้วประมาณ 10 มิลลิกรัม บรรจุลงในเซลล์อลูมิเนียม แล้วนำไปวางในตำแหน่งวางเซลล์ของเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (DSC) ทำการทดลองภายใต้สภาวะบรรยากาศไนโตรเจน โดยใช้ไนโตรเจนเหลวเป็นสารหล่อเย็น เพื่อลดอุณหภูมิของตัวอย่างลงจนมีอุณหภูมิต่ำกว่าค่าอุณหภูมิกลายแก้วของยางธรรมชาติ คงที่ที่อุณหภูมินั้นไว้ 10 นาที ให้ความร้อนแก่ตัวอย่างด้วยอัตราคงที่ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที บันทึกค่าอุณหภูมิกลายแก้วของยางตัวอย่างที่ได้

3.3.3 การเตรียมสารเคมีสำหรับกาว

วิสเทย์ แอล 50% โดยน้ำหนัก (สารป้องกันการเสื่อมสภาพ)

ไททาเนียมไดออกไซด์ 50% โดยน้ำหนัก (สารให้สีขาว)

ซิงค์ออกไซด์ 50% โดยน้ำหนัก (สารกระตุ้น)

แซดดีอีซี 50% โดยน้ำหนัก (สารเร่งปฏิกิริยาให้ยางคงรูป)

กำมะถัน 50% โดยน้ำหนัก (สารทำให้ยางคงรูป)

สารเคมีที่ใช้ผสมกับกาวยางจะใช้ในรูปของดิสเพิซชันโดยสารเคมีที่ใช้ 50 กรัมต่อน้ำ 48 กรัมต่อสารช่วยในการกระจาย 2 กรัม นำไปบดด้วยเครื่องบดมิลเป็นเวลา 48 ชั่วโมง ยกเว้น กำมะถันที่ต้องบดด้วยเป็นเวลา 72 ชั่วโมง

3.3.4 การเตรียมสารเพิ่มการยึดติด

1. แป้งข้าวเหนียวเจลาติไนซ์

เตรียมแป้งข้าวเหนียวเจลาติไนซ์ 5, 10 และ 15% โดยน้ำหนัก ตัวอย่างการเตรียม แป้งข้าวเหนียวเจลาติไนซ์ 5% โดยน้ำหนัก ผสมแป้งข้าวเหนียว 5 กรัม กับน้ำกลั่น 95 กรัม ใน ปีกเกอร์ กวนผสมบนเครื่องให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

2. คิวมาโรนอิมัลชัน (Coumarone emulsion) (ขอแนะนำโดย รศ. ดร. เจริญ นาคะ สรรค์)

เตรียมในรูปอิมัลชันแสดงดังภาพประกอบที่ 29 โดยประกอบด้วย 4 ขั้นตอนคือ

ขั้นตอนที่ 1

ละลายคิวมาโรน อินดิน เรซินปริมาณ 40 กรัม ในโทลูอีน 43 กรัม ที่อุณหภูมิห้อง อุ่นในอ่างน้ำร้อนที่ 75 องศาเซลเซียส 25 นาที เติมกรดโอเลอิก 1.4 กรัม โดยกวนตลอดเวลาจะได้ สารเคมีส่วนที่ 1 มีสีน้ำตาลใสและเหลว

ขั้นตอนที่ 2

ละลายโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 0.34 กรัม ในน้ำปริมาณ 1.02 กรัม แล้ว กวนให้เข้ากันจะได้สารเคมีส่วนที่ 2

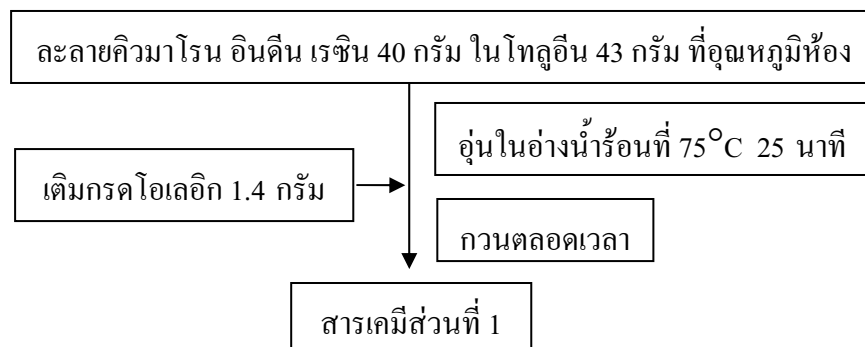
ขั้นตอนที่ 3

ละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (MW 93,000 g/mole) ปริมาณ 12 กรัม ในน้ำ ปริมาณ 86 กรัม ให้ความร้อนแล้วกวนให้เข้ากันจนละลายจะได้สารเคมีส่วนที่ 3

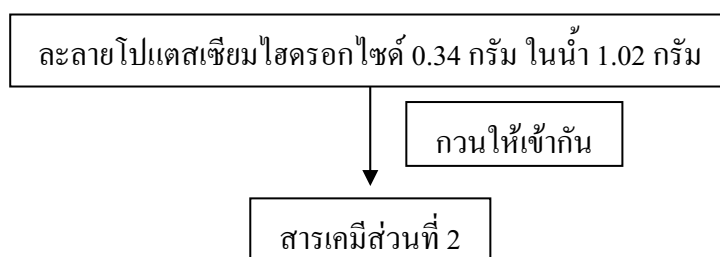
ขั้นตอนที่ 4

เตรียมสารเพิ่มการยึดติดในรูปอิมัลชันที่ 75 องศาเซลเซียส โดยนำสารเคมีส่วนที่ 2 หยดผสมกับสารเคมีส่วนที่ 1 อย่างช้าๆ สารที่ได้จะเริ่มข้นขึ้น ระหว่างผสมต้องกวนอย่างแรง ตลอดเวลา หลังจากนั้นผสมสารเคมีส่วนที่ 3 จะได้คิวมาโรนอิมัลชัน

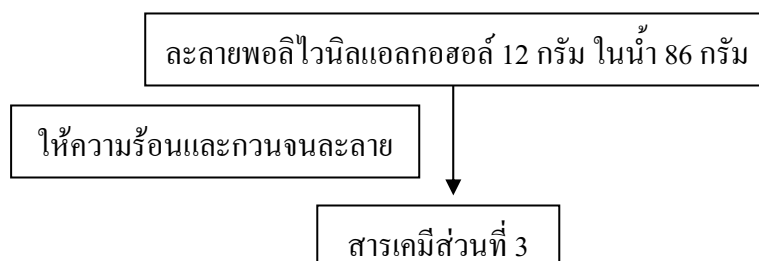
ขั้นตอนที่ 1



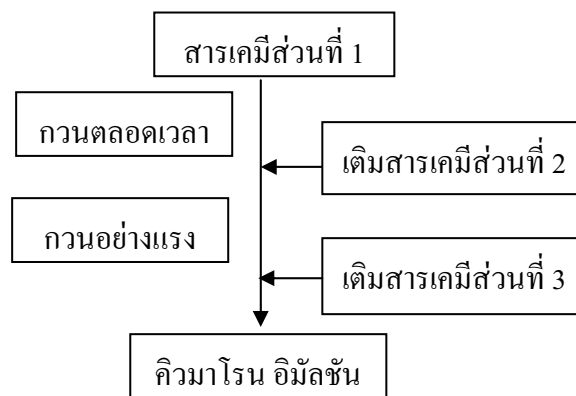
ขั้นตอนที่ 2



ขั้นตอนที่ 3



ขั้นตอนที่ 4



ภาพประกอบที่ 29 แสดงวิธีการเตรียมคิωμαโรนอิมัลชัน (ข้อแนะนำโดย รศ. ดร. เจริญ นาคะสรรค์)

3. ปิโตรเลียมและเทอร์พีนฟีนอลิกอิมัลชัน (Petroleum and Terpene phenolic emulsion) เตรียมในรูปอิมัลชันโดยใช้วิธีการเช่นเดียวกับการเตรียมคิวมาโรนอิมัลชัน

4. ชัน (Dammar) นำไปบดย่อยด้วยเครื่อง Ball mills เป็นเวลา 48 ชั่วโมงและผสมตามปริมาณที่กำหนด

3.3.5 การเตรียมกาวยาง

ในส่วนการศึกษาเบื้องต้นได้ใช้กาวยางธรรมชาติอีพอกไซค์สูตรพื้นฐานตามสูตรอ้างอิงการผลิตกาวยางจากน้ำยางเพื่อใช้ในงานทั่วไป [18] แสดงดังตารางที่ 9 โดยเลือกใช้เปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซค์ของน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซค์ที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับเตรียมกาวยางธรรมชาติอีพอกไซค์ และทำการ ศึกษาปริมาณของสารเพิ่มการยึดติดที่มีผลต่อสมบัติของกาวจากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซค์ เมื่อได้สัดส่วนของสารเพิ่มการยึดติดที่เหมาะสมได้มีการปรับปรุงกาวยางสูตรพื้นฐาน โดยใช้ชื่อว่ากาวยางธรรมชาติ อีพอกไซค์สูตรปรับปรุงแสดงดังตารางที่ 10 โดยมีการเติม Carboxy methyl cellulose (CMC) 5% โดยน้ำหนัก เพื่อเพิ่มความหนืดของกาว Potassium oleate 10% โดยน้ำหนัก เพื่อเพิ่มความเสถียรและ Salicylic acid 15% โดยน้ำหนัก สำหรับการป้องกันเชื้อรา (ขอแนะนำโดย รศ. ดร. เจริญ นาคะสรรรค์)

ตารางที่ 9 แสดงอัตราส่วนของสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมกาวยางธรรมชาติอีพอกไซค์

สูตรพื้นฐาน [18]

สารเคมี	น้ำหนักแห้ง (phr)
60% น้ำยางธรรมชาติอีพอกไซค์	100
10% โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์	0.5
50% วิงสเตย์ แอล	1.5
50% ไททานเนียมไดออกไซด์	1.5
50% ซิงค์ออกไซด์	2
50% แซดดีอีซี	1
50% กำมะถัน	2
สารเพิ่มการยึดติด ได้แก่ แป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ และคิวมาโรนอิมัลชัน	อัตราส่วนต่างๆ

หมายเหตุ % คือ % โดยน้ำหนัก

3.3.6 การทดสอบสมบัติของกาวยางตามมาตรฐานต่างๆ

(รายละเอียดในบทที่ 2 หัวข้อ 3.5)

- ทดสอบสมบัติของกาวตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกาวยาง (มอก.521-2527) ได้แก่การหาปริมาณเนื้อกาว ความหนาแน่น และความหนืด
 - ทดสอบสมบัติของกาวตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกาวโพลีไวนิล อะซิเตอิมัลชัน (มอก.181-2530) ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง
 - ทดสอบความต้านแรงลอก (Cleavage peel strength) (ASTM D3807) ใช้ชั้นทดสอบจำนวน 5 ชั้นต่อหนึ่งตัวอย่าง
 - ทดสอบความต้านแรงเฉือน (Shear strength) (ASTM D2339) ใช้ชั้นทดสอบจำนวน 10 ชั้นต่อหนึ่งตัวอย่าง
 - ทดสอบความแข็งแรงของรอยต่อแบบนิ้วมือประสาน (ทำการทดสอบเฉพาะกาว สูตรผสมสารเพิ่มการยึดติดที่ให้ค่าความต้านแรงเฉือนสูงสุด)
 1. การดึงขนานเสี้ยน (Tension parallel to grain) (AITC Test 106. 1967) ใช้ชั้นทดสอบจำนวน 10 ชั้นต่อหนึ่งตัวอย่าง
 2. การดัดสถิตย (Static bending) (ASTM 1989a) ใช้ชั้นทดสอบจำนวน 10 ชั้นต่อหนึ่งตัวอย่าง
- ตารางที่ 10 แสดงอัตราส่วนของสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมกาวยางธรรมชาติอีพอกไซค์ สูตรปรับปรุง

	น้ำหนักแห้ง (phr)
60% น้ำยางธรรมชาติอีพอกไซค์	100
10% โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์	0.5
50% วิงสเตย์ แอล	1.5
50% ไททานเนียมไดออกไซด์	1.5
50% ซิงค์ออกไซด์	2
50% แซลลิวไซค์	1
50% กำมะถัน	2
5% CMC	3
10% Potassium oleate	3
15% Salicylic acid	0.3
สารเพิ่มการยึดติด ได้แก่ แป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ และ คิวมาโรนอิมัลชัน	อัตราส่วนต่างๆ

หมายเหตุ % คือ % โดยน้ำหนัก

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

ส่วนที่ 1 การรายงานผลตามขอบเขตงานวิจัยโดยใช้ Coumarone resin และแป้งข้าวเหนียว
เจลลาตินไนซ์ เป็นส่วนผสมร่วมในกาวน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซค์

4.1 การวิเคราะห์สมบัติของน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซค์

4.1.1 ลักษณะและสมบัติทางกายภาพของน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซค์

น้ำยางธรรมชาติอีพอกไซค์ที่เตรียมได้มีค่าความหนาแน่น และความหนืดเท่ากับ 0.85 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และ 9,750 cps ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับความหนาแน่น และความหนืดของน้ำยางข้นที่เท่ากับ 0.91 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และ 9,870 cps ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบสีของน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซค์กับน้ำยางข้น พบว่าน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซค์มีสีขาวขุ่น แต่น้ำยางข้นมีสีเหลืองก่อนไปทางน้ำตาลอ่อน ดังแสดงในภาพประกอบที่ 30

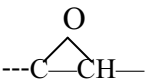


ภาพประกอบที่ 30 แสดงลักษณะน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซค์จากปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันโดยใช้
กรดเปอร์ฟอร์มิก (ขวา) และลักษณะน้ำยางข้น (ซ้าย)

4.1.2 ผลของการวิเคราะห์ปริมาณหมู่ไอพอกไซด์

จากการทดลองเตรียมน้ำยางธรรมชาติไอพอกไซด์จากปฏิกิริยาไอพอกซิเดชัน โดยใช้กรดเปอร์ฟอร์มิกทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 ชั่วโมง และเก็บตัวอย่างน้ำยางธรรมชาติไอพอกไซด์ทุก 1 ชั่วโมง เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณหมู่ไอพอกไซด์ด้วยเทคนิคแมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโคปี ($^1\text{H-NMR}$) และเทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (FT-IR) พบตำแหน่งของหมู่ฟังก์ชันของยางธรรมชาติไอพอกไซด์ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของวัชรินทร์ สายน้ำใส [7] แสดงดังตารางที่ 11

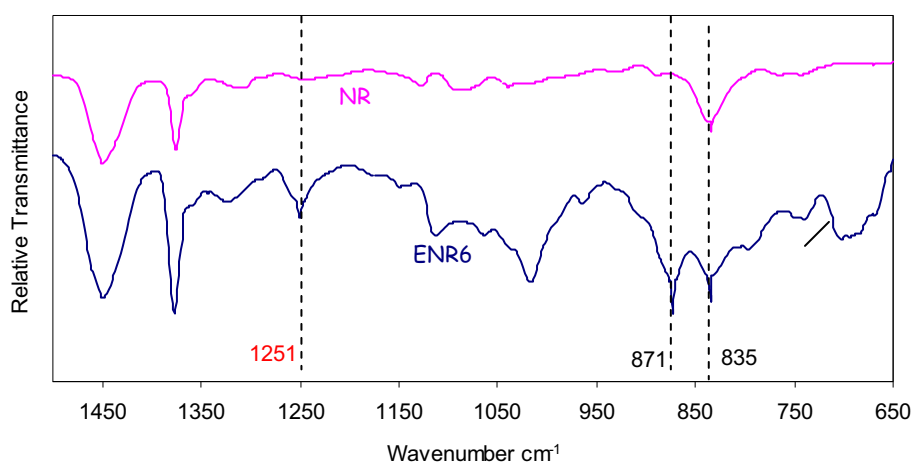
ตารางที่ 11 แสดงตำแหน่งของหมู่ฟังก์ชันของยางธรรมชาติไอพอกไซด์ [7]

หมู่ฟังก์ชัน	FT-IR (cm^{-1})	$^1\text{H-NMR}$ (ppm)
-CH ₃	2956, 1377	1.66
-CH ₂ -	2925, 1446	2.06
-C=C-	1657	-
=CH(<i>cis</i> -1,4)	835	-
-C=CH-	-	5.01
	870, 1240	2.70
OH	3600-3200	-
Furan	1065	-
Ether	1800-1650	-

หลังจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (FT-IR) เพื่อหาสเปกตรัมอินฟราเรดของยางธรรมชาติไอพอกไซด์แสดงดังภาพประกอบที่ 31 พบแถบการดูดกลืนแสงอินฟราเรดที่ตำแหน่งเลขคลื่นใหม่เพิ่มขึ้นมาจากสเปกตรัมอินฟราเรดของยางธรรมชาติ คือปรากฏที่ตำแหน่งเลขคลื่น 871 cm^{-1} และ 1251 cm^{-1} ซึ่งแถบการดูดกลืนแสงอินฟราเรดที่ตำแหน่งดังกล่าวเป็นตำแหน่งของหมู่ไอพอกไซด์ แสดงว่ามีหมู่ไอพอกไซด์อยู่บนโครงสร้างของยางธรรมชาติ หลังการทำปฏิกิริยาไอพอกซิเดชัน นำสเปกตรัมอินฟราเรดของยางธรรมชาติไอพอกไซด์ที่ได้ไปคำนวณหาอัตราส่วนการดูดกลืนแสง (Absorbance ratio) ดังสมการที่ (3) ของแถบการดูดกลืนแสงอินฟราเรดที่ตำแหน่งเลขคลื่น 870 cm^{-1} ต่อแถบการดูดกลืนแสงอินฟราเรดที่ตำแหน่งเลขคลื่น 835

cm^{-1} ซึ่งแสดงการเกิด Out of plane bending ของพันธะ C-H ที่เกาะกับ C=C เพื่อคำนวณหาปริมาณ หมู่อีพอกไซด์

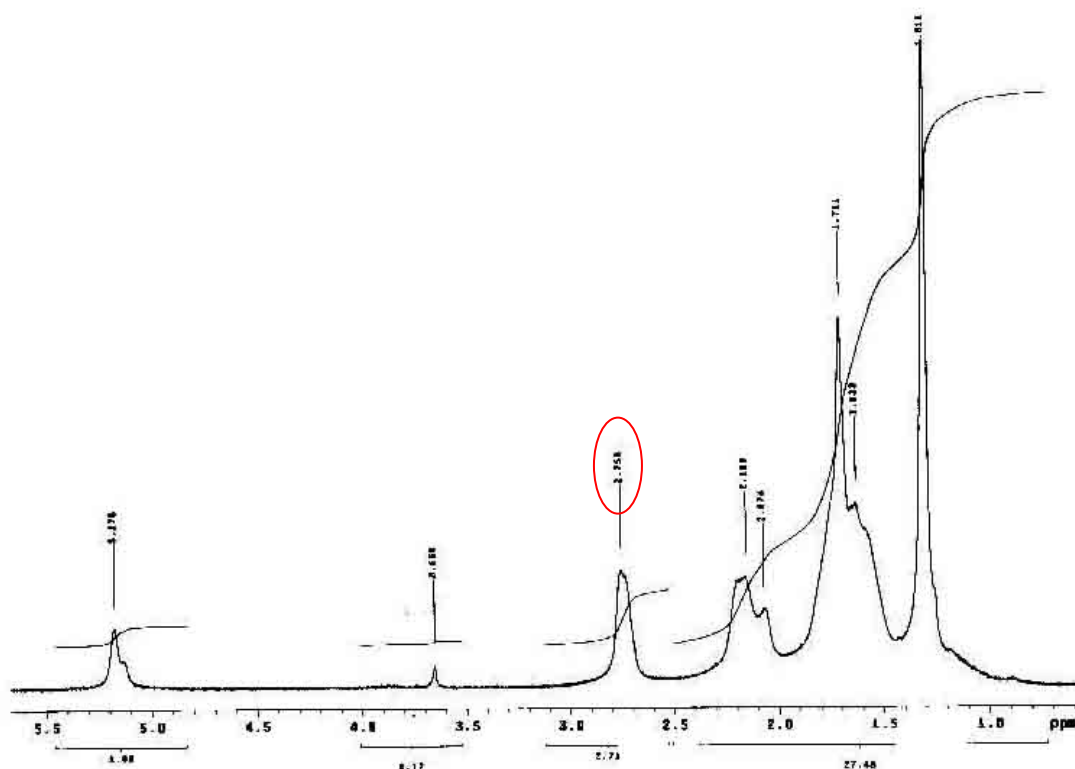
$$\text{Absorbance ratio} = \frac{a_{870}}{a_{870} + a_{835}} \quad (3)$$



ภาพประกอบที่ 31 แสดงกราฟสเปกตรัมอินฟราเรดของยางธรรมชาติและยางธรรมชาติอีพอกไซด์ ที่ระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยา 6 ชั่วโมง

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโคปี ($^1\text{H-NMR}$) พบว่า $^1\text{H-NMR}$ spectrum ของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ในภาพประกอบที่ 32 ซึ่งแสดงโปรตอนที่เกี่ยวข้องอยู่กับคาร์บอนที่พันธะคู่ของยางธรรมชาติที่ประมาณ 5.14 ppm และโปรตอนที่เกี่ยวข้องอยู่กับคาร์บอนของ หมู่อีพอกไซด์ที่ประมาณ 2.70 ppm แสดงว่าหมู่อีพอกไซด์เกิดขึ้นบนโครงสร้างของยางธรรมชาติ สามารถคำนวณเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซด์ได้จากอัตราส่วนของพื้นที่ใต้จุดยอด โดยอาศัยความสัมพันธ์ดังสมการที่ (2)

$$\% \text{ Mole epoxide} = \frac{A_{2.70}}{A_{2.70} + A_{5.14}} \times 100 \quad (2)$$

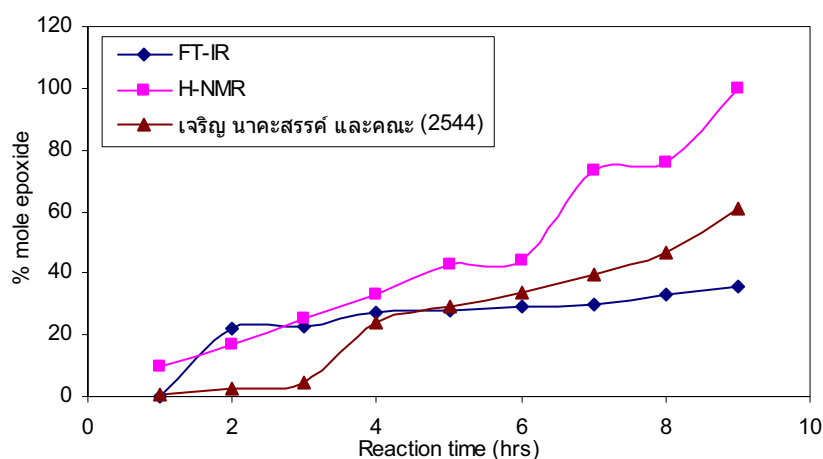


ภาพประกอบที่ 32 แสดง ^1H -NMR สเปกตรัมของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่ระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยา 6 ชั่วโมง

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ด้วยเทคนิค ^1H -NMR โดยคำนวณเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซด์ ได้จากอัตราส่วนของพื้นที่ใต้จุดยอดที่โปรตอนเกาะอยู่กับคาร์บอนที่เกิดพันธะคู่ที่ประมาณ 5.14 ppm ต่อพื้นที่ใต้จุดยอดของโปรตอนที่เกาะอยู่กับคาร์บอนของหมู่อีพอกไซด์ที่ประมาณ 2.70 ppm และจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR ได้สเปกตรัมของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ แล้วนำไปคำนวณอัตราส่วนการดูดกลืน (Absorbance ratio) ของแถบการดูดกลืนแสงอินฟราเรดที่ตำแหน่งเลขคลื่น 870 cm^{-1} ต่อแถบการดูดกลืนแสงอินฟราเรดที่ตำแหน่งเลขคลื่น 835 cm^{-1} เพื่อคำนวณปริมาณหมู่อีพอกไซด์โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน [11] ซึ่งผลการคำนวณแสดงดังตารางที่ 12 และในภาพประกอบที่ 33

ตารางที่ 12 อัตราส่วนการดูดกลืนและปริมาณหมู่อีพอกไซด์ของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่เวลาต่างๆ ในการทำปฏิกิริยาโดยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR และเทคนิค $^1\text{H-NMR}$

เวลาในการทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง)	เทคนิค FT-IR		เทคนิค $^1\text{H-NMR}$
	Absorbance ratio	% Mole epoxide	% Mole epoxide
1	-	-	9.9
2	0.42	22	16.7
3	0.44	23	25.4
4	0.47	27	32.9
5	0.48	28	42.8
6	0.49	29	44.1
7	0.50	30	73.2
8	0.53	33	75.7
9	0.55	36	100



