

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 สำหรับแป้งสาธิตจะเป็นสารเสริมแรงกาวน้ำยางที่เมื่อเติมลงไปในการน้ำแล้วจะทำให้กาวน้ำยางเกิดการเสียสภาพ ซึ่งเกิดการจับเป็นก้อนและมีสมบัติช่วยเสริมแรงกาวน้ำยางเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

กล่าวโดยสรุป งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาถึงชนิดและปริมาณของสารเพิ่มการยึดติดตามขอบเขตงานวิจัยคือ แป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์และคิวมาโรนอีมีลชัน 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 ขจรไชยกูล และคณะ [20] ทำการศึกษาหาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตกาวยางจากยางแห้งเพื่อใช้งานทั่วไป โดยทดลองบดผสมยางกับสารเคมีต่างๆ ตามสูตรพื้นฐานและใส่สารเพิ่มความเหนียวซึ่งสารเพิ่มความเหนียวที่ใช้ในการทดลองได้แก่ ฟีนอลิครีซินและโซเดียมโพลีอะคริเลท โดยแปรปริมาณของสารเพิ่มความเหนียวคือ 10, 20, 30 และ 40 ส่วนในยาง 100 ส่วน แล้วนำไปละลายในตัวทำละลายได้แก่ เบนซีน โทลูอีน และเซลล์โซล ในปริมาณ 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 ขจรไชยกูล 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 ขจรไชยกูล และวิภา เสวตกนิษฐ์ [36] ทำการศึกษานำสารอื่นมาผสมในน้ำยางในการทำกาวจากน้ำยางเพิ่มเสริมความแข็งแรงให้แก่กาวจากน้ำยางและช่วยลดข้อเสียของกาวจากน้ำยางที่จะทำให้สิ่งของหดตัว และเกิดความแข็งแรงในการยึดติดด้วยซึ่งสารที่นำมาทดลองใช้ได้แก่ 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 แป้งข้าวเหนียวที่เติมลงไปในกาวน้ำยางที่ระดับความเข้มข้น 30 ส่วนในยาง 100 ส่วน เมื่อทดลองนำไปติดระหว่างกระดาษขาวกับกระดาษขาว และกระดาษน้ำตาลกับกระดาษน้ำตาล ดีที่สุดคือให้สมบัติแรงดึงกาวสูงสุดและช่วยให้การเหนียวติดดี แต่เมื่อทดลองนำไปติดระหว่างผ้ากับผ้า จะต้องใช้แป้งข้าวเหนียวเติมลงไปในกาวน้ำยางที่ระดับความเข้มข้น 50 phr จึงจะให้ผลดีสารช่วยเสริมแรงกาวน้ำยางที่ให้ผลดีรองจากแป้งข้าวเหนียวคือ แป้งข้าวโพดที่ระดับความเข้มข้น 30 phr และถึงแม้จะเพิ่มระดับความเข้มข้นของสารเสริมแรงกาวน้ำยางก็ไม่ได้ให้ผลที่ดีขึ้น และกาวน้ำยางที่เติมสารเสริมแรงกาวน้ำยางนี้สามารถเก็บไว้ได้นานประมาณ 5 เดือน โดยที่ไม่ให้สมบัติแรงดึงกาวเปลี่ยนแปลง แต่เมื่อเริ่มเดือนที่ 6 กาวน้ำยางจะเกิดการเสื่อมสภาพ สมบัติแรงดึงกาวจะตกลงสำหรับแป้งสาลี จะเป็นสารเสริมแรงกาวน้ำยางที่เมื่อเติมลงไปในกาวน้ำยางแล้ว จะทำให้กาวน้ำยางเกิดการเสียสภาพ เกิดการจับเป็นก้อนและมีสมบัติช่วยเสริมแรงกาวน้ำยางเพียงเล็กน้อยเท่านั้น สรุปได้ว่าสารเติมแป้งมัน แป้งข้าวโพด แป้งข้าวเหนียว ในปริมาณที่เหมาะสมจะเป็นสารเติมที่ช่วยเสริมแรงให้กับกาวน้ำยางได้ดีแต่อาจเสื่อมสภาพเมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลานานกว่า 6 เดือน แต่แป้งสาลีช่วยเสริมแรงกาวน้ำยางเพียงเล็กน้อยและทำให้กาวน้ำยางเกิดการเสียสภาพด้วย