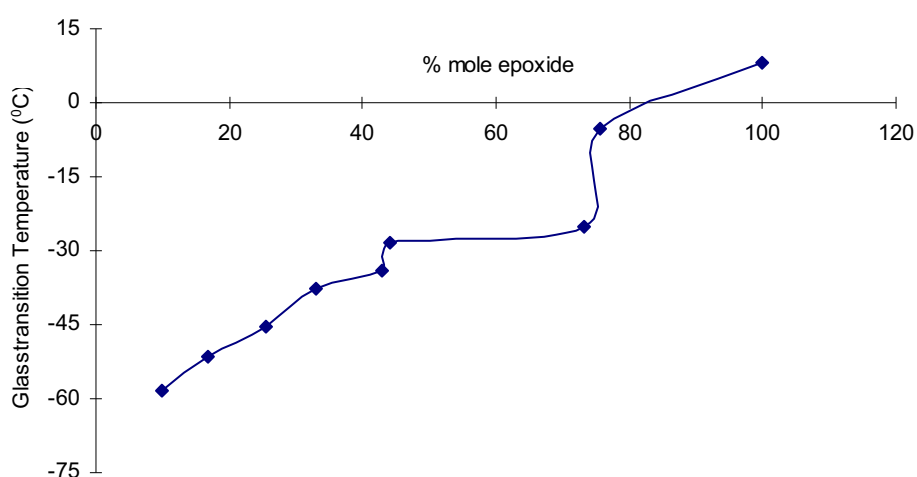
ภาพประกอบที่ 33 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซด์กับเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

จากภาพประกอบที่ 33 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซด์กับเวลาในการทำปฏิกิริยา พบว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาจะทำให้เกิดหมู่อีพอกไซด์บนโมเลกุลยางธรรมชาติมากขึ้นซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของเจรีนุ นาเคสสรค์ และคณะ, 2544 [10]

ด้วยเทคนิค FT-IR โดยพบว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน หมู่อีพอกไซด์ที่เกิดขึ้นบนโมเลกุลของยางธรรมชาติก็จะมีมากขึ้นด้วย ทั้งนี้เนื่องมาจากเวลาในการทำปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้นทำให้โอกาสที่กรดเปอร์ฟอร์มิกจะเข้าทำปฏิกิริยาตรงตำแหน่งพันธะคู่ที่ไม่อิมดับบนโมเลกุลของยางธรรมชาติ เพื่อเกิดเป็นหมู่อีพอกไซด์มีมากขึ้น อย่างไรก็ตามผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR และเทคนิค $^1\text{H-NMR}$ ยังมีความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซด์อยู่มาก ซึ่งหากดูจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR ผลที่ได้อาจมีความคลาดเคลื่อนมาก เนื่องจากการคำนวณอัตราส่วนการดูดกลืนจากความสูงของตำแหน่งเลขคลื่น (a ในสมการที่ 1) ซึ่งหากใช้ Base line ที่ต่างกันก็จะมีผลต่อการคำนวณอัตราส่วนการดูดกลืนอย่างยิ่ง นอกจากนี้แล้วต้องนำอัตราส่วนที่ได้ไปอ่านค่าจากกราฟมาตรฐานทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้อีกทางหนึ่ง ซึ่งต่างจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค $^1\text{H-NMR}$ สามารถคำนวณเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซด์ได้จากอัตราส่วนของพื้นที่ใต้จุดยอดได้โดยตรง ดังนั้นในการอ้างอิงเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซด์ในงานวิจัยนี้ขออ้างอิงจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค $^1\text{H-NMR}$

4.1.3 ผลของการวิเคราะห์สมบัติเชิงความร้อน

การวิเคราะห์หาอุณหภูมิคล้ายแก้วของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ได้ โดยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์จากเครื่อง DSC คำนวณหา inflection point ซึ่งเป็นจุดที่แสดงถึงค่าอุณหภูมิคล้ายแก้ว (Glass transition temperature, T_g) ซึ่งผลที่ได้นำไปหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิคล้ายแก้วกับเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซด์ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 34



ภาพประกอบที่ 34 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิคล้ายแก้วกับเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซด์ของยางธรรมชาติอีพอกไซด์

จากภาพประกอบที่ 34 พบว่าค่าอุณหภูมิคล้ายแก้วของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของหมู่อีพอกไซด์ที่มีบนโมเลกุลของยางธรรมชาติ โดยรายงานการวิจัยของ Baker และคณะ 1985 [12] พบว่าการเกิดหมู่อีพอกไซด์ที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 1 เปอร์เซนต์โมลบนโมเลกุลของยางธรรมชาติจะทำให้ค่าอุณหภูมิคล้ายแก้วเพิ่มขึ้นประมาณ 1 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของเจริญ นาคะสรรค์ และคณะ 2544 [10] โดยยางธรรมชาติมีค่าอุณหภูมิคล้ายแก้วประมาณ -72 องศาเซลเซียส สาเหตุที่ค่าอุณหภูมิคล้ายแก้วของยางธรรมชาติอีพอกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของหมู่อีพอกไซด์อาจเนื่องจากหมู่อีพอกไซด์มีสภาพเป็นขั้วและสามารถเกิดการดึงดูดระหว่างโมเลกุลได้ ทำให้โมเลกุลของยางธรรมชาติอีพอกไซด์เกิดการเลื่อนไหลหรือเคลื่อนที่ผ่านโมเลกุลได้ยากขึ้นส่งผลให้ความอ่อนตัวของโมเลกุลลดลงด้วย ทำให้ค่า T_g มีค่าสูงขึ้น แสดงให้เห็นว่าค่า T_g สามารถบ่งบอกถึงสภาพความเป็นขั้วบนโมเลกุลของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ได้ ถ้า T_g มีค่าสูงแสดงว่ายางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่ได้มีสภาพความเป็นขั้วสูง ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้น้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ซึ่งมีเปอร์เซนต์โมลอีพอกไซด์ 44 เปอร์เซนต์โดยมีค่า T_g ประมาณ -30 องศาเซลเซียส

4.2 การเตรียมสารเพิ่มการยึดติด

แป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ที่เตรียมได้มีสีขาวขุ่น ลักษณะเหนียวเหมือนแป้งเปียก ส่วนคิวมาโรน อินดิน เรซินในรูปอิมัลชันนั้นมีสีน้ำตาลเข้ม เนื้อมีลักษณะเป็นเหมือนครีม แต่เหนียวหนืดมาก ดังแสดงในภาพประกอบที่ 35



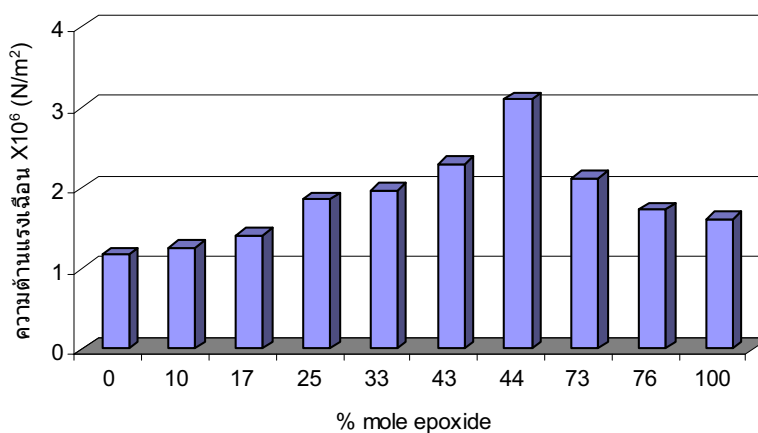
ภาพประกอบที่ 35 แสดงคิวมาโรน อินดิน เรซินในรูปอิมัลชัน (1) แป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ (2)

4.3 การเตรียมและผลการวิเคราะห์กาวยางธรรมชาติอีพอกไซด์

การศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับการเลือกเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซด์ของยางธรรมชาติ-อีพอกไซด์ที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับเตรียมกาวยางธรรมชาติอีพอกไซด์ และการศึกษาปริมาณของสารเพิ่มการยึดติดที่มีผลต่อสมบัติของกาวยางธรรมชาติอีพอกไซด์ โดยใช้กาวยางธรรมชาติอีพอกไซด์สูตรพื้นฐานตามสูตรอ้างอิงการผลิตกาวจากน้ำยางเพื่อใช้ในงานทั่วไปของ วราภรณ์ ขจรไชยกูล และวิภา เสวตกนิษฐ [18]

4.3.1 การเลือกเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซด์ของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับเตรียมกาวยางธรรมชาติอีพอกไซด์

โดยปรับเปลี่ยนเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซด์ของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ในการเตรียมกาว และทดสอบความแข็งแรงของรอยต่อของกาวด้วยเครื่องทดสอบสมบัติด้านการดึง (Universal testing machine) โดยการวัดค่าความต้านแรงเฉือนตามมาตรฐาน ASTM D2339



ภาพประกอบที่ 36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซด์กับค่าความต้านแรงเฉือน

จากภาพประกอบที่ 36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซด์ โดยพิจารณาจากผลการทดลองแปรเปลี่ยนระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันเป็นเวลา 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 และ 9 ชั่วโมงตามลำดับเพื่อให้ได้โมลเปอร์เซ็นต์อีพอกไซด์ 10, 17, 25, 33, 43, 44, 73, 76 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับกับค่าความต้านแรงเฉือน ในพบว่าในช่วงแรกค่าความต้านแรงเฉือนมีค่าเพิ่มขึ้นตามเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซด์จนถึงจุดหนึ่งที่เปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซด์มีค่าเท่ากับ 44%

โมลีโอพอกไซด์ ความต้านแรงเฉือนมีค่าสูงสุด หลังจากนั้นความต้านแรงเฉือนจะมีค่าลดลงเมื่อเปอร์เซ็นต์โมลีโอพอกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่มีเปอร์เซ็นต์โมลีโอพอกไซด์สูงมีความเป็นขี้มูกจนเกินไปแทนที่จะเกิดการดึงดูดระหว่างโมเลกุลของกาวกับไม้เท่านั้น แต่กลับเกิดการดึงดูดระหว่างโมเลกุลของกาวกันเองด้วย ส่งผลให้ความสามารถในการยึดเกาะของกาวกับชิ้นไม้ลดลง

จากผลการทดสอบสรุปได้ว่าค่าเปอร์เซ็นต์โมลีโอพอกไซด์ที่เหมาะสมสำหรับเตรียมกาวยางธรรมชาติอีพอกไซด์ คือ ประมาณ 44% โมลีโอพอกไซด์ เพราะที่ปริมาณโมลเปอร์เซ็นต์ที่สูงกว่านี้ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการออกสูตรกาวเนื่องจากเนื้อกาวที่ได้จะมีลักษณะเป็นก้อนเนื่องจากมีปริมาณโมลเปอร์เซ็นต์มากเกินไปจึงแสดงความเป็นขี้มูกจนเกินไปจึงทำให้มีการยึดเกาะกันเองได้ดี ซึ่งให้ค่าความต้านแรงเฉือนสูงสุด และหลังจากนี้จะใช้คำว่ากาวยางแทนกาวยางธรรมชาติอีพอกไซด์ 44% โมลีโอพอกไซด์

4.3.2 กาวยาง โดยมีสารเพิ่มการยึดติด คือ แป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์

โดยปรับเปลี่ยนเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและปริมาณของแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ เพื่อเลือกเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและปริมาณของแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นสารเพิ่มการยึดติดในกาวยาง

ตารางที่ 13 กาวยางสูตรต่างๆ โดยปรับเปลี่ยนเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและปริมาณของแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์

สูตรกาวยาง	ความเข้มข้นของแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ที่เตรียม % w/w	ปริมาณแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ที่เติมลงไปในกาวยาง (กรัม)
a	5	50
b	10	40
c	10	50
d	10	60
e	15	50
f	15	60

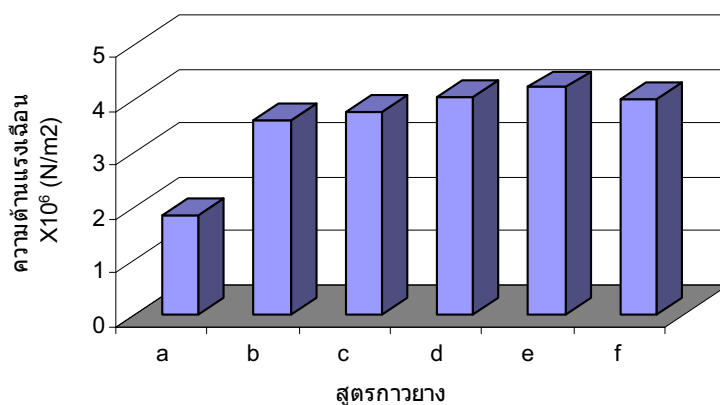


40 กรัม

50 กรัม

60 กรัม

ภาพประกอบที่ 37 แสดงกาวยางสูตรพื้นฐานที่ใช้ 10% โดยน้ำหนักของแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ เป็นสารเพิ่มการยึดติดในปริมาณต่างๆ



ภาพประกอบที่ 38 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกาวยางสูตรต่างๆ กับค่าความต้านแรงเฉือน

ผลการทดสอบความต้านแรงเฉือนของกาวยางสูตรพื้นฐาน เมื่อปรับค่าเปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก และปริมาณของแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ ได้ผลดังนี้ คือ

- กาวยางซึ่งผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ในปริมาณที่เท่ากัน คือ 50 กรัม พบว่ากาว e ที่ใช้แป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 15% โดยน้ำหนัก ให้ค่าความต้านแรงเฉือนสูงสุด

- กาวยางที่ผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 10% โดยน้ำหนัก ความต้านแรงเหนือนมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารเพิ่มการยึดติดที่ใช้ แต่กาวยางที่ผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 15% โดยน้ำหนัก ความต้านแรงเหนือนมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณสาร

จากผลการทดสอบสรุปได้ว่าควรเลือกใช้แป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 10% โดยน้ำหนัก เนื่องจากความต้านแรงเหนือนมีค่าสูงและเพิ่มขึ้นตามปริมาณที่ใช้

4.3.3 กาวยาง โดยมีสารเพิ่มการยึดติด คือ คิวมาโรนอิมัลชัน 22% โดยน้ำหนัก

จากงานวิจัยของสุรชัย สันติวงศ์สถิต (2543) พบว่าสารยึดติดที่นำมาใช้น้ำยางควรอยู่ในรูปอิมัลชัน และจำเป็นต้องมีการปรับความเป็นกรด-ด่างของน้ำยางและสารเพิ่มการยึดติดก่อนด้วย 10% โดยน้ำหนักของโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ เนื่องจากการผสมคิวมาโรนอิมัลชันกับยางที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่างกันมากอาจทำให้น้ำยางเหนียว จับตัวเป็นก้อนและเสียสภาพได้ จึงทำการศึกษาโดยปรับเปลี่ยนความเป็นกรด-ด่างต่างกัน 3 ค่าคือ 7.6, 8.6 และ 9.9 ซึ่งค่าดังกล่าวได้มากจากการวัดน้ำยางธรรมชาติโอพอกไซด์ที่เตรียมได้ ดังแสดงในตารางที่ 14 และทำการทดสอบความต้านแรงเหนือนเป็นคุณสมบัติหลัก ได้ผลดังนี้



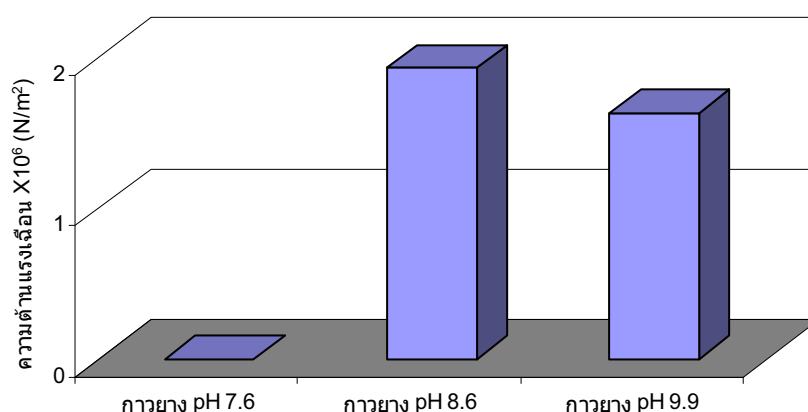
ภาพประกอบที่ 39 แสดงกาวยางที่ค่าความเป็นกรด-ด่างต่างๆ เมื่อใช้คิวมาโรนอิมัลชัน 8 phr เป็นสารเพิ่มการยึดติด

จากภาพประกอบที่ 39 แสดงลักษณะของกาวยางที่ผสมสารเพิ่มการยึดติดชนิดคิวมาโรนอิมัลชัน และมีการแปรค่าความเป็นกรด-ด่างที่ 7.6, 8.6 และ 9.9 พบว่ากาวยางที่มีความเป็นกรด-ด่าง 7.6 มีลักษณะเป็นก้อน อาจเนื่องมาจากความแตกต่างของค่าความเป็นกรด-ด่าง

ระหว่างน้ำยางที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 7.6 กับคิวมาโรนอิมัลชันเมื่อทำการวัดพบว่ามีค่าความเป็นกรด-ด่าง 8.5 ทำให้กาวยางเกิดการเสียสภาพจับตัวเป็นก้อน แต่กาวยางที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 8.6 และ 9.9 ยังคงสภาพเป็นของเหลวหนืดเหมือนเดิม

ตารางที่ 14 แสดงผลของความต้านแรงเฉือนในกาวยางสูตรต่างๆ เมื่อใช้คิวมาโรนอิมัลชัน 8 phr เป็นสารเพิ่มการยึดติด โดยปรับเปลี่ยนค่าความเป็นกรด-ด่างในสูตรกาวพื้นฐาน

สูตรกาว	ค่าความเป็นกรด-ด่าง(pH)	ความต้านแรงเฉือน (N/m^2)
g	7.6	ไม่สามารถวัดได้เนื่องจากกาวจับตัวเป็นก้อน
h	8.6	1.9×10^6
i	9.9	1.6×10^6



ภาพประกอบที่ 40 กราฟแสดงผลของความเป็นกรด-ด่างต่อความต้านแรงเฉือน

ภาพประกอบที่ 40 แสดงผลของความเป็นกรด-ด่างต่อความต้านแรงเฉือน พบว่าความต้านแรงเฉือนของชิ้นทดสอบมีแนวโน้มลดลง เมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างของกาวยางที่ใช้ คิวมาโรนอิมัลชันเป็นสารเพิ่มการยึดติดมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกาวยางที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 8.6 มีค่าใกล้เคียงกับค่าความเป็นกรด-ด่างของคิวมาโรนอิมัลชันที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 8.5 ทำให้กาวยางกับคิวมาโรนอิมัลชันสามารถผสมเข้ากันได้ดี กาวยางจึงสามารถยึดเกาะกับเนื้อไม้ได้ดีกว่ากาวยางที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า จึงส่งผลให้กาวยางที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 8.6 มีค่าความต้านแรงเฉือนสูงที่สุด

จากผลการทดสอบจึงเลือกใช้กาวยางผสมคิวมาโรนอีมีลชันที่มีค่าความเป็น กรด-ด่างประมาณ 8.6 เป็นสารเพิ่มการยึดติดในการผลิตกาวยาง เมื่อได้สัดส่วนของสารเพิ่มการยึดติดที่เหมาะสม ได้มีการปรับปรุงกาวยางสูตรพื้นฐานโดยใช้ชื่อว่ากาวยางสูตรปรับปรุง โดยมีการเติม Carboxy methyl cellulose (CMC) 5% โดยน้ำหนัก เพื่อเพิ่มความหนืดของกาว, Potassium oleate 10 %โดยน้ำหนัก เพื่อเพิ่มความเสถียรและ Salicylic acid 15 %โดยน้ำหนัก สำหรับการป้องกันเชื้อรา และได้มีการนำแป้งข้าวเหนียวเจลาติไนซ์ 10% โดยน้ำหนัก มาผสมกับคิวมาโรนอีมีลชัน 22% โดยน้ำหนัก ในสัดส่วนต่างๆ ที่ 7 และ 8 phr แสดงดังตารางที่ 15 เพื่อใช้เป็นสารเพิ่มการยึดติดอีก ชนิดหนึ่ง โดยปริมาณที่เลือกใช้นี้ได้มาจากการทดสอบความต้านแรงฉีกของกาวยาง ซึ่งพบว่า กาวยางที่ผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาติไนซ์ 10% โดยน้ำหนัก มีค่าความต้านแรงฉีกสูงสุดเมื่อใช้ที่ ปริมาณ 7 phr และกาวยางที่ผสมคิวมาโรนอีมีลชัน 22% โดยน้ำหนัก มีค่าความต้านแรงฉีกสูงสุด เมื่อใช้ที่ปริมาณ 8 phr

ตารางที่ 15 แสดงกายภาพสูตรปรับปรุงโดยปรับเปลี่ยนชนิด และปริมาณของสารเพิ่มการยึดติด (แสดงในรูปน้ำหนักเปียก (กรัม) และน้ำหนักแห้ง (phr))

สูตรกาว	สารเพิ่มการยึดติด	ปริมาณ,กรัม (น้ำหนักเปียก)	ปริมาณ phr (น้ำหนักแห้ง)
j	แป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 10%	60	6
k	แป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 10%	70	7
l	แป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 10%	80	8
m	คิวมาโรนอิมัลชัน 22%	27.3	6
n	คิวมาโรนอิมัลชัน 22%	31.8	7
o	คิวมาโรนอิมัลชัน 22%	36.4	8
p	แป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 10% : คิวมาโรนอิมัลชัน 22%	17.5 : 23.89	1.75 : 5.25
q	แป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 10% : คิวมาโรนอิมัลชัน 22%	35 : 15.93	3.5 : 3.5
r	แป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 10% : คิวมาโรนอิมัลชัน 22%	52.5 : 7.96	5.25 : 1.75
s	แป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 10% : คิวมาโรนอิมัลชัน 22%	20 : 27.3	2 : 6
t	แป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 10% : คิวมาโรนอิมัลชัน 22 %	40 : 18.2	4 : 4
u	แป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 10 % : คิวมาโรนอิมัลชัน 22%	60 : 9.1	6 : 2
v	TOA (กาวโพลีไวนิลอะซีเตตอิมัลชัน)	-	-
w*	Urea Formaldehyde (UF)	-	-

หมายเหตุ* - กาวสังเคราะห์ที่ใช้ในโรงงานได้รับความอนุเคราะห์จากโรงงาน APS WOODS PRODUCTS ถนนกาญจนวนิชย์ ตำบลพะตง อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90230
- % คือ % โดยน้ำหนัก



A : (1) กาวยางที่ไม่ได้ใส่สารเพิ่มการยึดติด (2) กาว TOA (3) กาว UF



B : กาวยางที่ผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 10% โดยน้ำหนัก ปริมาณต่างๆ : (1) 6 phr (2) 7 phr (3) 8 phr



C : กาวยางที่ผสมคิวมาโรนอีมีลชันปริมาณต่างๆ : (1) 6 phr (2) 7 phr (3) 8 phr



D : กาวยางที่ผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 10% โดยน้ำหนัก : คิวมาโรนอิมัลชัน 22% โดยน้ำหนัก ปริมาณ 7 phr ที่อัตราส่วนต่างๆ : (1) 5.25 : 1.75 phr (2) 3.5 : 3.5 phr (3) 1.75 : 5.25 phr



E : กาวยางที่ผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 10% โดยน้ำหนัก : คิวมาโรนอิมัลชัน 22% โดยน้ำหนัก ปริมาณ 8 phr ที่อัตราส่วนต่างๆ : (1) 6 : 2 phr (2) 4 : 4 phr (3) 1.75 : 5.25 phr

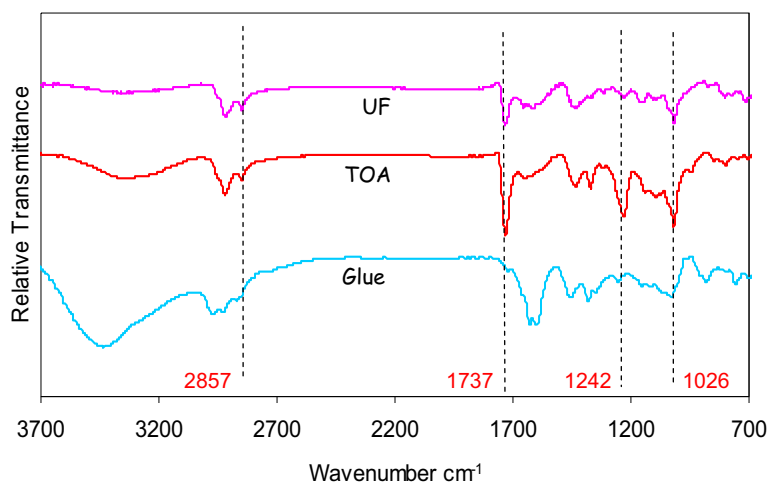
ภาพประกอบที่ 41 แสดงกาวยางโดยมีสารเพิ่มการยึดติด คือ แป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 10% โดยน้ำหนัก : คิวมาโรนอิมัลชัน 22% โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณต่างๆ

กาวยางที่เตรียมได้แสดงดังภาพประกอบที่ 41 พบว่ากาวยางทุกสูตรมีสีครีมแกมน้ำตาลเมื่อเทียบกับกาว TOA และกาวยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ (Urea Formaldehyde, UF) ที่มีสีขาวขุ่น กาวยางที่ได้จะมีสีแปรเปลี่ยนไปตามชนิดและปริมาณของสารเพิ่มการยึดติด (Tackifier) โดยกาวยางที่ใช้คิวมาโรนอิมัลชันเป็นสารเพิ่มการยึดติดมีสีเข้มกว่ากาวยางที่ใช้แป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ และ

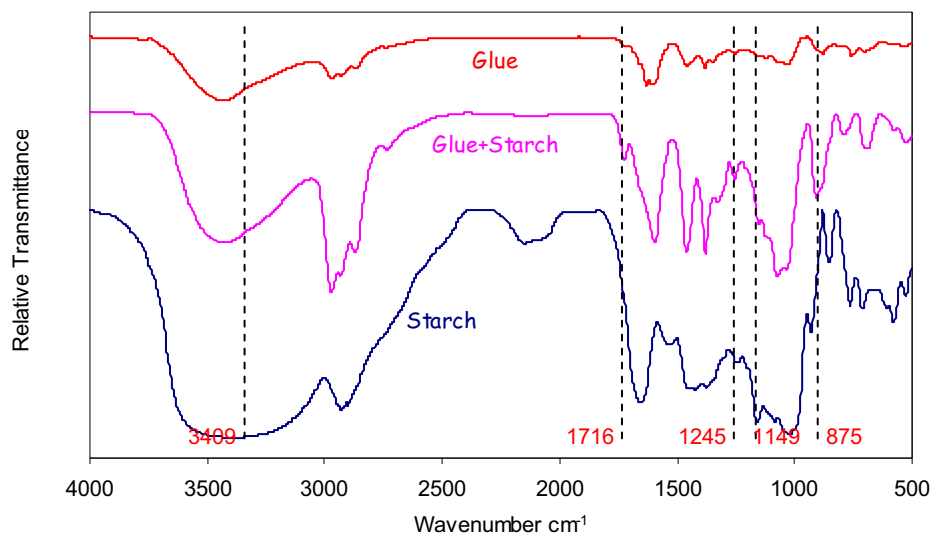
เมื่อใช้ปริมาณคิวมาโรนอีมีลชันมากขึ้นกาวยางที่ได้ก็จะมีสีเข้มขึ้นจากสีครีมเป็นสีน้ำตาล กาวยางที่เตรียมได้เนื้อกาวมีลักษณะเหมือนครีมข้นหนืดซึ่งค่าความหนืดแสดงในส่วนของภาคผนวก ง แต่ไม่เหนียวเทียบกับกาว TOA และกาว UF

4.3.4 สเปกตรัมอินฟราเรดของกาว UF กาว TOA และกาวยาง

การวิเคราะห์ FTIR ของกาวยางทุกชนิดเป็นการวิเคราะห์กาวยางก่อนติดไม้โดยใช้วิธีเตรียมตัวอย่างเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ปริมาณหมู่อีพอกไซด์ (3.3.2.1) ผลปรากฏดังภาพประกอบที่ 42 พบว่าสเปกตรัมอินฟราเรดของกาวยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ ปรากฏจุดยอดที่ตำแหน่งเลขคลื่น 2857 cm^{-1} ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันของ C-H ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1737 cm^{-1} ปรากฏจุดยอดของหมู่ฟังก์ชันของ C=O และปรากฏจุดยอดของหมู่ฟังก์ชันของ C-N ในโครงสร้างของยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีการเชื่อมโยงพันธะกันระหว่างโมเลกุลของ ยูเรียกับฟอร์มัลดีไฮด์ สำหรับกาว TOA ซึ่งผลิตมาจากโพลีไวนิลอะซิเตตอีมีลชันจัดเป็นสารพวแกสเทอร์จึงพบหมู่ฟังก์ชันของ C=O ปรากฏจุดยอดที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1737 cm^{-1} และหมู่ฟังก์ชันของ C-O ปรากฏจุดยอดที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1242 cm^{-1} และ 1026 cm^{-1} ซึ่งหมู่ฟังก์ชันเหล่านี้ไม่ปรากฏในกาวยางที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติด

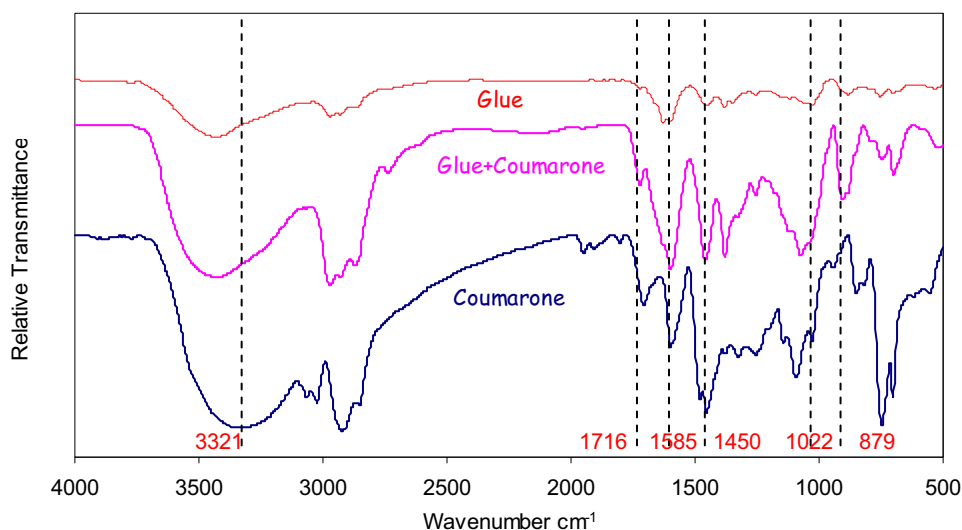


ภาพประกอบที่ 42 กราฟแสดงสเปกตรัมอินฟราเรดของกาว UF กาว TOA และกาวยาง



ภาพประกอบที่ 43 กราฟแสดงสเปกตรัมอินฟราเรดของแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ กาวยางและกาวยางที่ผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 8 phr

จากภาพประกอบที่ 43 ปรากฏจุดยอดที่ตำแหน่งเลขคลื่น 3409 cm^{-1} ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันของ O-H และจุดยอดที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1149 cm^{-1} และ 1245 cm^{-1} ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันของ C-O-C ที่อยู่บนโมเลกุลของอะไมเลสและอะไมโลเพกตินในแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ และกาวยางพบว่าไม่ปรากฏจุดยอดที่ตำแหน่งเลขคลื่น 834 cm^{-1} ซึ่งเป็นตำแหน่งของ C=C ที่อยู่บนโมเลกุลของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ แสดงว่าน่าจะเกิดการเชื่อมโยง (Cross-link) ด้วยกัมมะถันระหว่างโมเลกุลของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่บริเวณตำแหน่งพันธะคู่บนโมเลกุลของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ แต่ยังปรากฏจุดยอดของหมู่อีพอกไซด์ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 875 cm^{-1} สำหรับกาวยางที่ผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์พบว่าปรากฏจุดยอดขนาดเล็กที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1149 cm^{-1} และ 1245 cm^{-1} ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันของ C-O-C ที่อยู่บนโมเลกุลของอะไมเลสและอะไมโลเพกตินในแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ และปรากฏจุดยอดที่ตำแหน่งเลขคลื่น 875 cm^{-1} ซึ่งเป็นตำแหน่งของหมู่อีพอกไซด์ นอกจากนี้ยังปรากฏแถบการดูดกลืนแสงอินฟราเรดที่ตำแหน่งเลขคลื่นใหม่เพิ่มขึ้นมาจากสเปกตรัมอินฟราเรดของกาวยางที่ไม่ได้ผสมสารเพิ่มการยึดติดที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1716 cm^{-1} คือหมู่ฟังก์ชันของ C=O ซึ่งสามารถพบได้ในโมเลกุลของกาว TOA และกาว UF เช่นเดียวกัน แสดงว่าที่ตำแหน่งของหมู่ C=O นี้ อาจจะทำให้เกิดพันธะทางเคมีระหว่างกาวกับไม้ จึงทำให้กาวยางที่ผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์มีความสามารถในการยึดติดเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกาวยางที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติด

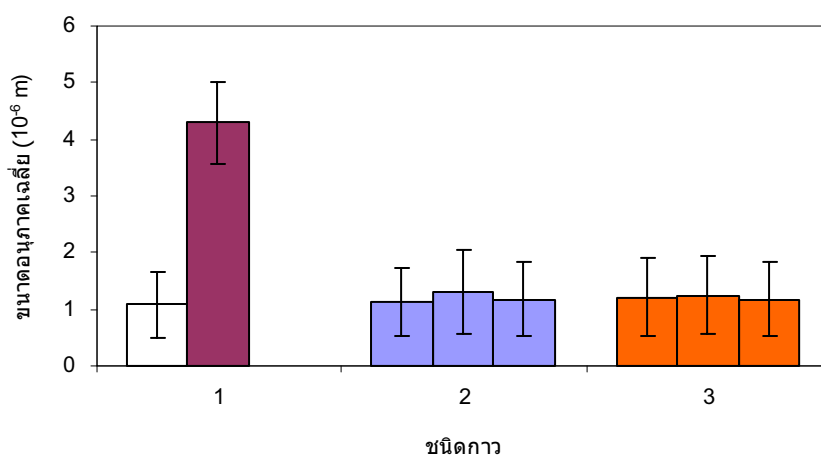


ภาพประกอบที่ 44 กราฟแสดงสเปกตรัมอินฟราเรดของคิวมาโรนอิมัลชัน กาวยางและกาวยางที่ผสมคิวมาโรนอิมัลชัน 8 phr

จากภาพประกอบที่ 44 สเปกตรัมอินฟราเรดของคิวมาโรนอิมัลชันแสดงหมู่ฟังก์ชันของ O-H ที่อยู่บนโมเลกุลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol, PVA) ปรากฏจุดยอดที่ตำแหน่งเลขคลื่น 3321 cm^{-1} และปรากฏจุดยอดที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1450 cm^{-1} และ 1585 cm^{-1} แสดงว่ามีวงเบนซินเป็นองค์ประกอบของคิวมาโรนเรซิน นอกจากนี้ยังปรากฏจุดยอดที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1022 cm^{-1} ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันของ C-O ที่อยู่ในวงแหวนของคิวมาโรน เรซิน สำหรับกาวยางที่ผสมคิวมาโรนอิมัลชันพบว่าปรากฏจุดยอดที่ตำแหน่งเลขคลื่น 879 cm^{-1} ซึ่งเป็นตำแหน่งของหมู่ไอพอกไซด์ และปรากฏแถบการดูดกลืนแสงอินฟราเรดเพิ่มขึ้นมาจากสเปกตรัมอินฟราเรดของกาวยางที่ไม่ได้ผสมสารเพิ่มการยึดติดที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1716 cm^{-1} ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันของ C=O ซึ่งสามารถพบได้ในโมเลกุลของกาว TOA และกาว UF เช่นเดียวกัน แสดงว่าที่ตำแหน่งของหมู่ C=O นี้ อาจเกิดพันธะทางเคมีระหว่างกาวกับไม้ จึงทำให้กาวยางที่ผสมคิวมาโรนอิมัลชันมีความสามารถในการยึดติดเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกาวยางที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติด นอกจากนี้ยังปรากฏจุดยอดขนาดใหญ่ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1450 cm^{-1} และ 1585 cm^{-1} ซึ่งเป็นตำแหน่งของวงเบนซินบนโมเลกุลของคิวมาโรนเรซิน หมู่ฟังก์ชันต่างๆ ที่ปรากฏเพิ่มในกาวยางที่ผสมคิวมาโรนอิมัลชันแสดงให้เห็นว่ามีการผสมกันระหว่างกาวยางกับคิวมาโรนอิมัลชันบนโมเลกุลของกาวยาง

4.3.5 ขนาดอนุภาคของกาว UF และกาวยาง

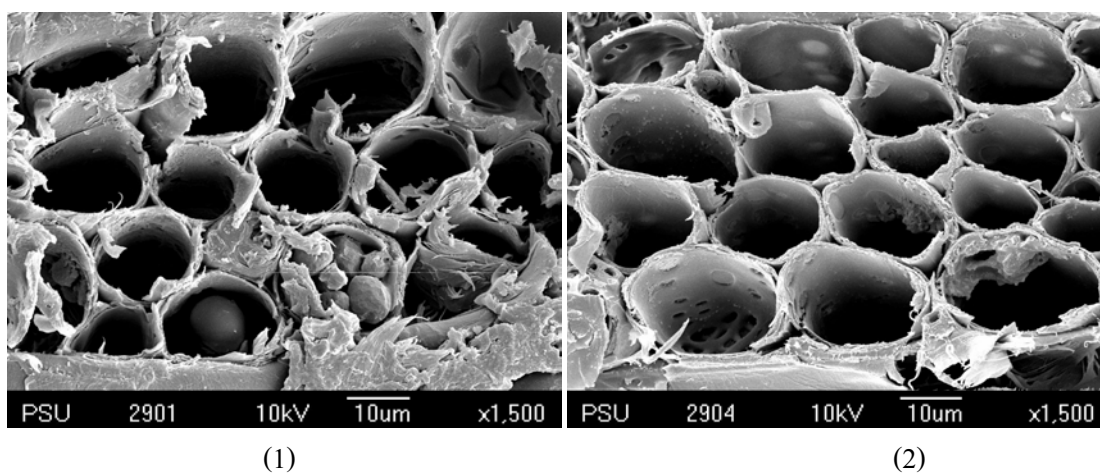
เมื่อนำกาวน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่ผสมสารเพิ่มการยึดติดคือคิวมาโรนอีมีลชัน และแป้งข้าวเหนียวเจลลาตินไนซ์ วิเคราะห์ขนาดอนุภาคด้วยลำแสงเลเซอร์ (Laser Particle Scanning Analyzer) พบว่ากาวยาง และกาวยางที่ผสมสารเพิ่มการยึดติดที่เตรียมได้ทุกชนิดมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยใกล้เคียงกันประมาณ 1.1 ไมโครเมตร และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, SD) อยู่ในช่วง 0.5-0.7 โดยขนาดอนุภาคใหญ่สุดที่วัดได้มีขนาด 5.8 ไมโครเมตร การเพิ่มปริมาณของสารเพิ่มการยึดติดทั้งคิวมาโรนอีมีลชันและแป้งข้าวเหนียวเจลลาตินไนซ์ จาก 6 phr - 8phr ไม่มีผลกระทบต่อการเพิ่มขนาดของอนุภาคในกาวยางอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 45



ภาพประกอบที่ 45 แสดงขนาดอนุภาคเฉลี่ยของกาวยางชนิดต่างๆ

1. กาวยาง, กาว UF
2. กาวยางผสมคิวมาโรนอีมีลชัน 6 phr, 7 phr, 8 phr
3. กาวยางผสมแป้งข้าวเหนียวเจลลาตินไนซ์ 6 phr, 7 phr, 8 phr

ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของกาวยาง และกาวยางที่ผสมสารเพิ่มการยึดติดมีขนาดเล็กกว่าขนาดอนุภาคเฉลี่ยของกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพาราซึ่งมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 4.3 ไมโครเมตร และพบว่ายังมีขนาดเล็กกว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนของไม้ยางพาราอีกด้วย จากภาพถ่ายพื้นผิวของไม้ยางพาราที่ผ่านการทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope) แสดงดังภาพประกอบที่ 46 สามารถประมาณขนาดรูพรุนเฉลี่ยของไม้ยางพาราได้ พบว่ามีค่าประมาณ 20 ไมโครเมตร ดังนั้นจากข้อมูลข้างต้นพบว่าอนุภาคของกาวยางที่เตรียมได้ทุกชนิดมีขนาดเล็กกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนของไม้ยางพารา ดังนั้นขนาดอนุภาคกาวยางไม่เป็นอุปสรรคในการผ่านรูพรุนของไม้ยางพารา

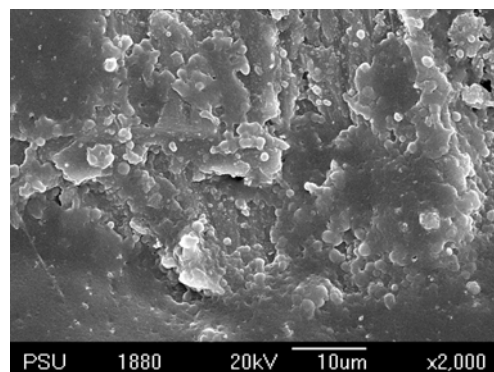
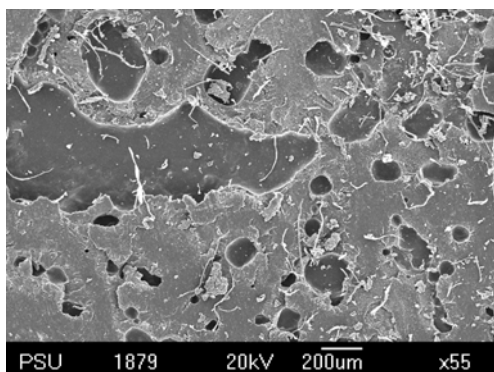


ภาพประกอบที่ 46 (1) ภาพถ่ายขวางเส้นรูพรุนของไม้ยางพาราก่อนขัดกระดาษทราย
(2) ภาพถ่ายขวางเส้นรูพรุนของไม้ยางพาราหลังขัดกระดาษทราย

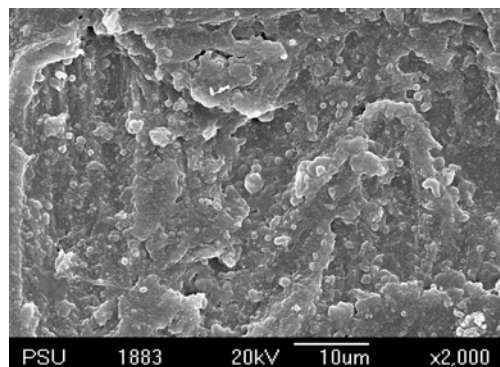
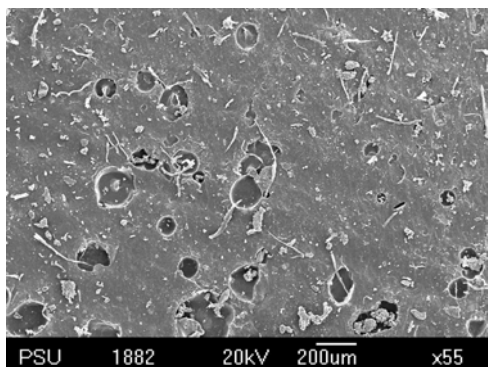
4.3.6 ลักษณะพื้นผิวของกาวยางแห้งโดยใช้ Scanning Electron Microscope

(SEM)

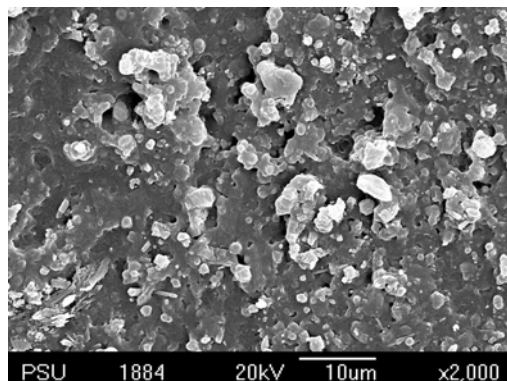
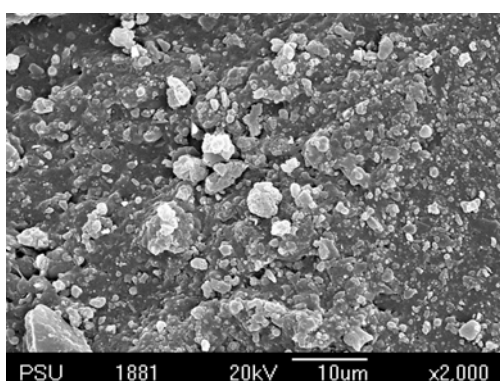
Scanning Electron Microscope เป็นเทคนิคการศึกษาลักษณะพื้นผิวของสาร จากภาพประกอบที่ 47 แสดงลักษณะพื้นผิวของกาวยางผสมคิวมาโรนอีมีลชัน 8 phr และกาวยางผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 8 phr สังเกตได้ว่าพื้นผิวของกาวยางผสมคิวมาโรนอีมีลชัน 8 phr มีลักษณะขรุขระ ประกอบด้วยอนุภาคขนาดเล็กจำนวนมาก คล้ายการรวมตัวของอนุภาคในกาว ในทางตรงข้ามพื้นผิวของกาวยางผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 8 phr มีลักษณะเรียบเป็นแผ่นพบอนุภาคขนาดเล็กบ้าง



กาวยางผสมคิมาโรนอิมัลชัน 8 phr กำลังขยาย 55 (ซ้าย) และ 2000 (ขวา) (แผ่นบาง) ตามลำดับ



กาวยางผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 8 phr กำลังขยาย 55 (ซ้าย) และ 2000 (ขวา) (แผ่นบาง) ตามลำดับ

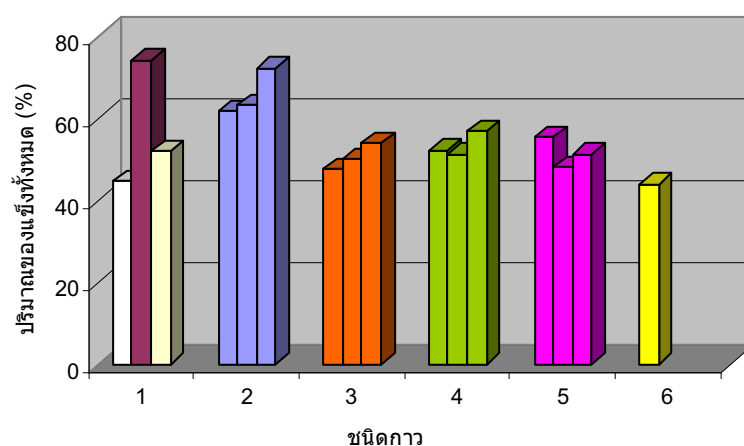


กาวยางผสมคิมาโรนอิมัลชัน (ซ้าย) และ กาวยางผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ (ขวา) 8 phr กำลังขยาย 2000 (แผ่นหนา) ตามลำดับ

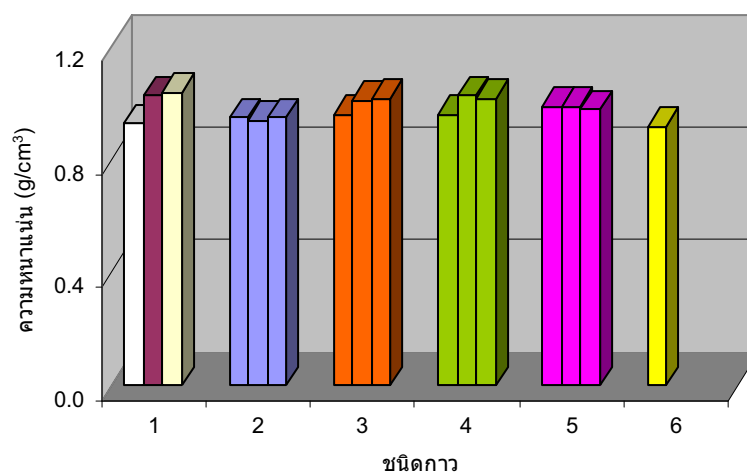
ภาพประกอบที่ 47 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของกาวยางผสมคิมาโรนอิมัลชัน 8 phr และกาวยางผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 8 phr ณ กำลังขยายต่างๆ

4.4 การทดสอบคุณสมบัติของกาวยาง

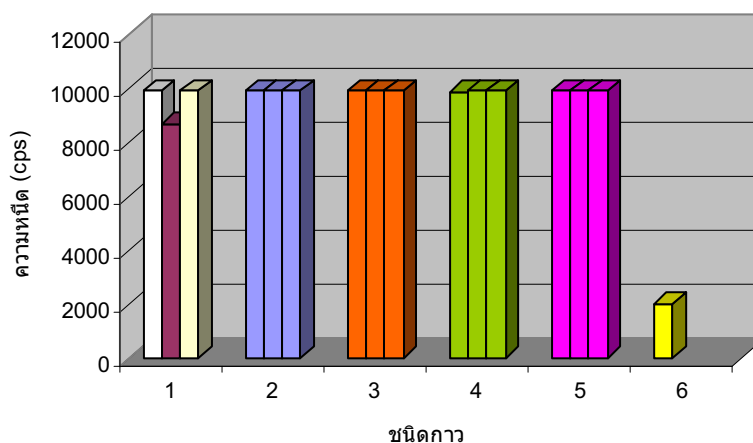
จากกาวยางที่เตรียมได้นำมาทดสอบคุณสมบัติของกาวยางตามมาตรฐานอุตสาหกรรมกาวยาง (มอก. 521-2527) ได้แก่ การหาปริมาณของแข็งทั้งหมด (เนื้อกาว) ความหนืด ความหนาแน่น และมาตรฐานอุตสาหกรรมกาวพอลิไวนิลอะซิเตดอิมัลชัน (มอก. 181-2530) ได้แก่ การทดสอบความเป็นกรด-ด่าง ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบแสดงดังภาพประกอบที่ 48-51 ตามลำดับ



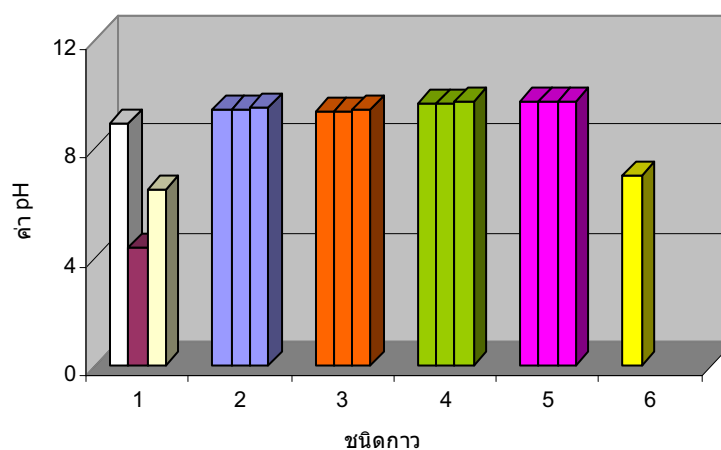
ภาพประกอบที่ 48 กราฟแสดงผลของชนิดกาวต่อปริมาณเนื้อกาว