การศึกษาเกี่ยวกับการเตรียมยางธรรมชาติอีพอกไซค์ มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องคือ

ในปี พ.ศ. 2544 วัชรินทร์ สายน้ำใส [7] การศึกษาริเอกทีฟเบลนด์ระหว่างยางธรรมชาติอีพอกไซค์ กับแป้งมันสำปะหลังเตรียมยางธรรมชาติอีพอกไซค์จากการทำปฏิกิริยาน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียสูงกับกรดฟอร์มิก โดยใช้สปีชีส์ไม่มีประจุเป็นสารเพิ่มความเสถียรของน้ำยางพบว่าปริมาณหมู่อีพอกไซค์ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและเวลาในการทำปฏิกิริยา ค่าอุณหภูมิคล้ายแก้วของยางธรรมชาติอีพอกไซค์มีค่าสูงกว่ายางธรรมชาติและมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณหมู่อีพอกไซค์ นอกจากนี้พบว่ายางธรรมชาติอีพอกไซค์มีพฤติกรรมการไหลเป็นแบบของไหลชิวโคพลาสติก มีค่าความหนืดมูนี ความเค้นเฉือน ความหนืดเฉือนเพิ่มขึ้นตามปริมาณหมู่อีพอกไซค์บนโมเลกุลของยางธรรมชาติ ยางธรรมชาติอีพอกไซค์ที่วัดคาโมสด้วยกัมมันตาระบบปกติมีระยะเวลาการวัดคาโมสเพิ่มขึ้นตามปริมาณหมู่อีพอกไซค์และความต้านทานต่อการดึงสูงขึ้นตามปริมาณหมู่อีพอกไซค์ จนถึงประมาณ 50 โมลเปอร์เซ็นต์ หลังจากนั้นความต้านทานต่อการดึงมีค่าลดลงอย่างมาก มีค่าความหนืดมูนี ความเค้นเฉือน ความหนืดเฉือนของพอลิเมอร์เบลนด์ของยางธรรมชาติอีพอกไซค์กับแป้งมันสำปะหลังเจลาตินในสปีชีส์ปริมาณ 0, 10, 30, 50 และ 75 phr เพิ่มขึ้นตามปริมาณแป้งมันสำปะหลัง และมีพฤติกรรมการไหลแบบของไหลชิวโคพลาสติกเช่นเดียวกับคอมปาวด์ของพอลิ-

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 โดยมีการยึดติดด้วยกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์และฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์เรซินเพื่อศึกษาถึงผลของการขัดด้วยกระดาษทรายต่อลักษณะทางกายภาพของไม้ และยังได้มีการศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอช ความหยาบของพื้นผิวและความเปียกของการยึดติดของกาว ความเปียกของไม้อัด สามารถศึกษาได้โดยการวัดมุมสัมผัสตามวิธี sessile drop ซึ่งคุณสมบัติของไม้อัดที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ศึกษาหลังผ่านกระบวนการขัดด้วยกระดาษทราย ค่าความแข็งแรงของแรงเฉือนและแรงดัดโค้งของไม้อัดที่ขัดด้วยกระดาษทรายแล้วและไม่ขัดซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดของกาวและวิธีการอบไม้อัด

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

แพร่ของสารประกอบเรซินเข้าไปในผนังเซลล์ซึ่งแบ่งเป็นสองระบบ คือระบบฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ (PF) และพอลิเมอร์ิก เมทิลีนไดฟีนิลไดไอโซไซยาเนต (pMDI) ตามลำดับ การหาค่าการแพร่สามารถสังเกตได้จากแถบดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตของเรซินทั้งสองชนิด ซึ่งผลของการแพร่ของเรซินเข้าไปในผนังเซลล์ต่อคุณสมบัติทางกายภาพสามารถประเมินได้จาก nanoindentation ซึ่งจะแสดงปริมาณ เรซินชนิดระบบฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ 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.)
- แซดดีอีซี, $ZDEC$ (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 นำไปบดด้วยเครื่องบอลมิลเป็นเวลา 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