ภาพประกอบที่ 49 กราฟแสดงผลของชนิดกาวต่อความหนาแน่น



ภาพประกอบที่ 50 กราฟแสดงผลของชนิดกาวต่อความหนืด



ภาพประกอบที่ 51 กราฟแสดงผลของชนิดกาวต่อความเป็นกรด-ด่าง

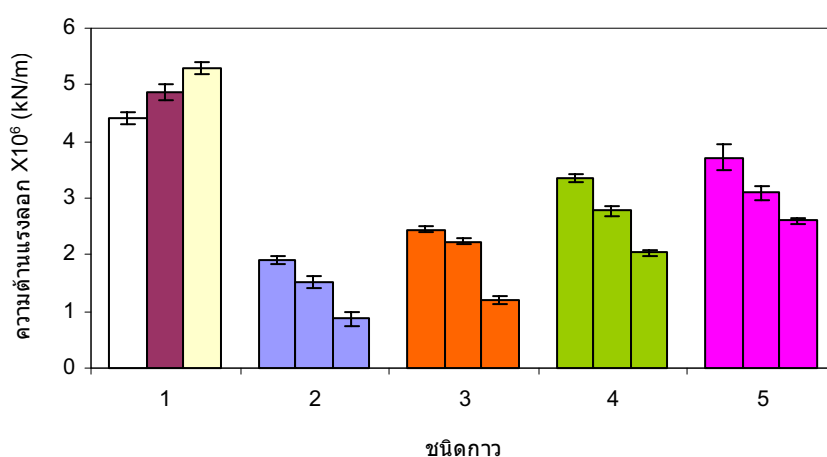
1. กาวยาง, กาว TOA, กาว UF
2. กาวยางผสมคิวมาโรนอีมีลชัน 6 phr, 7 phr, 8 phr
3. กาวยางผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 6 phr, 7 phr, 8 phr
4. กาวยางผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ : คิวมาโรนอีมีลชัน 1.75 : 5.25, 3.5 : 3.5, 5.25 : 1.75 phr
5. กาวยางผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ : คิวมาโรนอีมีลชัน 2 : 6, 4 : 4, 6 : 2 phr
6. กาวยางตามมอก. 521-2527 (ใช้อ้างอิงการทดสอบปริมาณเนื้อกาว ความหนาแน่น และความหนืด) และมอก. 181-2530 (ใช้อ้างอิงการทดสอบความเป็นกรด-ด่าง)

หมายเหตุ - กาวยางแต่ละชุดเรียงลำดับข้อมูลจากซ้ายไปขวา

จากภาพประกอบที่ 48-51 แสดงผลการทดสอบกาวเหลวหรือกาวก่อนที่จะแข็งตัวโดยทดสอบเนื้อกาว พบว่าปริมาณเนื้อกาวหรือเปอร์เซ็นต์ปริมาณของแข็งทั้งหมด (% TSC) และความหนาแน่นผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรมกาวยางที่ใช้กับงานทั่วไป (มอก.521-2527) ซึ่งกำหนดไว้ไม่น้อยกว่า 15% และไม่น้อยกว่า 0.9 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกาวยางที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดกับกาวยางที่ผสมสารเพิ่มการยึดติด พบว่าปริมาณของแข็งทั้งหมดและความหนาแน่นเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารเพิ่มการยึดติด และกาวยางที่ผสมคิวมาโรนิมัลชัน 8 phr มีปริมาณของแข็งทั้งหมดสูงสุดซึ่งใกล้เคียงกับกาว TOA ความหนืดของกาวยางผ่านตามอก.521-2527 ซึ่งกำหนดไว้ไม่น้อยกว่า 2,000 cps ความเป็นกรด-ด่างของกาว TOA และกาว UF ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรมกาวโพลีไวนิลอะซิเตดอิมัลชันสำหรับไม้ (ตามมอก.181-2530) ซึ่งระบุค่าที่ 4-7 แต่กาวยางทุกสูตรมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ที่ 8.9-9.7 ซึ่งสูงกว่ามอก.181-2530 ที่กาวยางมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่ามอก.181-2530 เนื่องจากต้องมีการปรับความเป็นกรด-ด่างให้มีค่าใกล้เคียงกับความเป็นกรด-ด่างของสารเพิ่มความยึดติดที่เติมลงไปในกาวยางเพื่อไม่ให้กาวยางจับตัวเป็นก้อน และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกาวยางที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดกับกาวยางที่ผสมสารเพิ่มการยึดติด พบว่าชนิดและปริมาณของสารเพิ่มการยึดติดไม่มีผลต่อความหนืดและความเป็นกรด-ด่าง

4.5 การทดสอบความต้านแรงลอก

การทดสอบความต้านแรงลอกเป็นการทดสอบกาวที่แห้งตัวอย่างสมบูรณ์ เพื่อประเมินแรงยึดเกาะของกาวกับไม้ยางพารา โดยการทดสอบจะใช้ฉันทดสอบ 5 ชิ้นต่อหนึ่งตัวอย่าง ซึ่งผลการทดสอบ และลักษณะของฉันทดสอบภายหลังการทดสอบ แสดงดังภาพประกอบที่ 52 และ 53 ตามลำดับ



ภาพประกอบที่ 52 กราฟแสดงผลของชนิดกาวต่อความต้านแรงลอก

1. กาวยาง, กาว TOA, กาว UF
2. กาวยางผสมคิวมาโรนอิมัลชัน 6 phr, 7 phr, 8 phr
3. กาวยางผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 6 phr, 7 phr, 8 phr
4. กาวยางผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ : คิวมาโรนอิมัลชัน 1.75 : 5.25, 3.5 : 3.5, 5.25 : 1.75 phr
5. กาวยางผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ : คิวมาโรนอิมัลชัน 2 : 6, 4 : 4, 6 : 2 phr

หมายเหตุ - กาวยางแต่ละชุดเรียงลำดับข้อมูลจากซ้ายไปขวา



(1) กาว UF



(2) กาว TOA



(3) กาวยาง



(4) กาวยางสูตรต่างๆ



ภาพประกอบที่ 53 แสดงลักษณะชิ้นทดสอบภายหลังการทดสอบความต้านแรงลอก

จากภาพประกอบที่ 52 แสดงผลของชนิดกาวยึดความต้านแรงลอก และ ภาพประกอบที่ 50 แสดงลักษณะของชั้นทดสอบภายหลังการทดสอบความต้านแรงลอก พบว่าจากการทดสอบความต้านแรงลอกมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, SD) อยู่ในช่วง 0.05-0.23 ผลการทดสอบมีความถูกต้องอย่างมีนัยสำคัญ ชั้นทดสอบที่ติดกาวยึด TOA และกาวยึด UF (ซึ่งเป็นกาวยึดที่ใช้ปัจจุบันในโรงงานที่ให้ความอนุเคราะห์) ภายหลังการดึงลอกมีส่วนของเศษไม้ของชั้นทดสอบด้านหนึ่งติดอยู่กับชั้นทดสอบอีกด้าน แสดงให้เห็นว่ากาวยึด TOA และกาวยึด UF มีการดูดซึมและซึมซาบของกาวยึดไปตามรูพรุนในเนื้อไม้ได้ดีทำให้เกิดแรงยึดเกาะระหว่างกาวยึดกับไม้สูง ส่งผลให้ความต้านแรงลอกมีค่าสูงกว่ากาวยึดที่ไม่ได้ผสมสารเพิ่มการยึดติด และกาวยึดสูตรต่างๆ ที่ผสมสารเพิ่มการยึดติด ในขณะที่กาวยึดที่ไม่ได้ผสมสารเพิ่มการยึดติด และกาวยึดสูตรต่างๆ ที่ผสมสารเพิ่มการยึดติด ชั้นไม้ทดสอบทั้งสองแยกออกจากกันโดยไม่มีเศษไม้ติดมาด้วยมีแค่คราบกาวที่ยึดติดอยู่บนชั้นทดสอบทั้งสองด้าน ทั้งๆที่อนุภาคของกาวยึดที่เตรียมได้ทุกชนิด มีขนาดอนุภาคเล็กกว่าขนาดรูพรุนของไม้ยางพารา (หัวข้อ 4.3.5) อนุภาคของกาวยึดน่าจะซึมซาบเข้าไปในรูพรุนของเนื้อไม้ได้ดีแต่ผลไม่เป็นอย่างที่กล่าวมาอาจเนื่องจากการเคลื่อนที่ของกาวยึดผ่านเข้าไปในเนื้อไม้มีน้อย ส่วนใหญ่กาวยึดอยู่เฉพาะบริเวณผิวหน้าทำให้แรงยึดเกาะระหว่างกาวยึดกับไม้ต่ำ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกาวยึดที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดกับกาวยึดที่ผสมสารเพิ่มการยึดติด พบว่ากาวยึดที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดมีความต้านแรงลอกสูงสุด แต่ไม่สูงกว่ากาวยึด TOA และกาวยึด UF อาจเนื่องมาจากกาวยึดที่ไม่ได้ผสมสารเพิ่มการยึดติดมีสมบัติความเป็นยาง (Elastomer) และมีความเหนียวมากกว่า จึงทำให้ต้องใช้แรงในการดึงลอกมากกว่ากาวยึดสูตรต่างๆ ที่ผสมสารเพิ่มการยึดติด อีกทั้งกาวยึดที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดยังมีความเป็นเนื้อเดียวกันมากกว่ากาวยึดที่ผสมสารเพิ่มการยึดติด นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณสารเพิ่มการยึดติดทั้งแป้งข้าวเหนียวเจลาติน และคิวมาโรนอิมัลชันในกาวยึดทำให้ความต้านแรงลอกมีค่าลดลง และกาวยึดที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวเหนียวเจลาติน ทุกอัตราส่วนมีความต้านแรงลอกสูงกว่ากาวยึดที่ผสมคิวมาโรนอิมัลชัน ทั้งนี้เนื่องมาจากกาวยึดที่ผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินมีความเป็นเนื้อเดียวกันมากกว่ากาวยึดที่ผสมด้วยคิวมาโรนอิมัลชัน และการรวมตัวเป็นกลุ่มเล็กๆของอนุภาคเมื่อแห้งมีน้อยกว่ากาวยึดที่ผสมด้วยคิวมาโรนอิมัลชัน จึงทำให้ต้องใช้แรงในการดึงลอกมากกว่า ดังภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของกาวยึดในหัวข้อ 4.3.6

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองกับงานวิจัยของอรสา ภัทรไพบุญชัย และเรวดี แต่งเกลี้ยง [34] ซึ่งใช้สูตรในการผลิตกาวยึดเคียงกับงานวิจัยนี้โดยผลิตกาวยึดจากน้ำยางชั้น พบว่ากาวยึดที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดมีค่าความต้านแรงลอกเท่ากับ 1.75 kN/m และงานวิจัยของ อาชีชัน แกสมาน และคณะ [32] ศึกษาการเตรียมกาวยึดจากยางธรรมชาติแบบแห้งโดยใช้โทลูอีนและ

น้ำมันสปีนเคิล อัตราส่วน 50 : 50 โดยน้ำหนัก เป็นตัวทำละลาย ผสมกับสารเพิ่มการยึดติดชนิด coumarone indene resin ทดสอบความต้านแรงลอกโดยการทาเกล็ดบนกระดาษที่มีผิวหยาบจำนวน 2 ชั้นแล้วนำมาประกบกัน พบว่ากาวจากยางแห้งที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดมีค่าความต้านแรงลอกเท่ากับ 1.90×10^{-3} kN/m และกาวที่ผสม coumarone indene resin ที่ 10 phr ให้ค่าความต้านแรงลอกสูงสุดเท่ากับ 3.53×10^{-3} kN/m แต่ค่าที่ได้ยังน้อยกว่ากาวยางที่ผลิตจากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซค์ที่ผสมคิวมาโรนอีมีลชันปริมาณ 6 phr มีค่าความต้านแรงลอกเท่ากับ 1.89×10^6 kN/m จากงานวิจัยทั้งสอง พบว่ากาวยางที่ผลิตจากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซค์ที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดให้ค่าความต้านแรงลอกเท่ากับ 4.41×10^6 kN/m ซึ่งค่าที่ได้สูงกว่ากาวที่ผลิตจากน้ำยางชันและกาวที่ผลิตจากยางแห้ง

นอกจากนี้แล้วหากเปรียบเทียบกับงานวิจัยกาวยางธรรมชาติอีพอกไซค์ที่สามารถหาข้อมูลได้ในขณะนี้คืองานวิจัยของ นาฏยา แซ่ลิ้ม [40] ซึ่งผลิตกาวชนิดทนน้ำมันอยู่ในรูปกาวยางธรรมชาติอีพอกไซค์ 50 โมลเปอร์เซ็นต์ ที่ปริมาณ wood resin 50 phr ให้ค่าความต้านแรงลอก 7.9×10^6 kN/m และทนทานต่อการแช่น้ำทั้งรูปแบบออกแรงดึงทุกๆ วัน และรูปแบบที่ปล่อยให้หลุดเองแต่ไม่ได้ระบุค่าแรงที่สามารถทนได้ จึงมีข้อเด่นคือทนต่อการแช่น้ำกว่ากาวที่ผลิตในงานวิจัยนี้ซึ่งเกิดการหลุดล่อนของกาวและไม้หลังการแช่น้ำ

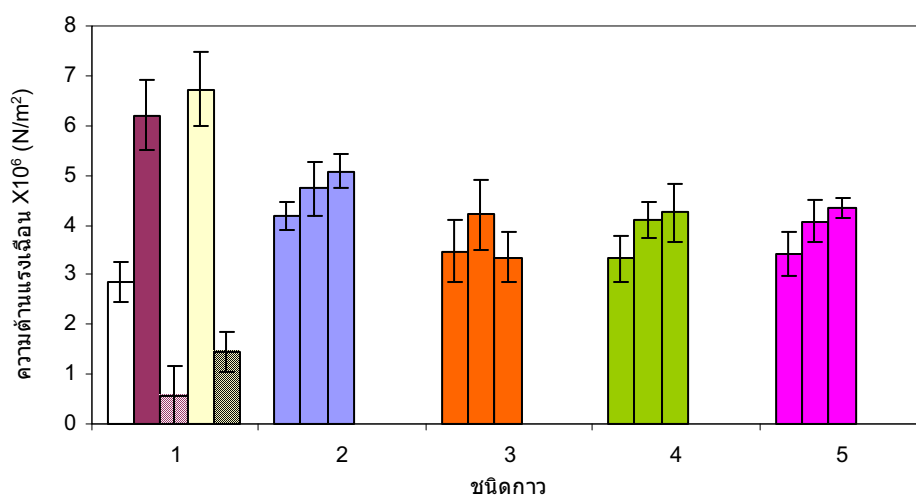
หากเปรียบเทียบกับความต้านแรงลอก (กรณีไม่แช่น้ำ) ของกาวยางตามมาตรฐาน มอก.521-2527 [22] และกาวโพลีไวนิลอะซิเตดอีมีลชัน สำหรับงานไม้ มาตรฐานมอก.181-2530 [23] ซึ่งระบุค่าความต้านแรงลอกไม่ควรน้อยกว่า 2×10^6 kN/m พบว่ามีเพียงกาวยางผสมคิวมาโรนอีมีลชัน 6 phr, 7 phr, 8 phr และกาวยางผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 8 phr เท่านั้นที่ไม่ผ่านมาตรฐานดังกล่าว สำหรับกรณีหลังการแช่น้ำเฉพาะกาวยางตามมาตรฐาน มอก.521-2527 [22] เท่านั้นที่ระบุค่าความต้านแรงลอกไม่ควรน้อยกว่า 2×10^6 kN/m อย่างไรก็ตามงานวิจัยชิ้นนี้ไม่สามารถทดสอบความต้านแรงลอกหลังการแช่น้ำของกาวทุกชนิดได้เนื่องจากการเกิดการหลุดล่อนของกาวและไม้หลังการแช่น้ำ

4.6 การทดสอบความต้านแรงเฉือน

การทดสอบความต้านแรงเฉือนเป็นการทดสอบกาวที่แข็งตัวอย่างสมบูรณ์ เพื่อประเมินแรงยึดเกาะของกาวกับไม้ยางพารา เช่นเดียวกับการทดสอบความต้านแรงลอก แต่จะใช้ชิ้นทดสอบ 10 ชิ้นต่อหนึ่งตัวอย่าง ซึ่งผลการทดสอบ และลักษณะของชิ้นทดสอบภายหลังการทดสอบแสดงดังภาพประกอบที่ 54 และ 55 ตามลำดับ

จากภาพประกอบที่ 54 แสดงผลของชนิดกาวต่อความต้านแรงเฉือน และภาพ

ประกอบที่ 55 แสดงลักษณะของขึ้นทดสอบภายหลังการทดสอบความต้านแรงเฉือน พบว่าขึ้นทดสอบที่ติดกาว TOA และกาว UF ภายหลังการคั่งมีส่วนของเศษไม้ของขึ้นทดสอบด้านหนึ่งติดอยู่กับขึ้นทดสอบอีกด้าน แสดงให้เห็นว่ากาว TOA และกาว UF มีการดูดซึมและซึมซาบของกาวไปตามรูพรุนในเนื้อไม้ได้ดีทำให้เกิดแรงยึดเกาะระหว่างกาวกับไม้สูง ส่งผลให้ความต้านแรงเฉือนมีค่าสูงกว่ากาวยางที่ไม่ได้ผสมสารเพิ่มการยึดติด และกาวยางสูตรต่างๆ ที่ผสมสารเพิ่มการยึดติด ในขณะที่กาวยางที่ไม่ได้ใส่สารเพิ่มการยึดติด และกาวยางสูตรต่างๆ ที่ใส่สารเพิ่มการยึดติด ขึ้นไม้ทดสอบทั้งสองแยกออกจากกัน โดยไม่มีเศษไม้ติดมาด้วยมีแต่คราบกาวยางที่แห้งติดอยู่บนขึ้นทดสอบทั้งสองด้าน เหตุผลเช่นเดียวกับการอธิบายผลของชนิดกาวต่อความต้านแรงลอก ทั้งๆที่อนุภาคของกาวยางน่าจะซึมซาบเข้าไปในรูพรุนของเนื้อไม้ได้ดีแต่ผลไม่เป็นอย่างที่กล่าวมาอาจเนื่องจากการเคลื่อนที่ของกาวยางผ่านเข้าไปในเนื้อไม้น้อย กาวส่วนใหญ่อยู่เฉพาะบริเวณผิวหน้าทำให้แรงยึดเกาะระหว่างกาวกับไม้ต่ำ จึงทำให้ค่าความต้านแรงเฉือนที่ได้มีน้อยลงและลักษณะของขึ้นทดสอบของกาวยางภายหลังการคั่งเกิดความเสียหายเฉพาะตรงจุดที่กาวไม่ได้เกิดบริเวณเนื้อไม้



ภาพประกอบที่ 54 กราฟแสดงผลของชนิดกาวต่อความต้านแรงเฉือน

1. กาวยาง, กาว TOA, กาว TOA (แช่น้ำ), กาว UF, กาว UF (แช่น้ำ)
2. กาวยางผสมคิวมาโรนอิมัลชัน 6 phr, 7 phr, 8 phr
3. กาวยางผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 6 phr, 7 phr, 8 phr
4. กาวยางผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ : คิวมาโรนอิมัลชัน 1.75 : 5.25, 3.5 : 3.5, 5.25 : 1.75 phr
5. กาวยางผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ : คิวมาโรนอิมัลชัน 2 : 6, 4 : 4, 6 : 2 phr

หมายเหตุ – กรณีแช่น้ำขึ้นทดสอบที่ติดด้วยกาวยางทุกสูตรเกิดการหลุดร่อนออก

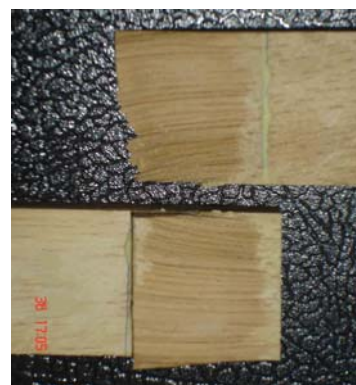
เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกาวยางที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดกับกาวยางที่ผสมสารเพิ่มการยึดติด พบว่าความต้านแรงเฉือนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารเพิ่มการยึดติด โดยกาวยางที่ผสมคิวมาโรนิมัลชัน 8 phr มีค่าความต้านแรงเฉือนสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับกาวยางสูตรอื่นๆ คือ $5 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ แต่ในกรณีของกาวยางที่ผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ควรใช้ไม่เกิน 7 phr เพราะการใช้ปริมาณแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ที่ 8 phr ทำให้ความต้านแรงเฉือนลดลง และเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของอรสา ภัทรไพบุญชัย และเรวดี แต่งเกลี้ยง [34] ที่ผลิตกาวจากน้ำยางชัน พบว่าความต้านแรงเฉือนของกาวที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดมีค่าเท่ากับ $0.69 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ ซึ่งค่าที่ได้นี้น้อยกว่ากาวที่ผลิตจากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซค์ที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดมีค่าแรงเฉือนเท่ากับ $2.85 \times 10^6 \text{ N/m}^2$

นอกจากนี้แล้วหากเปรียบเทียบกับงานวิจัยกาวยางธรรมชาติอีพอกไซค์ที่สามารถหาข้อมูลได้ในขณะนี้คืองานวิจัยของ นาฎยา แซ่ลิ่ม [40] ซึ่งผลิตกาวชนิดทนน้ำมันอยู่ในรูปกาวยางธรรมชาติอีพอกไซค์ 50 โมลเปอร์เซ็นต์ ที่ปริมาณ wood resin 50 phr ให้ค่าความต้านแรงเฉือน $5.5 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ ซึ่งมีค่าความต้านแรงเฉือนใกล้เคียงกับกาวยางที่ผสมคิวมาโรนิมัลชัน 8 phr ในงานวิจัยนี้ แต่กาวของนาฎยา แซ่ลิ่ม [40] ทนทานต่อการแช่น้ำทั้งรูปแบบออกแรงดึงทุกๆ วัน และรูปแบบที่ปล่อยให้หลุดเองแต่ไม่ได้ระบุค่าแรงที่สามารถทนได้ จึงมีข้อเด่นคือทนต่อการแช่น้ำกว่ากาวที่ผลิตในงานวิจัยนี้ซึ่งเกิดการหลุดล่อนของกาวและไม่หลังการแช่น้ำ

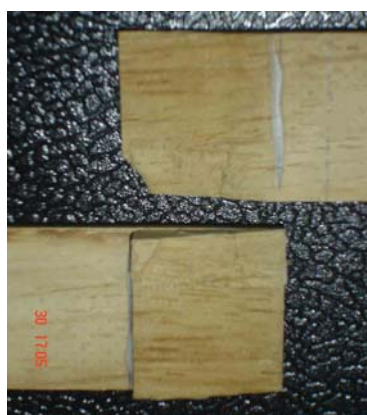
ในการเปรียบเทียบความต้านแรงเฉือนของกาวในงานวิจัยนี้ขอเปรียบเทียบกับความต้านแรงเฉือนตามมาตรฐานกาวยาง มอก.521-2527 [22] เพียงมาตรฐานเดียว เนื่องจากความต้านแรงเฉือนของกาวโพลิไวนิลอะซิเตดอีพอกไซค์ สำหรับงานไม้ มาตรฐานมอก.181-2530 [23] นั้นแม้กาว UF ที่ใช้ในโรงงานปัจจุบันก็ไม่ผ่านตามมาตรฐานดังกล่าว ผลการเปรียบเทียบดังกล่าวพบว่าค่าความต้านแรงเฉือนตามมาตรฐานกาวยาง มอก.521-2527 [22] ระบุค่าความต้านแรงเฉือนไม่น้อยกว่า $0.22 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ ทั้งกรณีก่อนแช่น้ำและหลังการแช่น้ำ กรณีก่อนแช่น้ำพบว่ากาวทุกชนิดในงานวิจัยสามารถผ่านมาตรฐานดังกล่าวได้ โดยมีค่าสูงกว่ามาตรฐานเฉลี่ยประมาณ 20 เท่า กรณีหลังการแช่น้ำ เมื่อทดสอบกาวโดยการนำชิ้นทดสอบไปแช่น้ำนาน 24 ชั่วโมง พบว่าชิ้นทดสอบที่ติดด้วยกาวยางทุกสูตรเกิดการหลุดร่อนออก สำหรับชิ้นทดสอบที่ติดด้วยกาว TOA และกาว UF นั้น ไม่หลุดร่อนโดยมีค่าความต้านแรงเฉือนลดลงประมาณ 10 เท่า และ 5 เท่า ตามลำดับ แต่ค่าที่ได้ผ่านมาตรฐานกาวยาง มอก.521-2527 [22]



(1) กาว UF



(2) กาว TOA



(3) กาวยาง



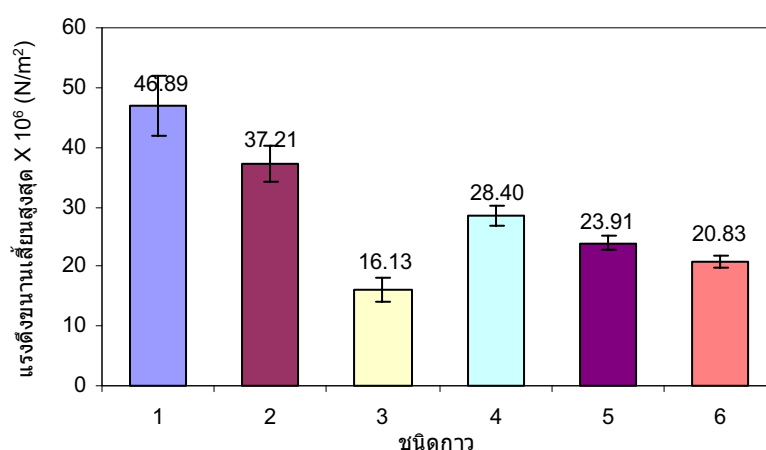
(4) กาวยาสูตรต่างๆ



ภาพประกอบที่ 55 แสดงลักษณะของชิ้นทดสอบภายหลังการทดสอบแรงเฉือน

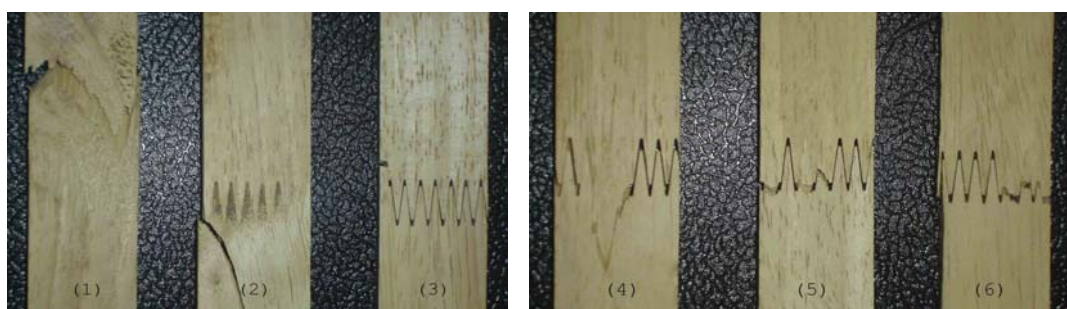
4.7 การทดสอบความแข็งแรงของข้อต่อแบบน๊วมือประสาน

ทำการทดสอบเฉพาะกาวอย่างสูตรที่ผสมสารเพิ่มการยึดติดแต่ละชนิดที่ให้ค่าความต้านแรงเฉือนสูงสุด โดยทำการทดสอบการดึงขนานเสี้ยนและการคัดสลิต ซึ่งจะใช้ชิ้นทดสอบจำนวน 10 ชิ้นต่อหนึ่งตัวอย่าง



ภาพประกอบที่ 56 กราฟแสดงผลของชนิดกาวต่อแรงดึงขนานเสี้ยนสูงสุด

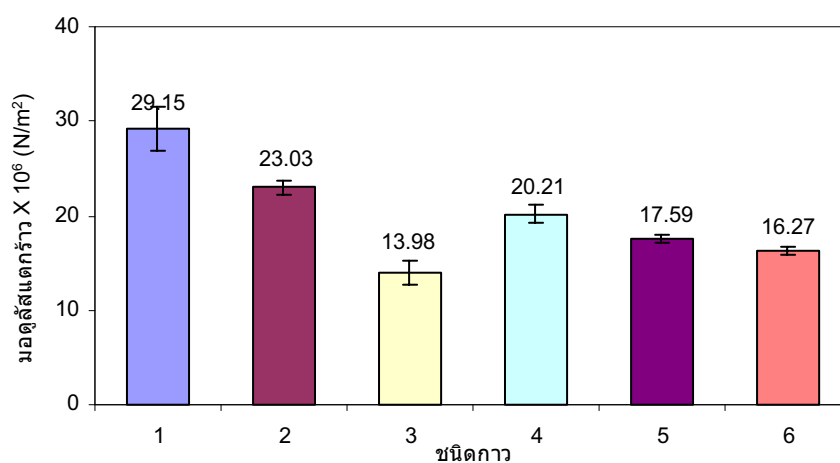
- | | |
|------------|---|
| 1. กาว UF | 4. กาวอย่างผสมคิวมาโรนิมัลชัน 8 phr |
| 2. กาว TOA | 5. กาวอย่างผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 7 phr |
| 3. กาวยาง | 6. กาวอย่างผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 6 phr : คิวมาโรนิมัลชัน 2 phr |



ภาพประกอบที่ 57 แสดงลักษณะของชิ้นทดสอบภายหลังการทดสอบแรงดึงขนานเสี้ยนสูงสุด

ภาพประกอบที่ 57 แสดงลักษณะของชิ้นทดสอบภายหลังการทดสอบแรงดึงขนานเสี้ยนสูงสุด พบว่าชิ้นทดสอบที่ติดด้วยกาว UF มีลักษณะการฉีกขาดตามทิศทางการเรียงตัวของ

เสี้ยน และกาว TOA มีลักษณะการฉีกขาดของชั้นทดสอบใกล้แนวรอยต่อ กาวยางที่ผสมสารเพิ่มการยึดติดทั้งแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ และคิวมาโรนอิมัลชัน ชั้นทดสอบมีลักษณะการฉีกขาดของไม้ที่ตัวนี้มีอุปสรรค ส่วนกาวยางที่ไม่ได้ผสมสารเพิ่มการยึดติด (3) ชั้นทดสอบมีเพียงการแยกที่รอยต่อ ลักษณะการฉีกขาดของชั้นทดสอบสอดคล้องกับค่าแรงดึงขานานเสี้ยนสูงสุด ดังแสดงในภาพประกอบที่ 56 พบว่าจากการทดสอบแรงดึงขานานเสี้ยนสูงสุดมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, SD) อยู่ในช่วง 0.9-4.9 ค่าแรงดึงขานานเสี้ยนที่ได้ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งชั้นทดสอบที่ติดด้วยกาว UF และกาว TOA ให้ค่าแรงดึงขานานเสี้ยนสูงสุด $46.89 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ และ $37.21 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ ตามลำดับ เนื่องจากกาวทั้งสองชนิดสามารถซึมซาบเข้าไปในรูพรุนในเนื้อไม้ได้สูง ทำให้การยึดติดระหว่างกาวกับส่วนของข้อต่อไม้แข็งแรง จึงต้องใช้แรงในการดึงแยกส่วนของข้อต่อให้หลุดออกจากกันมาก ส่วนกาวยางที่ผสมสารเพิ่มการยึดติดแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 7 phr, คิวมาโรนอิมัลชัน 8 phr และแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ : คิวมาโรนอิมัลชันให้ค่าแรงดึงขานานเสี้ยนสูงสุดใกล้เคียงกันที่ $23.91 \times 10^6 \text{ N/m}^2$, $28.40 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ และ $20.83 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าค่าแรงดึงขานานเสี้ยนสูงสุดของกาวยางที่ไม่ได้ผสมสารเพิ่มการยึดติด และกาวยางที่ผสมคิวมาโรนอิมัลชันปริมาณ 8 phr ให้ค่าแรงดึงขานานเสี้ยนสูงสุดที่สุด แต่ค่าแรงดึงขานานเสี้ยนที่ได้ยังมีค่าน้อยกว่าแรงดึงขานานเสี้ยนของกาว UF และกาว TOA ประมาณ 1.6 และ 1.3 เท่า ตามลำดับ

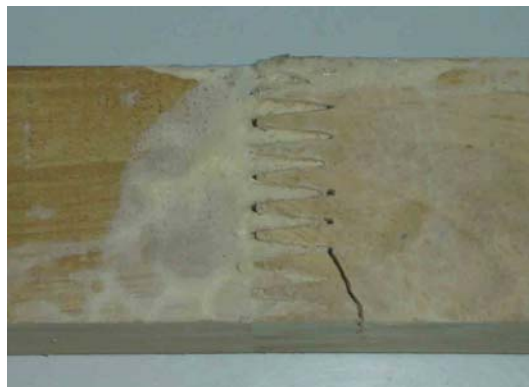


ภาพประกอบที่ 58 กราฟแสดงผลของชนิดกาวต่อค่ามอดูลัสแตกกร้าว

- | | |
|------------|--|
| 1. กาว UF | 4. กาวยางผสมคิวมาโรนอิมัลชัน 8 phr |
| 2. กาว TOA | 5. กาวยางผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 7 phr |
| 3. กาวยาง | 6. กาวยางผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 6 phr : คิวมาโรนอิมัลชัน 2 phr |



(1)



(4)



(2)



(5)



(3)



(6)

ภาพประกอบที่ 59 แสดงลักษณะของชิ้นทดสอบภายหลังการทดสอบการตัดสถิติ

- | | |
|------------|--|
| 1. กาว UF | 4. กาวยางผสมคิวมาโรนอีมีลชัน 8 phr |
| 2. กาว TOA | 5. กาวยางผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 7 phr |
| 3. กาวยาง | 6. กาวยางผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 6 phr : คิวมาโรนอีมีลชัน 2 phr |

ภาพประกอบที่ 59 แสดงลักษณะของชิ้นทดสอบภายหลังการตัดสถิติ พบว่าชิ้นทดสอบที่ติดด้วยกาว UF มีลักษณะการแตกหักที่แนวรอยต่อไม่อย่างเห็นได้ชัด ส่วนกาว TOA กาวยางที่ผสมสารเพิ่มการยึดติดทั้งแปงข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ และคิวมาโรนอิมัลชัน และกาวยางที่ไม่ได้ผสมสารเพิ่มการยึดติดชิ้นทดสอบมีลักษณะแยกที่รอยต่อแต่เห็นรอยแตกหักไม่ชัดเจน ชิ้น-ทดสอบโก่งงอบริเวณรอยต่อเนื่องมาจากแรงที่กดลงบนชิ้นทดสอบ กลสมบัติที่คำนวณได้จากผลการทดสอบการตัดสถิติ คือ โมดูลัสแตกร้าว (Modulus of rupture, MOR) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 58 พบว่าการทดสอบการตัดสถิติมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, SD) อยู่ในช่วง 0.4-2.3 ค่าโมดูลัสแตกร้าวที่ได้ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญ ชิ้นทดสอบที่ยึดติดด้วยกาว UF ให้ค่าโมดูลัสแตกร้าวสูงที่สุดที่ $29.15 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ อาจเนื่องมาจากกาวสามารถซึมซาบเข้าไปในรูพรุนในเนื้อไม้ได้สูง เนื่องจากขนาดอนุภาคของกาวมีขนาดเล็กกว่าขนาดของรูพรุนของไม้ยางพารา ทำให้การยึดติดระหว่างกาวกับส่วนของข้อต่อไม้แข็งแรง จึงต้องใช้แรงกดเพื่อข้อต่อให้หลุดออกจากกันมาก ส่วนกาวยางที่ผสมคิวมาโรนอิมัลชันปริมาณ 8 phr ให้ค่าโมดูลัสแตกร้าวสูงที่สุดที่ $20.21 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ เมื่อเทียบกับกาวยางสูตรอื่นๆ

4.8 การประเมินต้นทุนในการเตรียมกาวยาง

ในการคำนวณต้นทุนการเตรียม 20% โดยน้ำหนักของน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ แสดงดังตารางที่ 16 โดยคำนวณจากราคาของ 60% โดยน้ำหนักของน้ำยางขึ้น คิดเทียบจากปริมาณเนื้อยางแห้งที่ต้องใช้ในการเตรียมซึ่งเท่ากับ 115.6 กรัม โดยไม่คำนึงถึงต้นทุนในขั้นตอนการปรับความเข้มข้นของ 20% โดยน้ำหนักของน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ ให้เป็น 60% โดยน้ำหนัก ก่อนนำไปเตรียมกาวยาง สำหรับการคำนวณต้นทุนในการเตรียม 22% คิวมาโรนอิมัลชัน และต้นทุนในการเตรียมกาวยางผสมคิวมาโรนอิมัลชัน 8 phr แสดงดังตารางที่ 17 และ 18 ตามลำดับ

จากการประเมินต้นทุนในการเตรียมกาวยาง โดยคำนวณค่าใช้จ่ายเฉพาะในส่วนของวัตถุดิบที่ใช้ในการเตรียมเท่านั้น ไม่คำนึงถึงค่าไฟฟ้าและค่าแรงงาน ราคาของกาวยางที่เตรียมได้ประมาณ 219 บาทต่อกิโลกรัม

ตารางที่ 16 แสดงต้นทุนในการเตรียมน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์

รายการ	มูลค่า (บาท/กิโลกรัม)	ปริมาณ (กรัม)	มูลค่ารวม (บาท)
60% น้ำยางขึ้น	60	193	11.58
กรดฟอร์มิก*	1148	174	199.75
ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์**	28	797	22.32
10% Teric N30***	128	50	0.64
มูลค่ารวม		1214	234.29
มูลค่ารวม (บาท/กิโลกรัม)			192.99

* กรดฟอร์มิก เข้มข้น 98-100% ความหนาแน่น 1.22 g/mL

** ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เข้มข้น 50% ความหนาแน่น 1.11 g/mL

*** จำนวนราคา Teric N30 โดยคิดเทียบจากน้ำหนักแห้ง

ตารางที่ 17 แสดงต้นทุนในการเตรียมน้ำ 22% คิวมาโรนอิมัลชัน

รายการ	มูลค่า (บาท/กิโลกรัม)	ปริมาณ (กรัม)	มูลค่ารวม (บาท)
คิวมาโรนเรซิน	140	40	5.60
โทลูอิน*	228	43	9.80
25% โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์**	400	1.36	0.14
12% พอลิไวนิลแอลกอฮอล์**	1260	98	15.12
มูลค่ารวม		182.36	30.66
มูลค่ารวม (บาท/กิโลกรัม)			168.13

* โทลูอิน ความหนาแน่น 0.87 kg/L

** จำนวนราคาโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์โดยคิดเทียบจากน้ำหนักแห้ง

ตารางที่ 18 แสดงต้นทุนในการเตรียมกาวยางผสมคิวมาโรนอิมัลชัน 8 phr

รายการ	มูลค่า (บาท/กิโลกรัม)	ปริมาณ (กรัม)	มูลค่ารวม (บาท)
60% น้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์	192.99	167	32.23
10% โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์*	400	5	2
50% วิงสเตย์ แอล	195	3	0.59
50% ไททานเนียมไดออกไซด์	140	3	0.42
50% ซิงค์ออกไซด์	105	4	0.42
50% แซดดีอีซี	155	2	0.31
50% กำมะถัน	75	4	0.30
5% CMC*	8400	60	25.2
10% Potassium oleate	45	30	1.35
22% คิวมาโรนอิมัลชัน	168.13	36.36	6.11
มูลค่ารวม		314.36	68.93
มูลค่ารวม (บาท/กิโลกรัม)			219.27

* คำนวณราคาโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ และ CMC โดยคิดเทียบจากน้ำหนักแห้ง

ผลการทดลองและวิจารณ์

ส่วนที่ 2 การรายงานผลการศึกษาเพิ่มเติมนอกขอบเขตงานวิจัยโดยใช้ Petroleum resin, Terpene phenolic resin, และ ชัน (Dammar) เป็นส่วนผสมร่วมในกาวน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์

4.9 สมบัติของน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ต่อระยะเวลาการเก็บ

สมบัติของน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่ทำการทดสอบต่อระยะเวลาการเก็บ 10 สัปดาห์ คือ ปริมาณหมู่อีพอกไซด์ อุณหภูมิคล้ายแก้ว ความหนืด และความเป็นกรด-ด่าง ดังตารางที่ 19 พบว่าเมื่อเวลาเปลี่ยนไปสมบัติของน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่กล่าวมาทุกตัวมีค่าคงเดิม ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา แสดงให้เห็นว่าน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่ใช้ในการเตรียมกาวมีความเสถียรค่อนข้างสูง

ตารางที่ 19 แสดงสมบัติของน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ต่อระยะเวลาการเก็บ

ระยะเวลา	Mole% Epoxidized	อุณหภูมิคล้ายแก้ว (°C)	ค่าความหนืด (cps)	ความเป็นกรด-ด่าง (pH)
เริ่มต้น	42.8	-24.4	9600	8.33
2 สัปดาห์	42.8	-24.4	9600	8.32
4 สัปดาห์	42.8	-24.4	9600	8.32
6 สัปดาห์	42.8	-24.4	9600	8.32
8 สัปดาห์	42.8	-24.4	9600	8.32
10 สัปดาห์	42.8	-24.4	9600	8.32

4.10 สารเพิ่มการยึดติด

Petroleum resin มีลักษณะเป็นอนุภาคของแข็งขนาดเล็กสีเหลืองปนน้ำตาล มีความสามารถในการยึดติดที่ดี เป็นสารที่ช่วยเพิ่มความสามารถในการยึดติดของ Adhesives ประเภทต่างๆ ทน กรดและสามารถผสมกับน้ำยางธรรมชาติได้เป็นอย่างดี ดังแสดงในภาพประกอบที่ 60



ภาพประกอบที่ 60 Petroleum resin

Terpene phenolic resin มีลักษณะเป็นก้อนของแข็งสีเหลืองปนน้ำตาล ดังแสดงในภาพประกอบที่ 61 เป็นสารที่ช่วยเพิ่มความสามารถในการยึดติดของ Adhesives ประเภทต่างๆ สามารถเติมผสมลงในสารทั้งที่เป็น Organic และ Inorganic และซึมผ่านเข้าสู่โครงสร้างต่างๆ ได้อย่างรวดเร็ว นิยมใช้เป็นตัวเชื่อมประสาน



ภาพประกอบที่ 61 Terpene phenolic resin

ชัน (Dammar) ลักษณะทางกายภาพของชันมีลักษณะเป็นผงละเอียด สีน้ำตาลเทา เมื่อนำมาวิเคราะห์หาขนาดอนุภาคด้วยเครื่องวัดขนาดอนุภาค (Laser Particle Size Analyzer) พบว่ามีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 0.275 ถึง 2.5 ไมโครเมตร แต่เมื่อนำมาทำการบดพร้อมเติมสารช่วยกระจายให้อยู่ในรูป 20 เปอร์เซนต์ดีสเพิสชันเป็นเวลา 4 วัน พบว่าขนาดอนุภาคเฉลี่ยส่วนใหญ่มีค่า 1.42 ไมโครเมตร มีสูตรโครงสร้างที่มีหมู่ฟังก์ชันเป็นหมู่ไฮดรอกซิล (OH) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 62 ซึ่งเป็นหมู่ที่แสดงสมบัติความเป็นขั้วของสาร โดยหมู่ฟังก์ชันดังกล่าวจะทำให้หน้าที่ในการเชื่อมพันธะกับหมู่อีพอกไซด์ของยางธรรมชาติอีพอกไซด์



ภาพประกอบที่ 62 ชัน (Dammar)

4.11 กาวยางธรรมชาติอีพอกไซด์

ในการเตรียมกาวยางเช่นเดียวกับการทดลองส่วนที่ 1 คือใช้ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ 44 โมลเปอร์เซนต์อีพอกไซด์และใช้กาวสูตรปรับปรุง โดยมีการเตรียมกาวตามปริมาณและชนิดของสารเพิ่มการยึดติด ดังแสดงในตารางที่ 20

ตารางที่ 20 แสดงกายภาพสูตรปรับปรุงโดยปรับเปลี่ยนชนิด และปริมาณของสารเพิ่มการยึดติด

สูตรกาว	กาวและสารเพิ่มการยึดติด	ปริมาณสารเพิ่มการยึดติด phr (น้ำหนักแห้ง)
1	กาวยางไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติด	
2	TOA (กาวโพลีไวนิลอะซีเตตอิมัลชัน)	
3	Urea Formaldehyde (UF)*	
4	กาวยางผสม Petroleum resin	15
5	กาวยางผสม Petroleum resin	30
6	กาวยางผสม Petroleum resin	45
7	กาวยางผสม Terpene phenolic resin	30
8	กาวยางผสม Terpene phenolic resin	45
9	กาวยางผสม Terpene phenolic resin	60
10	กาวยางผสมชั้น	10
11	กาวยางผสมชั้น	15
12	กาวยางผสมชั้น	20

หมายเหตุ* กาวสังเคราะห์ที่ใช้ในโรงงานได้รับความอนุเคราะห์จากโรงงาน APS WOODS PRODUCTS ถนนกาญจนวนิชย์ ตำบลพะตง อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90230

กาวที่ได้มีลักษณะดังนี้

4.11.1 กาวยางผสมสารเพิ่มการยึดติด คือ Terpene phenolic resin และ กาวยางผสมสารเพิ่มการยึดติด คือ Petroleum resin

กาวยางที่เตรียมได้จากการใช้ Terpene phenolic resin และ Petroleum resin เป็นสารเพิ่มการยึดติด โดยมีการแปรปริมาณของสารเพิ่มการยึดติดทั้งสองชนิดดังนี้คือ 15, 30, 45 และ 60 phr พบว่ากาวยางทุกสูตรมีลักษณะเป็นครีมข้นมีสีเหลืองอ่อนๆ ใกล้เคียงกัน ยกเว้นกาวยางผสม Petroleum resin 60 phr มีการจับตัวเป็นก้อนสีเหลืองอ่อน ไม่สามารถนำไปใช้เป็นกาวได้ ดังนั้นปริมาณของ Petroleum resin สูงสุดที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือ 45 phr



A : กาวยางผสม Terpene phenolic resin ปริมาณต่างๆ : (1) 0 phr (2) 15 phr (3) 30 phr



B : กาวยางผสม Terpene phenolic resin ปริมาณต่างๆ : (1) 45 phr (2) 60 phr
(3) กาวยางผสม Petroleum resin 15 phr



C : กาวยางผสม Petroleum resin ปริมาณต่างๆ : (1) 30 phr (2) 45 phr (3) 60 phr

ภาพประกอบที่ 63 แสดงกาวยางโดยมีสารเพิ่มการยึดติด คือ Terpene phenolic resin และ Petroleum resin ที่ปริมาณต่างๆ

4.11.2 กาวยางผสมสารเพิ่มการยึดติดคือ ชัน (Dammar)

กาวยางที่เตรียมได้จากการใช้ชันเป็นสารเพิ่มการยึดติด โดยมีการแปรปริมาณของชันดังนี้คือ 5, 10, 15 และ 20 phr พบว่ากาวยางทุกสูตรมีลักษณะเป็นครีมข้นมีสีน้ำตาลอ่อน ยกเว้นกาวยางผสมชัน 20 phr มีลักษณะเป็นครีมค่อนข้างแห้งสีน้ำตาลอ่อน สามารถนำไปใช้เป็นกาวได้ ดังนั้นปริมาณของชันสูงสุดที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือ 20 phr



A : กาวยางผสมชันปริมาณต่างๆ : (1) 5 phr (2) 10 phr



B : กาวยางผสมชันปริมาณต่างๆ : (1) 15 phr (2) 20 phr

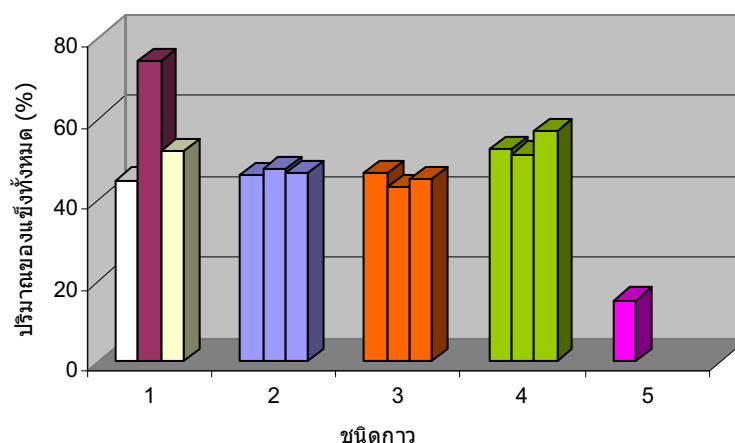
ภาพประกอบที่ 64 แสดงกาวยางโดยมีสารเพิ่มการยึดติดคือ ชัน ที่ปริมาณต่างๆ

4.12 การทดสอบคุณสมบัติของกาวยาง

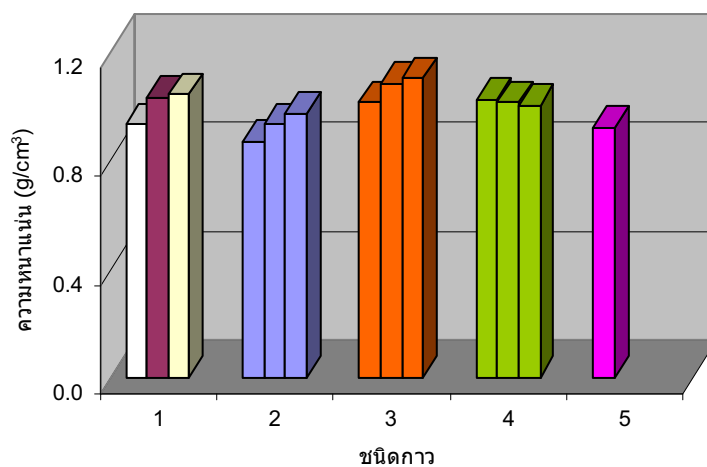
จากกาวยางที่เตรียมได้นำมาทดสอบคุณสมบัติของกาวยางตามมาตรฐานอุตสาหกรรมกาวยาง มอก. 521-2527 [22] ได้แก่ การหาปริมาณของแข็งทั้งหมด (เนื้อกาว) ความหนาแน่น ความหนืด และมาตรฐานอุตสาหกรรมกาวพอลิไวนิลอะซิเตตอิมัลชัน มอก. 181-2530 [23] ได้แก่ การทดสอบความเป็นกรด-ด่าง ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบแสดงดังภาพประกอบที่ 65-68 ตามลำดับ โดยมีหมายเลขสัญลักษณ์แทนกาวแต่ละชนิดโดยเรียงลำดับจากซ้ายไปขวาตามรายการดังต่อไปนี้