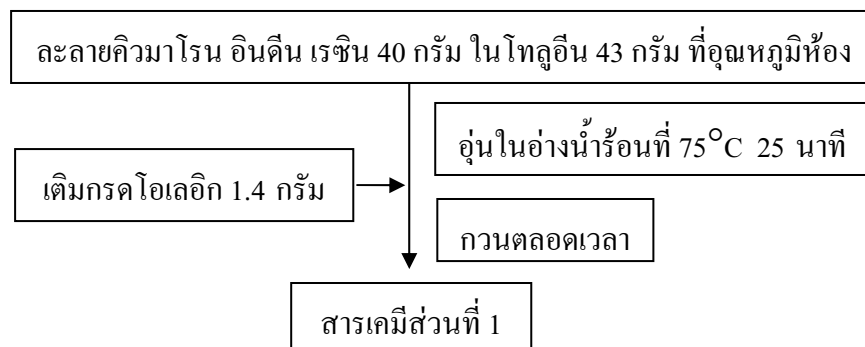
ขั้นตอนที่ 3

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

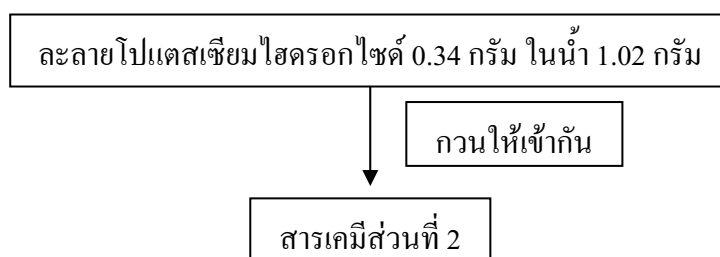
ขั้นตอนที่ 4

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

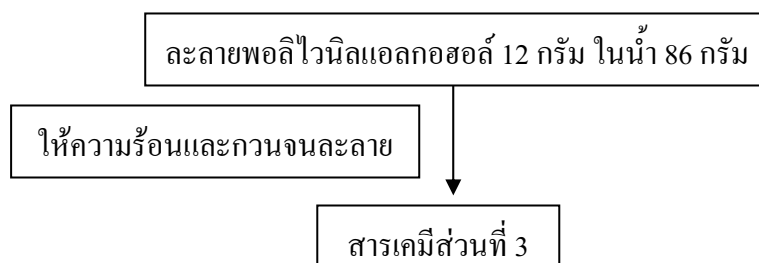
ขั้นตอนที่ 1



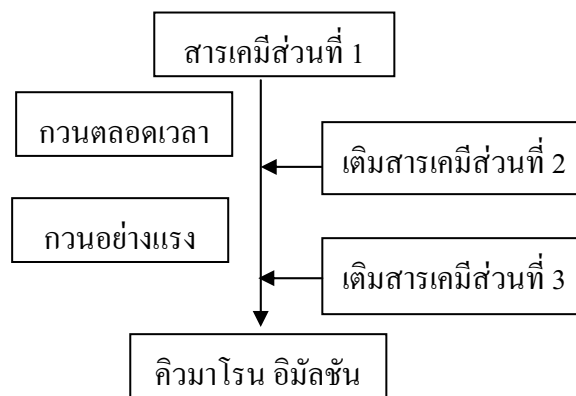
ขั้นตอนที่ 2



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% แซคคิอี่ซี	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

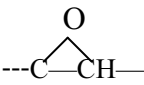


ภาพประกอบที่ 30 แสดงลักษณะน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซค์จากปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันโดยใช้
กรดเปอร์ฟอร์มิก (ขวา) และลักษณะน้ำยางข้น (ซ้าย)