ตารางที่ 21 สัญลักษณ์หมายเลขแทนชนิดของกาว

หมายเลข	ชนิดของกาว
1	กาวยางที่ไม่ใส่สารตัวเติม, กาว TOA, กาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์
2	กาวยางผสม Petroleum resin 15, 30, และ 45 phr
3	กาวยางผสม Terpene phenolic resin 30, 45 และ 60 phr
4	กาวยางผสมชั้น 10, 15 และ 20 phr
5	กาวยางตามมอก. 521-2527 (ใช้อ้างอิงการทดสอบปริมาณเนื้อกาว ความหนาแน่น และความหนืด) และมอก. 181-2530 (ใช้อ้างอิงการทดสอบความเป็นกรด-ด่าง)

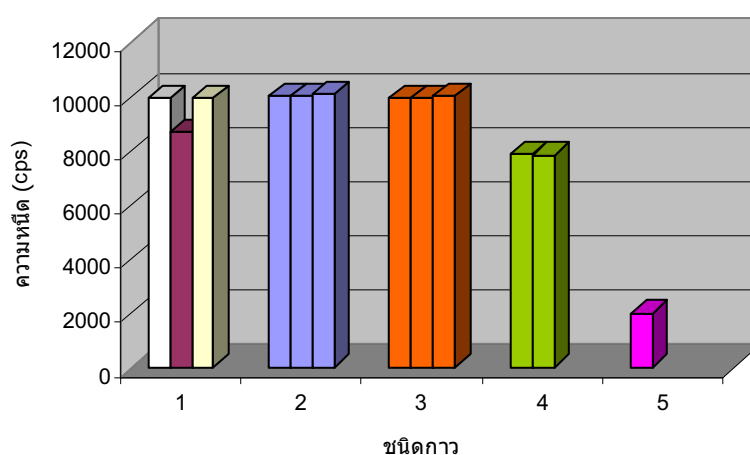


ภาพประกอบที่ 65 กราฟแสดงผลของชนิดกาวต่อปริมาณเนื้อกาว



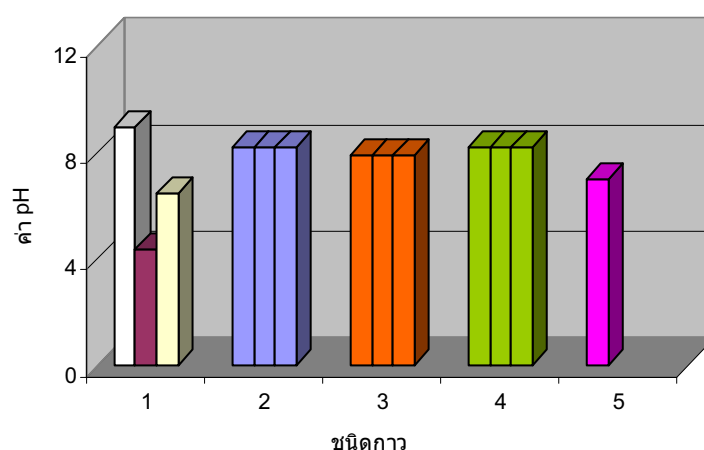
ภาพประกอบที่ 66 กราฟแสดงผลของชนิดกาวต่อความหนาแน่น

จากภาพประกอบที่ 65 และ 66 พบว่าปริมาณเนื้อกาวทุกสูตรผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกาวยาง มอก.521-2527 [22] ซึ่งกำหนดว่าในการใช้งานทั่วไปต้องมีปริมาณเนื้อกาวไม่น้อยกว่าร้อยละ 15 สำหรับความหนาแน่น กาวทุกสูตรผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกาวยาง มอก.521-2527 [23] ซึ่งค่าความหนาแน่นมีค่าอยู่ในช่วง 0.93 ถึง 1.08 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ยกเว้นกาวยางผสม Petroleum resin 15 phr ที่ไม่ผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกาวยาง ซึ่งมีค่าความหนาแน่นประมาณ 0.87 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร



ภาพประกอบที่ 67 กราฟแสดงผลของชนิดกาวต่อความหนืด

จากภาพประกอบที่ 67 พบว่ากาวทุกสูตรผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กาวยาง มอก.521-2527 [22] ที่กำหนดไม่น้อยกว่า 1500 เซนติพอยส์ และมาตรฐาน ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกาวโพลีไวนิลอะซิเตดอิมัลชันสำหรับไม้ มอก.181-2530 [23] ที่กำหนดไว้ ที่ 2000 เซนติพอยส์ นอกจากนี้พบว่ากาวยางผสม Petroleum resin และกาวยางผสม Terpene phenolic resin ทุกสูตรมีความหนืดใกล้เคียงความหนืดของกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ซึ่งมีค่าประมาณ 9900 เซนติพอยส์ กาวยางผสมชั้น 10 และ 15 phr มีค่าความหนืดประมาณ 7800 เซนติพอยส์ สำหรับกาวยางผสมชั้น 20 phr เมื่อทำการใส่โปแตสเซียมโอเลตลงไปใหม่ๆ พบว่ากาวชนิด ดังกล่าวมีลักษณะข้นเหนียวติดดีแต่เมื่อตั้งทิ้งไว้เกินกว่า 1 ชั่วโมงพบว่ากาวมีลักษณะแห้งคล้าย ฟองน้ำผิวหน้าเรียบลื่นแววคล้ายพลาสติกไม่มีสมบัติความเป็นกาวจึงไม่สามารถทำการทดสอบหา ความหนืดได้

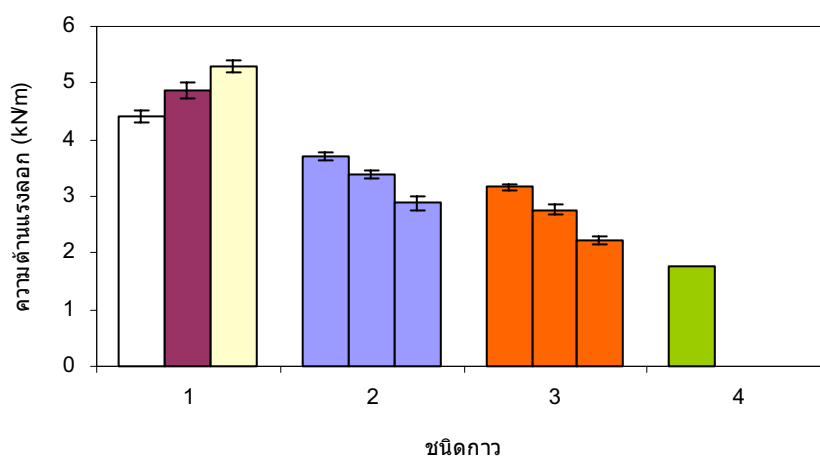


ภาพประกอบที่ 68 กราฟแสดงผลของชนิดกาวต่อความเป็นกรด-ด่าง

จากภาพประกอบที่ 68 พบว่ากาวทุกสูตรมีค่าความเป็นกรด-ด่างใกล้เคียงกันโดย มีความเป็นด่างอ่อนๆ ซึ่งต่างจากกาว TOA และกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ที่มีความเป็นกรดอ่อนๆ กาวที่ผลิตได้มีค่าความเป็นกรด- ด่างสูงกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมโพลีไวนิลอะซิเตด อิมัลชันสำหรับไม้ มอก.181-2530 [23] ซึ่งกำหนดไว้อยู่ในช่วง 4 ถึง 7 เนื่องจากถ้าออกสูตรกาว ในช่วงดังกล่าวพบว่ากาวที่ได้จะจับตัวกันเป็นก้อนจึงจำเป็นต้องปรับให้ค่าความเป็นกรด-ด่างมี ความใกล้เคียงกับสารเคมีที่ใช้ในการออกสูตรกาว

4.13 การทดสอบความต้านแรงลอก

การทดสอบความต้านแรงลอกเป็นการทดสอบกาวที่แข็งตัวอย่างสมบูรณ์ เพื่อประเมินแรงยึดเกาะของกาวกับไม้ยางพารา โดยการทดสอบจะใช้ชิ้นทดสอบ 5 ชิ้นต่อหนึ่งตัวอย่าง ซึ่งผลการทดสอบ แสดงดังภาพประกอบที่ 69



ภาพประกอบที่ 69 กราฟแสดงผลของชนิดกาวต่อความต้านแรงลอก

หมายเลข	ชนิดของกาว
1	กาวยางที่ไม่ใส่สารตัวเติม, กาว TOA, กาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์
2	กาวยางผสม Petroleum resin 15, 30, และ 45 phr
3	กาวยางผสม Terpene phenolic resin 30, 45 และ 60 phr
4	กาวยางงานวิจัยของอรสา ภัทรไพบุญชัย และเรวดี แต่งเกลี้ยง [44]

จากภาพประกอบที่ 69 แสดงผลของชนิดกาวต่อความต้านแรงลอกของกาวยางผสม Petroleum resin และกาวยางผสม Terpene phenolic resin พบว่าจากการทดสอบความต้านแรงลอกมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, SD) อยู่ในช่วง 0.05-0.14 ผลการทดสอบมีความถูกต้องอย่างมีนัยสำคัญ ชิ้นทดสอบที่ติดกาว TOA และกาว UF ภายหลังการดึงลอกมีส่วนของเศษไม้ของชิ้นทดสอบด้านหนึ่งติดอยู่กับชิ้นทดสอบอีกด้าน แสดงให้เห็นว่ากาว TOA และกาว UF มีการดูดซึมและซึมซาบของกาวไปตามรูพรุนในเนื้อไม้ได้ดีทำให้เกิดแรงยึดเกาะระหว่างกาวกับไม้สูง ส่งผลให้ความต้านแรงลอกมีค่าสูงกว่ากาวยางที่ไม่ได้ผสมสารเพิ่มการยึดติด และกาวยาง

สูตรต่างๆ ที่ผสมสารเพิ่มการยึดติด ในขณะที่กาวยางที่ไม่ได้ผสมสารเพิ่มการยึดติด และกาวยางสูตรต่างๆ ที่ผสมสารเพิ่มการยึดติด ขึ้นไม้ทดสอบทั้งสองแยกออกจากกัน โดยไม่มีเศษไม้ติดมาด้วย มีแต่คราบกาวยางที่แห้งติดอยู่บนชิ้นทดสอบทั้งสองด้าน ส่วนใหญ่กาวอยู่เฉพาะบริเวณผิวหน้าทำให้แรงยึดเกาะระหว่างกาวกับไม้ต่ำ อย่างไรก็ตามยังไม่ได้มีการวัดขนาดของอนุภาคของกาวยางผสม Petroleum resin 15, 30, และ 45 phr และกาวยางผสม Terpene phenolic resin 30, 45 และ 60 phr เพื่อยืนยันผลว่าขนาดของอนุภาคกาวไม่มีผลต่อซึมซาบของกาวไปตามรูพรุนในเนื้อไม้

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกาวยางที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดกับกาวยางที่ผสมสารเพิ่มการยึดติด ความต้านแรงลอกแสดงผลเช่นเดียวกับส่วนที่ 1 คือกาวยางที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดมีความต้านแรงลอกสูงสุดคือ 4.41 kN/m แต่ไม่สูงกว่ากาว TOA และกาว UF อาจเนื่องมาจากกาวยางที่ไม่ได้ผสมสารเพิ่มการยึดติดมีสมบัติความเป็นยาง (Elastomer) และมีความเหนียวมากกว่า จึงทำให้ต้องใช้แรงในการดึงลอกมากกว่ากาวยางสูตรต่างๆ ที่ผสมสารเพิ่มการยึดติด อีกทั้งกาวยางที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดยังมีความเป็นเนื้อเดียวกันมากกว่ากาวยางที่ผสมสารเพิ่มการยึดติด นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณสารเพิ่มการยึดติดทั้ง Petroleum resin และ Terpene phenolic resin ในกาวยางทำให้ความต้านแรงลอกมีค่าลดลง กาวยางที่มีส่วนผสมของ Petroleum resin ที่อัตราส่วน 15 phr แสดงค่าความต้านแรงลอกสูงสุดเท่ากับ 3.70 kN/m

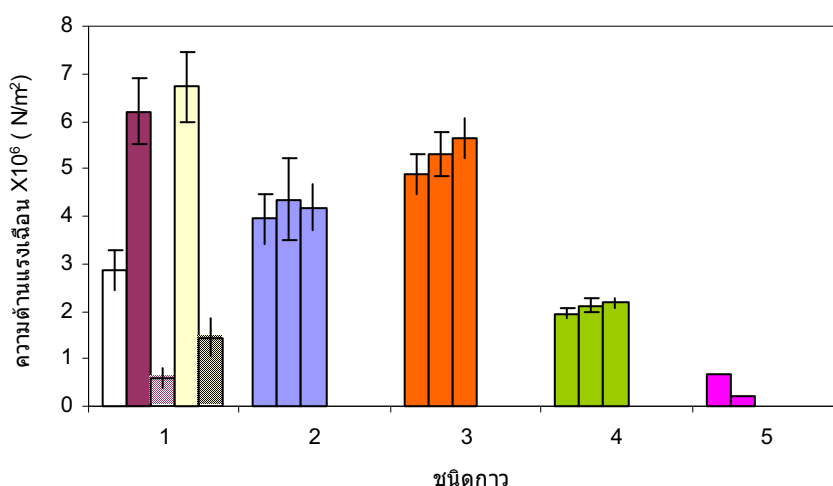
เมื่อเปรียบเทียบกับกาวยางที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ และกาวยางที่มีส่วนผสมของคิวมาโรนอิมัลชัน พบว่าความต้านแรงลอกของกาวยางที่มีส่วนผสม Petroleum resin และ กาวยางที่มีส่วนผสม Terpene phenolic resin ให้ค่าความต้านแรงลอกสูงกว่า แต่หากเปรียบเทียบกับความต้านแรงลอกของกาวยางที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ ร่วมกับคิวมาโรนอิมัลชัน พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับความต้านแรงลอกของกาวยางที่มีส่วนผสม Petroleum resin และ กาวยางที่มีส่วนผสม Terpene phenolic resin

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองกับงานวิจัยของอรสา ภัทรไพบูลย์ชัย และเรวดี แต่งเกลี้ยง (2544) ซึ่งใช้สูตรในการผลิตกาวใกล้เคียงกับงานวิจัยนี้ โดยผลิตกาวจากน้ำยางขึ้น พบว่ากาวยางที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดมีค่าความต้านแรงลอกเท่ากับ 1.75 kN/m และงานวิจัยของอาชีชัน แกสมาน และคณะ [32] พบว่ากาวจากยางแห้งที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดมีค่าความต้านแรงลอกเท่ากับ 1.90×10^{-3} kN/m และกาวที่ผสม coumarone indene resin ที่ 10 phr ให้ค่าความต้านแรงลอกสูงสุดเท่ากับ 3.53×10^{-3} kN/m จากงานวิจัยทั้งสอง พบว่ากาวยางที่ผลิตจากน้ำยางธรรมชาติ อีพอกไซด์ที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดให้ค่าความต้านแรงลอกเท่ากับ 4.4 kN/m ซึ่งค่าที่ได้สูงกว่ากาวที่ผลิตจากน้ำยางขึ้นและกาวที่ผลิตจากยางแห้ง อย่างไรก็ตามงานวิจัยชิ้นนี้ไม่สามารถทดสอบ

ความต้านแรงลอกหลังการแช่น้ำของกาวทุกชนิดได้เนื่องจากการเกิดการหลุดล่อนของกาวและไม่หลังการแช่น้ำ

4.14 การทดสอบความต้านแรงเฉือน

การทดสอบความต้านแรงเฉือนเป็นการทดสอบกาวที่แห้งตัวอย่างสมบูรณ์ เพื่อประเมินแรงยึดเกาะของกาวกับไม้ยางพารา เช่นเดียวกับการทดสอบความต้านแรงลอก แต่จะใช้ชิ้นทดสอบ 10 ชิ้นต่อหนึ่งตัวอย่าง ซึ่งผลการทดสอบ แสดงดังภาพประกอบที่ 70



ภาพประกอบที่ 70 กราฟแสดงผลของชนิดกาวต่อความต้านแรงเฉือน

หมายเลข	ชนิดของกาว
1	กาวยางที่ไม่ใส่สารตัวเติม, กาว TOA, กาว TOA (แช่น้ำ), กาวUF, กาว UF (แช่น้ำ)
2	กาวยางผสม Petroleum resin 15, 30, และ 45 phr
3	กาวยางผสม Terpene phenolic resin 30, 45 และ 60 phr
4	กาวยางผสมชั้น 10, 15 และ 20 phr
5	กาวยางงานวิจัยของอรสา ภัทรไพบุญชัย และเรวดี แต่งเกลี้ยง [44], มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมโพลิไวนิลอะซิเตดอิมัลชันสำหรับไม้ มอก.181-2530 [23]

จากภาพประกอบที่ 70 แสดงผลของชนิดกาวยาต่อความต้านแรงเฉือน พบว่า ชันทดสอบที่ติดกาวยา TOA และกาวยา UF ภายหลังการดึงมีส่วนของเศษไม้ของชันทดสอบด้านหนึ่ง ติดอยู่กับชันทดสอบอีกด้าน แสดงให้เห็นว่ากาวยา TOA และกาวยา UF มีการดูดซึมและซึมซาบของ กาวยาไปตามรูพรุนในเนื้อไม้ได้ดีทำให้เกิดแรงยึดเกาะระหว่างกาวยากับไม้สูง ส่งผลให้ความต้านแรง เฉือนมีค่าสูงกว่ากาวยาที่ไม่ได้ผสมสารเพิ่มการยึดติด และกาวยาสูตรต่างๆ ที่ผสมสารเพิ่มการยึด ติด ในขณะที่กาวยาที่ไม่ได้ใส่สารเพิ่มการยึดติด และกาวยาสูตรต่างๆ ที่ใส่สารเพิ่มการยึดติด ชันทดสอบทั้งสองแยกออกจากกัน โดยไม่มีเศษไม้ติดมาด้วยมีแต่คราบกาวยาที่แห้งติดอยู่บน ชันทดสอบทั้งสองด้าน เหตุผลเช่นเดียวกับการอธิบายผลของชนิดกาวยาต่อความต้านแรงลอก เนื่อง กาวยาส่วนใหญ่อยู่เฉพาะบริเวณผิวหน้าทำให้แรงยึดเกาะระหว่างกาวยากับไม้ต่ำ จึงทำให้ค่าความต้าน แรงเฉือนที่ได้มีน้อยลงและลักษณะของชันทดสอบของกาวยาภายหลังการดึงเกิดความเสียหาย เฉพาะตรงจุดที่กาวยาไม่ได้เกิดบริเวณเนื้อไม้

ความต้านทานแรงเฉือนของกาวยาที่ใส่สารเพิ่มการยึดติดมีค่าเพิ่มขึ้นตาม ปริมาณสารเพิ่มการยึดติดที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณสารเพิ่มการยึดติดที่เพิ่มมากขึ้นทำ ให้แนวโน้มน้ำที่วงแหวนโมเลกุลของ Terpene phenolic resin และ Petroleum resin แตกออกแล้ว เกิดเป็นหมู่ไฮดรอกซิลทำให้สามารถเกิดเป็นพันธะไฮโดรเจนได้สูงมากเพราะ Terpene phenolic resin และ Petroleum resin เป็นสารที่มีไฮโดรเจนและออกซิเจนเป็นองค์ประกอบสามารถเกิด พันธะไฮโดรเจนกับเนื้อไม้ที่เป็นเซลลูโลสได้และถ้ายังมีปริมาณมากขึ้นก็จะสามารถเกิดพันธะ ไฮโดรเจนได้มากขึ้น ส่งผลให้ความแข็งแรงของการติดประสานเพิ่มขึ้นด้วย แต่การใส่สารเพิ่มการ ยึดติดสามารถใส่ได้ในปริมาณที่จำกัดเพราะจะทำให้กาวยาที่เตรียมได้เสียสภาพ โดย Petroleum resin สามารถใส่ได้ในปริมาณสูงสุด 45 phr ในขณะที่ Terpene phenolic resin ใส่ได้ถึง 60 phr และ ยังมีแนวโน้มน้ำที่สามารถใส่เพิ่มได้อีก จากการทดลองกาวยาที่ใส่ Terpene phenolic resin 60 phr ให้ค่าความต้านแรงเฉือนสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับกาวยาสูตรอื่นๆ ซึ่งรวมถึงกาวยาที่มีส่วนผสม ของแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ และกาวยาที่มีส่วนผสมของคิวมาโรนอิมัลชัน

เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของอรสา ภัทรไพบูลย์ชัย และเรวดี แต่งเกลี้ยง [44] ที่ผลิตกาวยาจากน้ำยางชัน พบว่าความต้านแรงเฉือนของกาวยาที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดมีค่าเท่ากับ $0.69 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ ซึ่งค่าที่ได้นี้น้อยกว่ากาวยาที่ผลิตจากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซดีที่ไม่ผสมสารเพิ่มการ ยึดติดมีค่าแรงเฉือนเท่ากับ $2.85 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการผลิตกาวยาโดยเลือกใช้น้ำยางพาราเป็น วัตถุดิบจะดีกว่าการใช้ยางแห้ง เนื่องจากกาวยาที่ผลิตได้จะมีสมบัติด้านการยึดติดที่ดีกว่า อย่างไรก็ตาม งานวิจัยชิ้นนี้ไม่สามารถทดสอบความต้านแรงลอกหลังการแช่น้ำของกาวยาทุกชนิดได้เนื่องจาก การเกิดการหลุดล่อนของกาวยาและไม้หลังการแช่น้ำ

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

ส่วนที่ 1 สรุปผลตามขอบเขตงานวิจัยโดยใช้ Coumarone resin และแป้งข้าวเหนียว เจลาตินไนซ์ เป็นส่วนผสมร่วมในกาวน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซค์

1. การเตรียมยางธรรมชาติอีพอกไซค์จากการทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน พบว่าปริมาณหมู่อีพอกไซค์ที่เกิดขึ้นบนโมเลกุลยางธรรมชาติเพิ่มขึ้นตามเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา และค่า Tg ของยางธรรมชาติอีพอกไซค์มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณหมู่อีพอกไซค์

2. สารเพิ่มการยึดติดชนิดคิวมาโรน เรซินที่ใช้ควรเตรียมในรูปอิมัลชัน และจำเป็นต้องมีการปรับความเป็นกรด-ด่างของน้ำยางเท่ากับ 8.6 โดยใช้ KOH 10% โดยน้ำหนัก เพื่อป้องกันน้ำยางจับตัวเป็นก้อนและเสียสภาพ

3. การศึกษาผลของเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซค์ต่อความต้านแรงเหนือนเพื่อใช้ในการเลือกเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซค์ที่เหมาะสมในการเตรียมกาวยาง พบว่าเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซค์ที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ 44% โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน 6 ชั่วโมง ซึ่งที่สภาวะดังกล่าวเป็นสภาวะในการทดลองเพื่อให้ได้น้ำยางธรรมชาติที่มีคุณสมบัติในการนำมาออกสูตรกาวยางธรรมชาติอีพอกไซค์ที่ให้สมบัติความเป็นกาวดีที่สุดในงานวิจัยชิ้นนี้

4. การศึกษาหมู่ฟังก์ชันของกาวยางด้วยเทคนิค FT-IR พบว่ากาวยางที่ผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ปรากฏหมู่ฟังก์ชันของ C-O-C ที่อยู่บนโมเลกุลของอะไมเลสและอะไมโลเพกตินในแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ และกาวยางที่ผสมคิวมาโรนอิมัลชันปรากฏวงแหวนเบนซีนที่อยู่บนโมเลกุลของคิวมาโรนเรซิน นอกจากนี้ยังปรากฏหมู่ฟังก์ชันของ C=O เพิ่มขึ้นในกาวยางที่ผสมสารเพิ่มการยึดติดทั้งสองชนิดโดยเฉพาะกาวยางที่ผสมคิวมาโรนอิมัลชัน ซึ่งหมู่ C=O สามารถพบได้ในโมเลกุลของกาว TOA และกาว UF เช่นเดียวกัน

5. อนุภาคของกาวยางที่เตรียมได้ทุกชนิด สามารถแทรกตัวเข้าไปในรูพรุนของไม้ยางพาราได้เนื่องจากมีขนาดอนุภาคเล็กกว่าขนาดรูพรุนของไม้ยางพารา โดยกาวยาง และกาวยางที่ผสมสารตัวเติมที่เตรียมได้ทุกชนิดมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยใกล้เคียงกันประมาณ 1.1 ไมโครเมตร และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, SD) อยู่ในช่วง 0.5-0.7 โดยขนาดอนุภาคใหญ่สุดที่วัดได้มีขนาด 5.8 ไมโครเมตร ขนาดรูพรุนเฉลี่ยของไม้ยางพารามีค่าประมาณ 20 ไมโครเมตร

6. การผสมสารเพิ่มการยึดติดทั้ง 2 ชนิดคือ แป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์และคิวมาโรนอิมัลชันลงในกาวยาง ส่งผลให้ความต้านแรงลอกของกาวลดลงเนื่องจากการรวมตัวเป็นกลุ่มเล็กๆของอนุภาคในกาวเมื่อแห้ง จึงทำให้ความเป็นยาง (Elastomer) และความเป็นเนื้อเดียวกันของกาวลดน้อยลง ตรงกันข้ามกับความต้านแรงเนื่องการผสมสารเพิ่มการยึดติดทั้ง 2 ชนิดคือ แป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์และคิวมาโรนอิมัลชันลงในกาวยาง ส่งผลให้ความต้านแรงเฉือนของกาวเพิ่มขึ้นโดยคิวมาโรนอิมัลชันส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของความต้านแรงเฉือนมากกว่าแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์

7. การศึกษาผลของชนิดและปริมาณสารเพิ่มการยึดติด พบว่ากาวยางที่ผสมคิวมาโรนอิมัลชันสามารถยึดติดไม้ได้ดีกว่ากาวยางที่ผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์กับคิวมาโรนอิมัลชัน และกาวยางที่ผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ ตามลำดับ และกาวยางสามารถยึดติดได้มากขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณคิวมาโรนอิมัลชัน ซึ่งปริมาณสูงสุดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ 8 phr สำหรับกาวยางที่ผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์สามารถยึดติดไม้ได้ดีที่สุดเมื่อใช้ปริมาณแป้งข้าวเหนียว-เจลาตินไนซ์ไม่เกิน 7 phr

8. กาวยางที่ผสมคิวมาโรนอิมัลชันปริมาณ 8 phr เป็นสูตรกาวที่ดีที่สุด เนื่องจากมีเนื้อกาว ความหนืด และความหนาแน่นผ่านตามอก. 521-2527 แต่ค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ที่ 9.5 ซึ่งสูงกว่ามอก.181-2530 เพราะต้องมีการปรับความเป็นกรด-ด่าง เพื่อไม่ให้กาวยางจับตัวเป็นก้อน สำหรับความต้านแรงลอก ความต้านแรงเฉือน แรงดึงขานานเสี้ยนสูงสุด และค่ามอดูลัสแตกร้าวที่ได้เท่ากับ 0.88×10^6 kN/m, 5.08×10^6 N/m², 28.40×10^6 N/m² และ 20.21×10^6 N/m² ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับกาว TOA ซึ่งเป็นกาวที่ใช้สำหรับติดไม้ จึงมีความเป็นไปได้สูงในการพัฒนากาวชนิดนี้ให้ใช้งานในอุตสาหกรรม นอกจากนี้กาวยางที่เตรียมได้ก็ยังมีข้อดีตรงที่ไม่เป็นอันตรายกับผู้ใช้งานและไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม เนื่องจากกาวยางมีน้ำเป็นส่วนประกอบหลักแต่มีข้อด้อยคือไม่ทนต่อการแช่น้ำเนื่องจากการเกิดการหลุดล่อนของกาวและไม้หลังการแช่น้ำ

ส่วนที่ 2 การรายงานผลการศึกษาเพิ่มเติมนอกขอบเขตงานวิจัยโดยใช้ Petroleum resin, Terpene phenolic resin, และ ชัน (Dammar) เป็นส่วนผสมร่วมในกาวน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์

1. น้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์มีความเสถียรค่อนข้างสูง ในระยะเวลา 10 สัปดาห์ สมบัติด้าน ปริมาณหมู่อีพอกไซด์ ความหนืด ค่าความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิคล้ายแก้ว มีค่าคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา

2. การศึกษาผลของชนิดและปริมาณสารเพิ่มการยึดติด พบว่ากาวยางที่

ผสม Terpene phenolic resin สามารถยึดติดไม้ได้ดีกว่ากาวยางที่ผสม Petroleum resin และกาวยางที่ผสมชัน ตามลำดับ และกาวยางสามารถยึดติดได้ดีมากขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณ Terpene phenolic resin ซึ่งปริมาณสูงสุดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ 60 phr และมีแนวโน้มที่สามารถใส่เพิ่มได้

3. กาวยางที่ผสม Terpene phenolic resin เป็นสารเพิ่มการยึดติดในปริมาณ 60 phr เป็นสูตรกาวที่ดีที่สุด เนื่องจากมีเนื้อกาว ความหนืด และความหนาแน่นผ่านมาตรฐาน ในส่วนความต้านแรงลอก และความต้านแรงเฉือนมีค่า 2.23×10^6 kN/m, 5.64×10^6 N/m² ตามลำดับซึ่งสูงกว่าความต้านแรงลอก และความต้านแรงเฉือนของกาวยางที่ผสมคิวมาโรนอิมัลชันปริมาณ 8 phr ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.88×10^6 kN/m, 5.08×10^6 N/m² ตามลำดับ และที่สำคัญค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับความต้านแรงเฉือนของกาว UF แต่ค่าความต้านแรงลอกมีค่าเพียงครึ่งหนึ่งของกาว UF ซึ่งเป็นกาวที่ใช้สำหรับติดไม้ที่ใช้ในอุตสาหกรรม

ข้อเสนอแนะ

จากการทำงานวิจัยเรื่องนี้ พบว่ามีประเด็นที่น่าสนใจที่น่าจะได้รับการศึกษา เพื่อให้เกิดประโยชน์มากขึ้น ดังนี้

1. ศึกษาแรงดึงขานานเส้นสูงสุด และค่ามอดูลัสแตกร้าวของกาวยางที่ผสม Terpene phenolic resin 60 phr หรือปริมาณมากกว่า เนื่องจากกาวชนิดนี้มีศักยภาพในการใช้เป็นกาวสำหรับติดไม้ในอุตสาหกรรม จึงควรพัฒนากาวชนิดนี้ต่อไป เช่นเดียวกับกาวยางผสมคิวมาโรนอิมัลชันปริมาณ 8 phr
2. ศึกษาอายุการเก็บกาวที่ผลิตได้กับความสามารถในการยึดติด
3. ศึกษาสารPlasticizer ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเพื่อให้กาวสามารถซึมซาบเข้าไปในเนื้อไม้ยังพาราได้ควรมีการเติมสาร Plasticizer ลงไปในสูตรกาวเพื่อช่วยทำให้สภาพการซึมมีมากขึ้น ส่งผลต่อการยึดติดที่ดี
4. ควรปรับปรุงชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น เช่น การเปลี่ยนใบพัดที่ใช้สำหรับกวนให้มีขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อความเข้ากันได้ดีของสารเคมีที่ใช้ และการกระจายขนาดอนุภาคของน้ำยาง
5. ศึกษาเกี่ยวกับความต้านทานต่อเชื้อราของกาว
6. ศึกษาเกี่ยวกับความสามารถในการยึดติดกับวัสดุชนิดอื่นๆ เช่น หนัง โลหะ พลาสติก เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] ปรีชา เกียรติกระจาย. 2533. กาวและการยึดติดไม้. โครงการเผยแพร่ความรู้ทางผลิตภัณฑ์, คณะวนศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- [2] กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. 2541. ฟอร์มัลดีไฮด์. พิมพ์ครั้งที่ 2
- [3] เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร, เทคโนโลยีของยาง, ภาควิชาวัสดุศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, หน้า 1-29
- [4] Hofmann, w., 1989, Rubber Technology Handbook, New York, Carl Hanser Verlag., p.50
- [5] พิชชา ลีฉิรากรณ์. 2543. การปรับปรุงและพัฒนาน้ำยางธรรมชาติเพื่อใช้เป็นวัสดุกาว. สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ, คณะพลังงานและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- [6] วราภรณ์ ขจรไชยกูล. 2525. น้ำยาง. เอกสารทางวิชาการเลขที่ 109 งานอุตสาหกรรมยาง ศูนย์วิจัยยางหาดใหญ่: 199-205.
- [7] วัชรินทร์ สายน้ำใส. 2544. การศึกษาอิทธิพลของระดับระหว่างยางธรรมชาติอีพอกไซด์กับแป้งมันสำปะหลัง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- [8] ไพโรจน์ กลิ่นพิทักษ์, ยินดี ศรียา และสาสือเมาะ คือราโอะ. 2540. การเตรียมผลิตภัณฑ์ยางเหลวจากยางธรรมชาติอีพอกไซด์เหลวและกรด 2,4- ไดคลอโรฟีนอกซีอะซีติก. ทนอุดหนุนจากงบประมาณแผ่นดินประจำปี 2540
- [9] Baker, C.S.L. and Gelling, I.R. 1987. Epoxidized Natural Rubber, In Development in Rubber Technology-4: 87-117. Whelan, A and Lee, K.S., Eds. London: Elsevier Applied Science Publishers Ltd.
- [10] เจริญ นาคะสรรค์ และคณะ. 2544. การเตรียม สมบัติเชิงความร้อน และสมบัติการไหลของยางธรรมชาติ อีพอกไซด์. วารสารสงขลานครินทร์ วทท. 23(3): 415-424.
- [11] Davey, J.E. and Loadman, M.J.R. 1984. Chemical Demonstration of the Randomness of Epoxidation of Natural Rubber, Br. Polym. J. 16: 134-138.
- [12] Baker, C.S.L. and Gelling, I.R. 1985. Epoxidized Natural Rubber-A New Synthetic Polymer. Rubber World. 00: 15-20.
- [13] Burfield, D.R., Lim, K.L., Law. K.S. and Ng, S. 1984. Analysis of Epoxidized of Natural Rubber: Element Analysis and Direct Titration Methods, Polym. Sc. 25: 955-998.

- [14] Bibi, A.N., Boscott, D.A., Butt, T. and Lehrle, R.S. 1988. Improving the Adhesion between Rubber and Nylon by either Epoxidation of the Rubber or Chemical Pre-treatment of the Nylon. Eur. Polym. J. 24: 1127-1131.
- [15] Kinloch, A.J. 1987. Adhesion and Adhesives. 1st ed. New York, Chapman & Hall: 1-100.
- [16] Skeist, I. 1990. Handbook of Adhesives. 3rd ed. New York, Van Nostrand Reinhold: 3-55.
- [17] วรากรณ์ ขจรไชยกูล. 2530. กระบวนการผลิตภัณฑ์ยาง. เอกสารวิชาการเลขที่ 135 ศูนย์วิจัยยางสงขลา กรมวิชาการเกษตร
- [18] วรากรณ์ ขจรไชยกูล และวิภา เสวตกนิษฐ์. 2541. การผลิตกาวยางจากน้ำยางเพื่อใช้ในงานทั่วไป. ส่วนอุตสาหกรรมยาง สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร
- [19] Pizzi, A. and Mittal, K.L., 1994, Handbook of Adhesive Technology, New York, Marcel Dekker, p.315-318
- [20] วรากรณ์ ขจรไชยกูล และคณะ. 2541. การผลิตกาวยางจากยางแห้งเพื่อใช้ในงานทั่วไป. ส่วนอุตสาหกรรมยาง สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร
- [21] วรากรณ์ ขจรไชยกูล และวิภา เสวตกนิษฐ์. 2537. ศึกษาการเสริมแรงกาวน้ำยาง. ศูนย์วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ยาง สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร
- [22] กระทรวงอุตสาหกรรม. 2527. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกาวยาง มอก.521-2527. โรงพิมพ์สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กทม.
- [23] กระทรวงอุตสาหกรรม. 2530. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกาวโพลิไวนิลอะซิเตด-อิมัลชัน มอก.181-2530. โรงพิมพ์สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กทม.
- [24] ASTM D 3807. 1982. Strength Properties of Adhesives in Cleavage Peel by Tension Loading. Annual Book of ASTM Standards. N.Y.: 1041-1044.
- [25] ASTM D 2339. 1982. Standard Test Method for Strength Properties of Adhesives in Two Ply- Wood Construction in Shear by Tension Loading. Annual Book of ASTM Standards. N.Y.: 702-705.
- [26] American Institute of Timber Construction. 1967. Tension test specimens for quality control of glue bonds in finger joint and scarf joints. Supplement to "Inspector Manual" AITC 200-63: 16.
- [27] American Society for-Testing and Material. 1989a. Standard methods of static tests of timber in structure sizer. In Annual book of ASTM standard. Philadelphia, U.S.A. : 80-88.

- [28] พรพล ลีสินสวัสดิ์, สันติ แซ่เล่า และอุเทน พุทธรักษา. 2543. การทดสอบความแข็งแรงของข้อต่อไม้ยางพารา. สาขาวิชาเทคโนโลยีศิลปอุตสาหกรรม, ภาควิชาก่อสร้างและงานไม้, วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- [29] ทนงศักดิ์ เกษตรธรรม. 2534. ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของรอยต่อไม้มีประสานของไม้ยางและไม้สัก. สาขาวนผลิตภัณฑ์, ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์, คณะวนศาสตร์ศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- [30] Gent, A.N. 1992. Engineering with Rubber : How to Design Rubber Components, Hanser Publishers, New York: 29.
- [31] Dick, J.S. 2001. Rubber Technology : Compounding and Testing for Performance, Hanser Publishers, Munich: 438-447.
- [32] อาชีชัน แกสมาน อติชัย รุ่งวิชานวัฒน์ และจรัส โพธิ์สีสด. 2540. การผลิตกาวดักแมลงจากยางธรรมชาติ. ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- [33] พรพรรณ นิธิอุทัย. 2528. สารเคมีสำหรับยาง. ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์: 270-286.
- [34] อรสา ภัทรไพบูลย์ชัย และเรวดี แท่งเกลี้ยง. 2544. อายุการเก็บและการปรับปรุงการเชื่อมตัวของกาวน้ำยาง. รายงานการเสนอผลงานวิจัยในการประชุมวิชาการเพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี: 181-191.
- [35] กมลรัตน์ รัตนประภัสร์. 2542. วัสดุอุ้มน้ำจากแป้งมันสำปะหลังกับการใช้งานการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ. วารสารเพื่อการพัฒนาเทคโนโลยีวัสดุ. 14. หน้า 44-49.
- [36] วราภรณ์ ขจรไชยกูล และวิภา เสวตกนิษฐ์. 2537. ศึกษาการเสริมแรงกาวน้ำยาง. ศูนย์วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ยาง สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร
- [37] วรธรรม อุ่นจิตติชัย และจรัส ชมชาญ. 2542. การศึกษาเบื้องต้นด้านคุณภาพการยึดเหนี่ยวของกาวอีพ็อกซี-โพลีเมอร์-ไอโซไซยานเนต กับไม้ทางการค้า: แรงเค้นดึงของรอยต่อเกย. ส่วนวิจัยและพัฒนาผลผลิตป่าไม้ สำนักวิชาการป่าไม้
- [38] Aydin, I. and Colakoglu, G. 2005. Effects of surface inactivation, high temperature drying and preservative treatment on surface roughness and color of alder and beech wood. Applied Surface Science. 252: 430-440.
- [39] Gindl, W., Schöberl, T. and Jeronimidis, G. 2004. The interphase in phenol-formaldehyde and polymeric methylene di-phenyl-di-isocyanate glue lines in wood. Int. J. of Adhesion and Adhesives. 24: 279-286.

- [40] นาฎยา แซ่ลิ้ม. 2545. กาวยางธรรมชาติชนิดทนน้ำมัน. โครงการงานนักศึกษาปริญญาตรี ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

บทความสำหรับการเผยแพร่และกิจกรรมที่เกี่ยวข้อง

1. บทความสำหรับการเผยแพร่:

1.1 Chittangwong, C., Ratanawilai, S.B., Ratanawilai, T. and Thongruang, W. Effect of filler on epoxide natural rubber latex glue for joint of rubber wood furniture. Asian Workshop on Polymer Processing 2006, Bangkok, Thailand, December 6 - December 8, 2006: 46-48.

1.2 ฉัตรปกรณ์ นันทวงศ์, สุกฤทธิรา รัตนวิไล, ธเนศ รัตนวิไล และ วิริยะ ทองเรือง “Study and Quality Improvement of Glue from Liquid Epoxidized Natural Rubber to Be Used in Rubberwood Furniture Industries” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, ครั้งที่ 4, 8-9 ธันวาคม 2548.

1.3 อยู่ในระหว่างการตอบรับสำหรับตีพิมพ์ในวารสารทางวิชาการ

จุพนธิ์ จิตต์ต่างวงศ์, สุกฤทธิรา รัตนวิไล, ธเนศ รัตนวิไล และ วิริยะ ทองเรือง “ผลกระทบของสารตัวเติมที่มีต่อกาวน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์สำหรับงานเชื่อมต่อเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา”

2. กิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการนำผลจากโครงการไปใช้ประโยชน์:

2.1 นำเสนอผลงานโดยจัด Booth หัวข้อ ผลของสารตัวเติมที่มีต่อกาวน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ในงานมอ. วิชาการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 2550

2.2 นำเสนอผลงานโดยจัด Booth หัวข้อ กาวน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ในงานมอ. วิชาการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 2548 พร้อมแผ่นพับประชาสัมพันธ์

2.3 ให้คำอธิบายพร้อมข้อมูลประกอบต่อผู้สนใจทางโทรศัพท์ในหัวข้อ กาวน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ จำนวน 2 ราย

ภาคผนวก ข

ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์	กิจกรรมที่วางแผน	กิจกรรมที่ดำเนินการ	ผลที่ได้รับจากงานวิจัย
1. ให้ได้ผลิตภัณฑ์กาวจากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์สำหรับใช้ในงานติดไม้ยางพาราที่มีคุณสมบัติเชิงเคมี ฟิสิกส์ และเชิงกลตามมาตรฐานอุตสาหกรรมกาว โดยใช้สารเพิ่มความเหนียว Coumarone resin และ แป้งข้าวเหนียวเจลาติไนซ์ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์กาว 2. ทดสอบคุณภาพเชิงเปรียบเทียบของรอยต่อไม้ยางพาราด้วยกาวที่ผลิตได้จากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์กับกาวที่ใช้ในโรงงานเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา	1. ติดตั้งและทดสอบอุปกรณ์และเครื่องมือถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ 2. ผลิตน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ให้ได้ปริมาณหม้ออีพอกไซด์ที่ต่างกัน 2 ค่า โดยการปรับเปลี่ยนเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 3. วิเคราะห์หาปริมาณหม้ออีพอกไซด์ด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี 4. วิเคราะห์และสรุปผลการผลิตน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์	1. นำอุปกรณ์และเครื่องมือถึงอุปกรณ์ที่ภาควิชาามีมาปรับปรุงใช้โดยไม่ต้องจัดซื้อครุภัณฑ์ใหม่ 2. สามารถผลิตน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ให้ได้ ปริมาณหม้ออีพอกไซด์ที่ต่างกัน 2 ค่า 3. สามารถวิเคราะห์ปริมาณหม้ออีพอกไซด์ 2 เทคนิคคือเทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี และเทคนิค H-NMR 4. วิเคราะห์และสรุปผลการผลิตน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์	1. ประหยัดงบประมาณ 2. ผลิตน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ให้ได้ปริมาณหม้ออีพอกไซด์ที่ต่างกันเกิน 2 ค่า นำมาวิเคราะห์ผลน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่ให้ผลดีที่สุดในการทำกาวคือ 44 % โมลอีพอกไซด์ 3. การวิเคราะห์ปริมาณหม้ออีพอกไซด์ด้วยเทคนิค H-NMR ให้ผลแม่นยำจึงเลือกใช้วิธีนี้ตลอดงานวิจัย 4. ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ในการทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันพบว่าปริมาณหม้ออีพอกไซด์ที่เกิดขึ้นบนโมเลกุลยางธรรมชาติเพิ่มขึ้นตามเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา และค่า Tg ของยางธรรมชาติอีพอกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณหม้ออีพอกไซด์

วัตถุประสงค์	กิจกรรมที่วางแผน	กิจกรรมที่ดำเนินการ	ผลที่ได้รับจากงานวิจัย
1. ให้ได้ผลิตภัณฑ์กาวจากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์สำหรับใช้ในงานติดไม้ยางพาราที่มีคุณสมบัติเชิงเคมี ฟิสิกส์ และเชิงกลตามมาตรฐานอุตสาหกรรมกาว โดยใช้สารเพิ่มความเหนียว Coumarone resin และ แป้งข้าวเหนียวเจลาตินในขั้นตอนการพัฒนาผลิตภัณฑ์กาว 2. ทดสอบคุณภาพเชิงเปรียบเทียบของรอยต่อไม้ยางพาราด้วยกาวที่ผลิตได้จากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์กับกาวที่ใช้ในโรงงานเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา	5. ทดสอบคุณสมบัติเชิงเคมี และคุณภาพของรอยต่อด้วยการหลุดลอกและความแข็งแรงสูงสุดของแรงฉีกด้วยแรงกดของกาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ และกาวไอโซไซยานาต 6. ผลิตกาวน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์	5. ทดสอบคุณสมบัติเชิงเคมีและคุณภาพของรอยต่อด้วย ความต้านแรงเฉือน ความต้านแรงลอก การทดสอบความแข็งแรงของรอยต่อไม้แบบนิ้วมือประสานในรูปแรงดึงขานานเส้นสูงสุด และการทดสอบการคัดสติกซ์ของชิ้นไม้รอยต่อแบบนิ้วมือประสาน แสดงผลด้วยค่ามอดูลัสแตกร้าว ของกาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ และกาว TOA (กาวโพลีไวนิลอะซีเตต) แทน 6. ผลิตกาวน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ด้วยสูตรที่มีการปรับปรุงจากสูตรพื้นฐานเพื่อประสิทธิภาพที่ดีขึ้นโดยมีการเติม CMC เพื่อเพิ่มความหนืด Potassium oleate เพื่อเพิ่มความเสถียร Salicylic acid สำหรับการป้องกันเชื้อรา นอกจากนี้ได้ปรับกาวเพื่อให้ได้ pH ที่เหมาะสมและไม่ให้กาวเกิดการแข็งตัว และทำการปรับ % ของแป้งข้าวเหนียวเจลาตินในชั้นได้ % ที่เหมาะสม	5. ทราบค่าต่างๆของกาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ และกาว TOA (กาวโพลีไวนิลอะซีเตต) ดังแสดงในบทที่ 4 ส่วนที่ 1 เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับผลต่างๆของกาวที่เตรียมได้ 6. กาวจากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์โดยใช้ น้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ 44 % ด้วยสูตรที่ดีขึ้นจากสูตรพื้นฐานโดยผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินในชั้น ผสมคิวมาโรนอิมัลชันและกาวผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินในชั้นร่วมกับคิวมาโรนอิมัลชัน โดยเพิ่มอัตราส่วนของกาวมากขึ้นจากขอเขตการวิจัยเดิม และมร การศึกษาการใช้ Petroleum resin, Terpene phenolic resin, และ ชัน (Dammar) เป็นส่วนผสมร่วมในกาวน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์เพิ่มอีกด้วย

วัตถุประสงค์	กิจกรรมที่วางแผน	กิจกรรมที่ดำเนินการ	ผลที่ได้รับจากงานวิจัย
1. ให้ได้ผลิตภัณฑ์กาวจากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซค์สำหรับใช้ในงานติดไม้ยางพาราที่มีคุณสมบัติเชิงเคมี ฟิสิกส์ และเชิงกลตามมาตรฐานอุตสาหกรรมกาว โดยใช้สารเพิ่มความเหนียว Coumarone resin และ แป้งข้าวเหนียวเจลาตินในขั้นตอนการพัฒนาผลิตภัณฑ์กาว 2. ทดสอบคุณภาพเชิงเปรียบเทียบของรอยต่อไม้ยางพาราด้วยกาวที่ผลิตได้จากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซค์กับกาวที่ใช้ในโรงงานเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา	7. ทดสอบคุณสมบัติเชิงเคมี ฟิสิกส์ ของกาวที่ผลิตได้ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมกาวสำหรับไม้	7. ทดสอบคุณสมบัติเชิงเคมี ฟิสิกส์ ของกาวที่ผลิตได้ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมกาวสำหรับไม้ 4 คุณสมบัติตามที่ระบุ ยกเว้นกรณีค่าความต้านแรงลอกและค่าความต้านแรงเฉือนหลังการแช่น้ำ เมื่อทดสอบโดยการนำชิ้นทดสอบไปแช่น้ำนาน 24 ชั่วโมง พบว่าชิ้นทดสอบที่ติดด้วยกาวยางทุกสูตรเกิดการหลุดร่อนออก จึงไม่สามารถทดสอบได้ 1. กรณี Coumarone เนื่องจากกาวหลุดเป็นแผ่นตลอดทั้งแนวเมื่อแช่น้ำดังนั้นความยาวของการหลุดลอกของแนวกาวมีค่าเท่ากับ ความยาวของระยะทากาวทั้งชิ้นทดสอบสรุปเปอร์เซ็นต์การหลุดลอกของกาวมีค่า 100% จึงไม่ขอทดสอบต่อไป 2. กรณีแป้งข้าวเหนียวเจลาตินในซ์ ไม่สามารถมองเห็นแนวกาว คล้ายเกิดการเปลี่ยนรูปเป็นของไหลเหนียว	7. กาวยางที่ผสมคิวมาโรนอีพอกไซค์ปริมาณ 8 phr เป็นสูตรกาวที่ดีที่สุด เนื่องจากมีเนื้อกาว ความเหนียว และความหนาแน่นผ่านตามอก. 521-2527 แต่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 9.5 ซึ่งสูงกว่าอก.181-2530 เพราะต้องมีการปรับความเป็นกรด-ด่าง เพื่อไม่ให้กาวยางจับตัวเป็นก้อน สำหรับความต้านแรงลอก ความต้านแรงเฉือน แรงดึงขนานเสี้ยนสูงสุด ค่ามอดูลัสแตกร้าว คือ 0.88×10^6 kN/m, 5.08×10^6 N/m², 28.40×10^6 N/m², 20.21×10^6 N/m² ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับกาว TOA ซึ่งเป็นกาวที่ใช้สำหรับติดไม้ จึงมีความเป็นไปได้สูงในการพัฒนากาวชนิดนี้ให้ใช้งานในอุตสาหกรรม นอกจากนี้กาวยางที่เตรียมได้ก็ยังมีข้อดีตรงที่ไม่เป็นอันตรายกับผู้ใช้ และไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม เนื่องจากกาวยางมีน้ำเป็นส่วนประกอบหลัก และกาวยางที่ผสม Terpene phenolic resin เป็นสารเพิ่มการยึดติดในปริมาณ 60 phr เป็นสูตรกาวที่ดีเช่นกัน