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

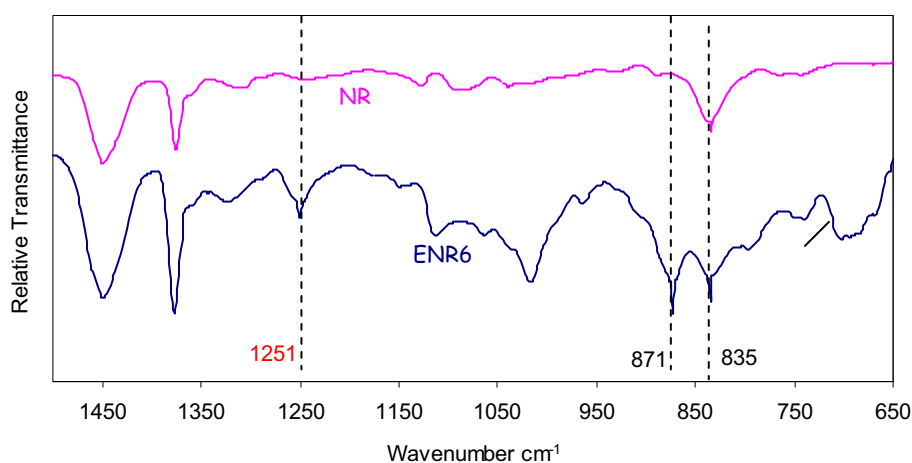
ตารางที่ 11 แสดงตำแหน่งของหมู่ฟังก์ชันของยางธรรมชาติไอพอกไซด์ [7]

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

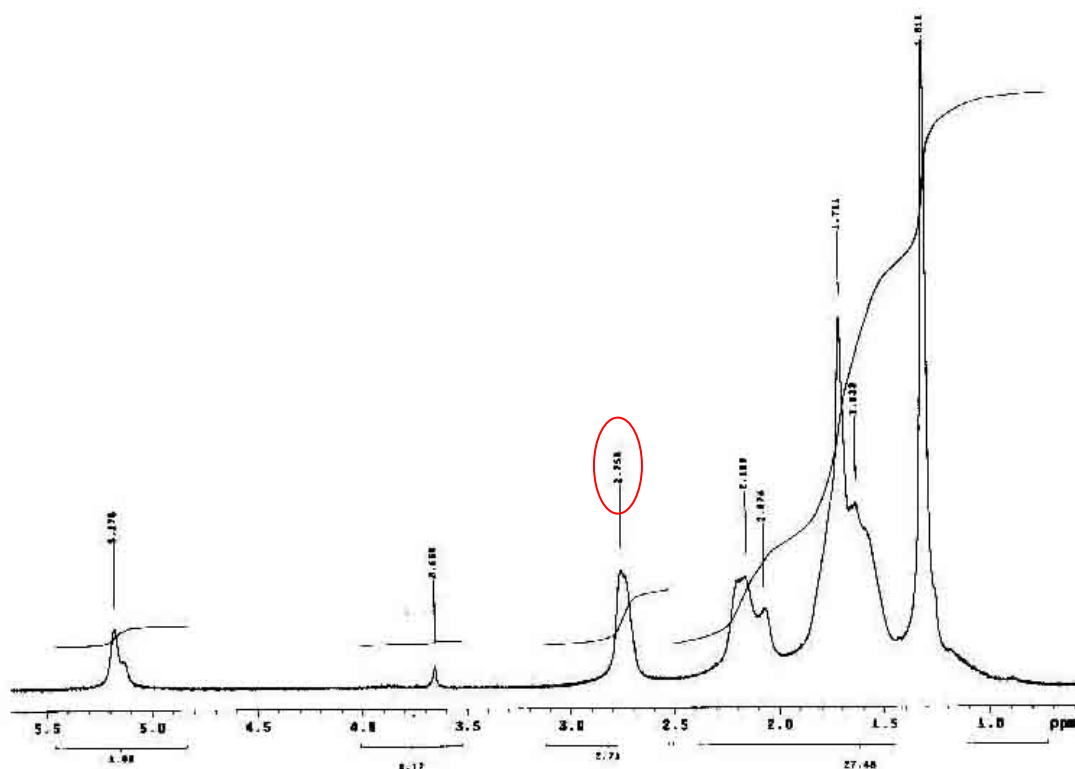
$$\text{Absorbance ratio} = \frac{a_{870}}{a_{870} + a_{835}} \quad (3)$$



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)