วัตถุประสงค์	กิจกรรมที่วางแผน	กิจกรรมที่ดำเนินการ	ผลที่ได้รับจากงานวิจัย
1. ให้ได้ผลิตภัณฑ์กาวจากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์สำหรับใช้ในงานติดไม้ยางพาราที่มีคุณสมบัติเชิงเคมี ฟิสิกส์ และเชิงกลตามมาตรฐานอุตสาหกรรมกาว โดยใช้สารเพิ่มความเหนียว Coumarone resin และ แป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์กาว 2. ทดสอบคุณภาพเชิงเปรียบเทียบของรอยต่อไม้ยางพาราด้วยกาวที่ผลิตได้จากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์กับกาวที่ใช้ในโรงงานเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา	8. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของอิทธิพลต่างๆ ที่มีผลต่อคุณสมบัติของกาว 9. ทดสอบคุณภาพรอยต่อของกาวที่ผลิตได้จากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์กับรอยต่อไม้ยางพารา	8. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของอิทธิพลต่างๆ ที่มีผลต่อคุณสมบัติของกาว 9. ทดสอบคุณภาพรอยต่อของกาวที่ผลิตได้จากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์กับรอยต่อไม้ยางพาราทดสอบ โดยทดสอบความแข็งแรงของรอยต่อเพียง 1 รูปแบบคือการต่อแบบ Finger joint ด้วยการทดสอบ 2 อย่างคือ 1. การดึงขนานเสี้ยน (Tension parallel to grain) (AITC Test 106. 1967) 2. การดัดสถิตย์ (Static bending) (ASTM 1989a)	8. การผสมสารเพิ่มการยึดติดทั้ง 2 ชนิดคือ แป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์และคิวมาโรนอิมัลชันลงในกาวยาง ส่งผลให้ความต้านแรงลอกของกาวลดลงเนื่องจากการรวมตัวเป็นกลุ่มเล็กๆของอนุภาคในกาวเมื่อแห้ง จึงทำให้ความเป็นยาง (Elastomer) และความเป็นเนื้อเดียวกันของกาวลดน้อยลง โดยคิวมาโรนอิมัลชันส่งผลต่อการลดลงของความต้านแรงลอกมากกว่า ตรงกันข้ามกับความต้านแรงเนื่องการผสมสารเพิ่มการยึดติดทั้ง 2 ชนิดคือ แป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์และคิวมาโรนอิมัลชันลงในกาวยาง ส่งผลให้ความต้านแรงเนื่องของกาวเพิ่มขึ้นโดยคิวมาโรนอิมัลชันส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของความต้านแรงเนื่องมากกว่าแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ นอกจากนี้มีการศึกษาการศึกษาหนูฟังก์ชันของกาวยางด้วยเทคนิค FT-IR พบว่ากาวยางที่ผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ปรากฏหมูฟังก์ชันของ C-O-C ที่อยู่บนโมเลกุลของ

วัตถุประสงค์	กิจกรรมที่วางแผน	กิจกรรมที่ดำเนินการ	ผลที่ได้รับจากงานวิจัย
1. ให้ได้ผลิตภัณฑ์กาวจากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์สำหรับใช้ในงานติดไม้ยางพาราที่มีคุณสมบัติเชิงเคมี ฟิสิกส์ และเชิงกลตามมาตรฐานอุตสาหกรรมกาว โดยใช้สารเพิ่มความเหนียว Coumarone resin และ แป้งข้าวเหนียวเจลาตินในขั้นตอนการพัฒนาผลิตภัณฑ์กาว 2. ทดสอบคุณภาพเชิงเปรียบเทียบของรอยต่อไม้ยางพาราด้วยกาวที่ผลิตได้จากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์กับกาวที่ใช้ในโรงงานเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา	8. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของอิทธิพลต่างๆ ที่มีผลต่อคุณสมบัติของกาว 9. ทดสอบคุณภาพรอยต่อของกาวที่ผลิตได้จากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์กับรอยต่อไม้ยางพารา	8. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของอิทธิพลต่างๆ ที่มีผลต่อคุณสมบัติของกาว 9. ทดสอบคุณภาพรอยต่อของกาวที่ผลิตได้จากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์กับรอยต่อไม้ยางพาราทดสอบ โดยทดสอบความแข็งแรงของรอยต่อเพียง 1 รูปแบบคือการต่อแบบ Finger joint ด้วยการทดสอบ 2 อย่างคือ 1. การดึงขนานเสี้ยน (Tension parallel to grain) (AITC Test 106. 1967) 2. การดัดสถิตย์ (Static bending) (ASTM 1989a)	อะไมเลสและอะไมโล-เพกตินในแป้งข้าวเหนียวเจลาตินในซ์ และกาวยางที่ผสมคิวมาโรนอิมัลชันปรากฏวงแหวนเบนซินที่อยู่บนโมเลกุลของคิวมาโรนเรซิน นอกจากนี้ยังปรากฏหมู่ฟังก์ชันของ $C=O$ เพิ่มขึ้นในกาวยางที่ผสมสารเพิ่มการยึดติดทั้งสองชนิดและพบมากในกาวผสมคิวมาโรนเรซินซึ่งหมู่ $C=O$ สามารถพบได้ในโมเลกุลของกาว TOA และกาว UF เช่นเดียวกัน 9. ดังผลแสดงในบทที่ 4 และ 5 อนุภาคของกาวยางที่เตรียมได้ทุกชนิด สามารถแทรกตัวเข้าไปในรูพรุนของไม้ยางพาราได้เนื่องจากมีขนาดอนุภาคเล็กกว่าขนาดรูพรุนของไม้ยางพารา โดยกาวยาง และกาวยางที่ผสมสารตัวเติมที่เตรียมได้ทุกชนิดมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยใกล้เคียงกันประมาณ 1.1 ไมโครเมตรและมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, SD) อยู่ในช่วง 0.5-0.7 โดยขนาดอนุภาคใหญ่สุดที่วัดได้ประมาณ 5.8

วัตถุประสงค์	กิจกรรมที่วางแผน	กิจกรรมที่ดำเนินการ	ผลที่ได้รับจากงานวิจัย
1. ให้ได้ผลิตภัณฑ์กาวจากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์สำหรับใช้ในงานติดไม้ยางพาราที่มีคุณสมบัติเชิงเคมี ฟิสิกส์ และเชิงกลตามมาตรฐานอุตสาหกรรมกาว โดยใช้สารเพิ่มความเหนียว Coumarone resin และ แป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์กาว 2. ทดสอบคุณภาพเชิงเปรียบเทียบของรอยต่อไม้ยางพาราด้วยกาวที่ผลิตได้จากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์กับกาวที่ใช้ในโรงงานเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา	9. ทดสอบคุณภาพรอยต่อของกาวที่ผลิตได้จากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์กับรอยต่อไม้ยางพารา 10. เปรียบเทียบประสิทธิภาพ และคุณสมบัติต่างๆ กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ และกาวไอโซไซยานเนตกับกาวจากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์	9. ทดสอบคุณภาพรอยต่อของกาวที่ผลิตได้จากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์กับรอยต่อไม้ยางพาราทดสอบ โดยทดสอบความแข็งแรงของรอยต่อเพียง 1 รูปแบบคือการต่อแบบ Finger joint ด้วยการทดสอบ 2 อย่างคือ 1. การดึงขนานเสี้ยน (Tension parallel to grain) (AITC Test 106, 1967) 2. การดัดสถิตย (Static bending) (ASTM 1989a)	ไมโครเมตร ขนาดรูพรุนเฉลี่ยของไม้ยางพารามีค่าประมาณ 20 ไมโครเมตร กาวยางที่ผสมคิวมาโรนอิมัลชันสามารถยึดติดไม้ได้ดีกว่ากาวยางที่ผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์กับคิวมาโรนอิมัลชัน และกาวยางที่ผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ ตามลำดับ และกาวยางสามารถยึดติดได้ดีมากขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณคิวมาโรนอิมัลชัน ซึ่งปริมาณสูงสุดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ 8 phr โดยมีความต้านแรงลอก ความต้านแรงเฉือน แรงดึงขนานเสี้ยนสูงสุด ค่ามอดูลัสแตกร้าว คือ 0.88×10^6 kN/m, 5.08×10^6 N/m², 28.40×10^6 N/m², 20.21×10^6 N/m² ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับกาว TOA ซึ่งเป็นกาวที่ใช้สำหรับติดไม้ จึงมีความเป็นไปได้สูงในการพัฒนากระบวนการนี้ให้ใช้งานในอุตสาหกรรม

วัตถุประสงค์	กิจกรรมที่วางแผน	กิจกรรมที่ดำเนินการ	ผลที่ได้รับจากงานวิจัย
1. ให้ได้ผลิตภัณฑ์กาวจากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์สำหรับใช้ในงานติดไม้ยางพาราที่มีคุณสมบัติเชิงเคมี ฟิสิกส์ และเชิงกลตามมาตรฐานอุตสาหกรรมกาว โดยใช้สารเพิ่มความเหนียว Coumarone resin และ แป้งข้าวเหนียวเจลาตินในขั้นตอนการพัฒนาผลิตภัณฑ์กาว 2. ทดสอบคุณภาพเชิงเปรียบเทียบของรอยต่อไม้ยางพาราด้วยกาวที่ผลิตได้จากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์กับกาวที่ใช้ในโรงงานเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา	10. เปรียบเทียบประสิทธิภาพ และคุณสมบัติต่างๆ กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ และกาวไอโซไซยานเนตกับกาวจากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์	10. เปรียบเทียบประสิทธิภาพ และคุณสมบัติต่างๆ กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ และ TOA (กาวโพลีไวนิลอะซีเตต) กับกาวจากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์	10. มีค่าใกล้เคียงกับกาว TOA ซึ่งเป็นกาวที่ใช้สำหรับติดไม้ จึงมีความเป็นไปได้สูงในการพัฒนาชนิดนี้ให้ใช้งานในอุตสาหกรรม แต่ยังมีประสิทธิภาพด้อยกว่ากาว ยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ แต่อย่างไรก็ตามกาวที่เตรียมได้ไม่สามารถวัดค่าความต้านแรงลอกและค่าความต้านแรงฉีกหลังการแช่น้ำตามมาตรฐานได้เนื่องจากเมื่อนำชิ้นทดสอบไปแช่น้ำนาน 24 ชั่วโมง พบว่าชิ้นทดสอบที่ติดด้วยกาวยางทุกสูตรเกิดการหลุดร่อนออก

ภาคผนวก ค

คุณลักษณะทางฟิสิกส์ของกาวชนิดต่างๆ

ตารางที่ 22 คุณลักษณะทางฟิสิกส์ของกาวยาง (ตามมอก.521-2527)

คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด	
	ใช้ทั่วไป	ทนน้ำมัน
1. เนื้อกาว ร้อยละ ไม่น้อยกว่า	15	18
2. ความหนืด พาสคัลวินาที (เซนติพอยส์) ไม่น้อยกว่า	1.5 ถึง 5.0 (1,500 ถึง 5,000)	1.5 ถึง 5.0 (1,500 ถึง 5,000)
3. ความหนาแน่น กรัมต่อลูกบาศก์ เซนติเมตร ไม่น้อยกว่า	0.72 ถึง 0.92	0.72 ถึง 0.92
4. ความต้านแรงลอก นิวตันต่อความกว้าง 25 มิลลิเมตร ไม่น้อยกว่า		
- ไม่ได้แช่น้ำหรือน้ำมัน	50	50
- ภายหลังการแช่น้ำ	50	50
- ภายหลังการแช่น้ำมัน	-	50
5. ความต้านแรงเฉือน กิโลพาสคัล ไม่น้อยกว่า		
- ไม่ได้แช่น้ำหรือน้ำมัน	220	550
- ภายหลังการแช่น้ำ	220	330
- ภายหลังการแช่น้ำมัน	-	330

ตารางที่ 23 คุณลักษณะที่ต้องการของกาวเรซินสังเคราะห์ (ฟีนอลิกและอะมีโนพลาสติก) สำหรับ
ผลิตภัณฑ์ไม้อื่นๆ (ตามมอก.360-2523)

คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด ใช้กับรอยต่อแนบสนิท		
	ประเภท ภายนอก	ประเภท ภายใน	ประเภท ชั่วคราว
1. ความต้านทานต่อน้ำเย็น วัดเป็นค่าความแข็งแรงของรอยต่อของกาว เมกาปาสกาล (กิโลกรัมแรงต่อตาราง เซนติเมตร) ไม่น้อยกว่า	3.5 (35)	3.5 (35)	3.5 (35)
2. ความต้านทานต่อน้ำร้อน วัดเป็นค่าความแข็งแรงของรอยต่อของกาว เมกาปาสกาล (กิโลกรัมแรงต่อตาราง เซนติเมตร) ไม่น้อยกว่า	2.2 (22)	2.1 (21)	-
3. ความต้านทานต่อจุลินทรีย์ วัดเป็นค่าความแข็งแรงของรอยต่อของกาว เมกาปาสกาล (กิโลกรัมแรงต่อตาราง เซนติเมตร) ไม่น้อยกว่า	2.8 (28)	2.8 (28)	-

ตารางที่ 24 คุณลักษณะทางฟิสิกส์ของกาวโพลีไวนิลอะซิเตอิมัลชัน (ตามมอก.181-2530)

คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด	
	ใช้ทั่วไป	ใช้สำหรับไม้
1. เนื้อกาว ร้อยละ ไม่น้อยกว่า	34	44
2. ความหนืด พาสคัลวินาที (เซนติพอยส์) ไม่น้อยกว่า	2 (2,000)	2 (2,000)
3. ความหนาแน่น กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ไม่น้อยกว่า	0.9	0.9
4. ความเป็นกรด-ด่าง	4 ถึง 7	4 ถึง 7
5. ความต้านแรงลอก นิวตันต่อความกว้าง 25 มิลลิเมตร ไม่น้อยกว่า	50	50
6. ความต้านแรงเฉือน กิโลพาสคัล ไม่น้อยกว่า		
- ไม้ได้แช่น้ำ	10,000	10,000
- ภายหลังการแช่น้ำ	5,000	5,000

ภาคผนวก ง
ผลการทดสอบคุณสมบัติของกาว

ตารางที่ 25 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติกาวก่อนใช้งาน

สูตรกาว	ผลการทดสอบ			
	เนื้อกาว (ร้อยละ)	ความหนืด (cps)	ความเป็น กรด-ด่าง	ความหนาแน่น (g/cm ³)
กาวยาง	44.7	9900	8.9	0.93
กาว + คิวมาโรนอิมัลชัน 6 phr	61.7	9867	9.4	0.95
กาว + คิวมาโรนอิมัลชัน 7 phr	63.1	9883	9.5	0.94
กาว + คิวมาโรนอิมัลชัน 8 phr	72.1	9900	9.5	0.95
กาว + แป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 6 phr	47.6	9883	9.3	0.96
กาว + แป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 7 phr	50.0	9883	9.4	1.01
กาว + แป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 8 phr	54.0	9867	9.4	1.02
กาว + แป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 5.25 phr : คิวมาโรนอิมัลชัน 1.75 phr	56.7	9883	9.7	1.02
กาว + แป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 3.5 phr : คิวมาโรนอิมัลชัน 3.5 phr	51.2	9900	9.7	1.03
กาว + แป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 1.75 phr : คิวมาโรนอิมัลชัน 5.25 phr	52.2	9850	9.7	0.96
กาว + แป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 6 phr : คิวมาโรนอิมัลชัน 2 phr	51.2	9883	9.7	0.98
กาว + แป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 4 phr : คิวมาโรนอิมัลชัน 4 phr	48.0	9883	9.7	0.99
กาว + แป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 2 phr : คิวมาโรนอิมัลชัน 6 phr	55.4	9883	9.7	0.99

ตารางที่ 25 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติการก่อนใช้งาน (ต่อ)

สูตรการ	ผลการทดสอบ			
	เนื้อการ (ร้อยละ)	ความหนืด (cps)	ความเป็น กรด-ด่าง	ความหนาแน่น (g/cm ³)
TOA	74.2	8667	4.4	1.03
Ure-Formaldehyde	52.0	9900	6.5	1.04
มอก.521-2527	44.0	2000	7.0	0.9

ตารางที่ 26 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติการหลังใช้งาน

สูตรการ	ผลการทดสอบ				
	ความต้าน แรงลอก X10 ⁶ (kN/m)	ความต้านแรงเฉือน X10 ⁶ (N/m ²)		tensile X10 ⁶ (N/m ²)	compress X10 ⁶ (N/m ²)
		ไม้แช่น้ำ	แช่น้ำ		
กาวยาง	4.4	2.85	-	16.13	13.98
กาว + คิวมาโรนอีมีลชัน 6 phr	1.9	4.18	-	-	-
กาว + คิวมาโรนอีมีลชัน 7 phr	1.5	4.72	-	-	-
กาว + คิวมาโรนอีมีลชัน 8 phr	0.9	5.08	-	28.40	20.21
กาว + แป้งข้าวเหนียวเจลาติ- ไนซ์ 6 phr	2.5	3.47	-	-	-
กาว + แป้งข้าวเหนียวเจลาติ- ไนซ์ 7 phr	2.2	4.21	-	20.83	16.27
กาว + แป้งข้าวเหนียวเจลาติ- ไนซ์ 8 phr	1.2	3.34	-	-	-
กาว + แป้งข้าวเหนียวเจลาติ- ไนซ์ 5.25 phr : คิวมาโรน อีมีลชัน 1.75 phr	2.0	4.24	-	-	-

ตารางที่ 26 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติการหลังใช้งาน (ต่อ)

สูตรกาว	ผลการทดสอบ				
	ความต้าน แรงลอก $\times 10^6$ (kN/m)	ความต้านแรงเฉือน $\times 10^6$ (N/m ²)		tensile $\times 10^6$ (N/m ²)	compress $\times 10^6$ (N/m ²)
		ไม้แช่ น้ำ	แช่น้ำ		
กาว + แป้งข้าวเหนียวเจลาติ- ไนซ์ 3.5 phr : คิวมาโรน อิมัลชัน 3.5 phr		4.09	-	-	-
กาว + แป้งข้าวเหนียวเจลาติ- ไนซ์ 1.75 phr : คิวมาโรน อิมัลชัน 5.25 phr	3.4	3.33	-	-	-
กาว + แป้งข้าวเหนียวเจลาติ- ไนซ์ 6 phr : คิวมาโรนอิมัลชัน 2 phr	2.6	4.34	-	23.91	17.59
กาว + แป้งข้าวเหนียวเจลาติ- ไนซ์ 4 phr : คิวมาโรนอิมัลชัน 4 phr	3.1	4.06	-	-	-
กาว + แป้งข้าวเหนียวเจลาติ- ไนซ์ 2 phr : คิวมาโรนอิมัลชัน 6 phr	3.7	3.42	-	-	-
TOA	4.9	6.20	0.58	37.21	23.03
Ure Formaldehyde	5.3	6.73	1.45	46.89	29.15

สรุปคำชี้แจงของนักวิจัย
โครงการวิจัย “การพัฒนากาวสำหรับใช้ในงานติดไม้ยางพาราจาก
น้ำยางธรรมชาติอิพอกไซด์”

ความเห็นผู้ทรงคุณวุฒิและ สปว.ยางพารา	คำชี้แจงของนักวิจัย
1. ขาดการทดสอบการแช่น้ำ ตามมาตรฐาน มอก. 360-2523	1. เพิ่มเติมตามคำแนะนำในหน้าที่ 88, 106, 108
2. อภิปรายผลการทดลองเปรียบเทียบกับกาวที่ใช้ในโรงงานและมาตรฐาน มอก. 360-2523	2. เพิ่มเติมตามคำแนะนำในหน้าที่ 86-88
3. อธิบายวิธีการเตรียมตัวอย่างการวิเคราะห์ FTIR ของกาวยาง	3. เพิ่มเติมตามคำแนะนำในหน้าที่ 74
4. การวิเคราะห์ข้อมูลควรพิจารณาการ wetting ของวัสดุ	4. ไม่ขอเพิ่มเติมในส่วนนี้เนื่องจากไม่อยู่ในกิจกรรมที่ตั้งไว้ถึงแม้ว่าเป็นสิ่งที่น่าสนใจศึกษา เนื่องจากระยะเวลาและงบประมาณที่ถูกกำหนด นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ทำงานในส่วนต่างๆ เพิ่มเติมจากข้อกำหนดไว้มาก เพื่อตอบโจทย์คำถามต่างๆ ของผู้ทรงคุณวุฒิ
5. ควรเพิ่มข้อมูลของ นาฏยา ที่ทำเรื่องกาวน้ำยาง ENR	5. เพิ่มเติมตามคำแนะนำในหน้าที่ 85-88
6. ทบทวนคำสรุปในหน้าที่ 109 ข้อ 3	6. แก้ไขเพิ่มเติมตามคำแนะนำในหน้าดังกล่าว
7. คุณภาพของกาวตามเวลา ควรตรวจวิเคราะห์ FTIR เพื่อดูโครงสร้างทางเคมีว่าเหมือนเดิมหรือไม่	7. การศึกษาคุณภาพของกาวตามเวลา กับความสามารถในการยึดติดนั้นไม่ได้อยู่ในขอบเขตของงานวิจัย แต่ผู้วิจัยเห็นด้วยในการศึกษาหัวข้อนี้ จึงได้ระบุไว้ในข้อเสนอแนะตั้งแต่การส่งรายงานฉบับสมบูรณ์
8. ทบทวนการวิจารณ์การซึมผ่านเนื้อไม้ของกาวยาง	8. ได้ปรับการอธิบายเรื่องการซึมผ่านเนื้อไม้ของกาวยางบางส่วนตามรายละเอียดข้อที่ 14 แต่ไม่สามารถทำการทดลองเพิ่มเติมเพื่อยืนยันผลการซึมของอนุภาคในเนื้อไม้ได้
9. นักวิจัยกำหนดการตากกาวให้ได้ปริมาณเนื้อกาวเท่ากันอย่างไร	9. ชี้แจงตามคำแนะนำในหน้าที่ 32 (ตากกาวให้ได้ปริมาณเนื้อกาวตามมาตรฐานที่กำหนดคือประมาณ 150 g/m ²)

ความเห็นผู้ทรงคุณวุฒิและ สปว.ยางพารา	คำชี้แจงของนักวิจัย
10. น่าจะมีการทดลองเพิ่มเพื่อดูว่ากาว TOA และ UF ซึมเข้าเนื้อไม้ได้ดีกว่ากาวยางหรือไม่	10. ไม่ขอเพิ่มเติมการทดลองในส่วนนี้เนื่องจาก ระยะเวลาและงบประมาณที่ถูกกำหนด นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้ทำงานในส่วนต่างๆ เพิ่มเติมจากข้อกำหนดไว้มาก (ดังเห็นได้จากความเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ 4 ท่านจาก 5 ท่าน) เพื่อตอบโจทย์คำถามต่างๆ ของผู้ทรงคุณวุฒิ
11. ทำไมกาวยางที่ผสมควมาโรนอิมัลชัน มีการแยกเฟสทั้งที่มีแป้งและไม่มีแป้งยังคงให้ความแข็งแรงสูงกว่า	11. เนื่องจากผล SEM หน้า 79 ไม่ได้ระบุรูปให้ชัดเจนทำให้เกิดความสับสนชนิดของกาวยางและรูปได้ ซึ่งผลแสดงว่ากาวยางที่ผสมควมาโรนอิมัลชันไม่ปรากฏการแยกเฟส เฉพาะกาวยางที่ผสมแป้งเท่านั้นที่สังเกตเห็นการแยกเฟส ด้านความแข็งแรงของการยึดติดขึ้นกับการไม่แยกเฟสและความแข็งแรงของกาว ซึ่งทำให้เกิด Mechanical Interlocking
12. ควรหา Tg ยางธรรมชาติ เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับอีพอกไซด์	12. เพิ่มเติมตามคำแนะนำในหน้าที่ 64
13. ให้เหตุผลเพิ่มเติมว่าทำไมจึงเติม TiO_2	13. เพิ่มเติมตามคำแนะนำในหน้าที่ 54
14. การอธิบายหน้า 77 ไม่ค่อยชัดเจน	14. ได้ปรับเปลี่ยนการอธิบายใหม่ เนื่องจากผลการทดลองในส่วนนี้ทำขึ้นตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิก่อนหน้านี้ ต้องการยืนยันว่าขนาดอนุภาคของกาวยางมีขนาดเล็กกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนของไม้ยางพารา ดังนั้นขนาดอนุภาคกาวยางไม่เป็นอุปสรรคในการผ่านรูพรุนของไม้ยางพารา
15. อื่นๆ ขอให้ดูเอกสารที่แนบมาประกอบ	15. ได้แทรกไว้ในแต่ละหัวข้อตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิตามความเหมาะสมเป็นที่เรียบร้อยแล้ว