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

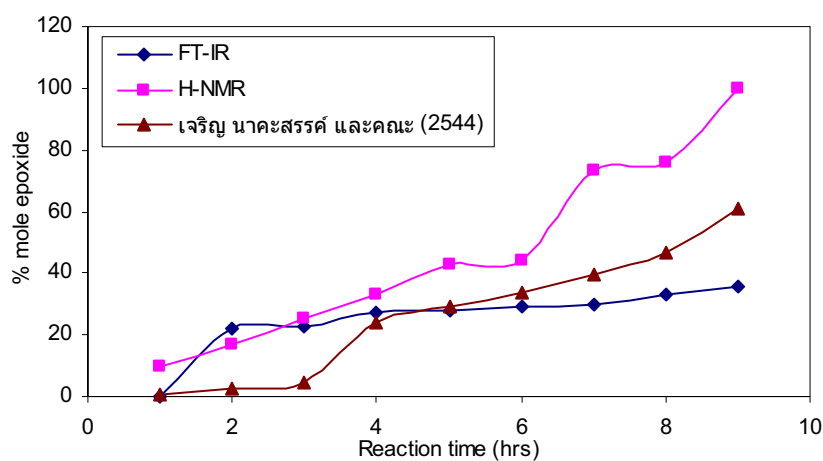


ภาพประกอบที่ 32 แสดง ^1H -NMR สเปกตรัมของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่ระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยา 6 ชั่วโมง

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



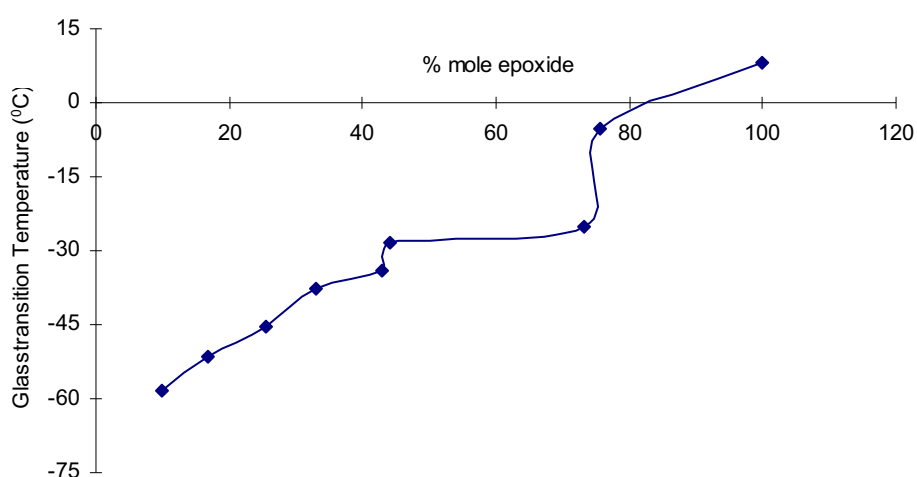
ภาพประกอบที่ 33 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซด์กับเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

จากภาพประกอบที่ 33 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซด์กับเวลาในการทำปฏิกิริยา พบว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาจะทำให้เกิดหมู่อีพอกไซด์บนโมเลกุลยางธรรมชาติมากขึ้นซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของเจริญ นาคะสรรค์ และคณะ, 2544 [10]

ด้วยเทคนิค FT-IR โดยพบว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน หมู่อีพอกไซด์ที่เกิดขึ้นบนโมเลกุลของยางธรรมชาติก็จะมีมากขึ้นด้วย ทั้งนี้เนื่องมาจากเวลาในการทำปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้นทำให้โอกาสที่กรดเปอร์ฟอร์มิกจะเข้าทำปฏิกิริยาตรงตำแหน่งพันธะคู่ที่ไม่อิ่มตัวบนโมเลกุลของยางธรรมชาติ 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 พบว่าค่าอุณหภูมิคล้ายแก้วของยางธรรมชาติอีพอกไซค์มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของหมู่อีพอกไซค์ที่มีบนโมเลกุลของยางธรรมชาติ โดยรายงานการวิจัยของ Baker และคณะ 1985 [12] พบว่าการเกิดหมู่อีพอกไซค์ที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 1 เปอร์เซ็นต์โมลบนโมเลกุลของยางธรรมชาติจะทำให้ค่าอุณหภูมิคล้ายแก้วเพิ่มขึ้นประมาณ 1 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของเจริญ นาคะสรรค์ และคณะ 2544 [10] โดยยางธรรมชาติมีค่าอุณหภูมิคล้ายแก้วประมาณ -72 องศาเซลเซียส สาเหตุที่ค่าอุณหภูมิคล้ายแก้วของยางธรรมชาติอีพอกไซค์มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของหมู่อีพอกไซค์อาจเนื่องจากหมู่อีพอกไซค์มีสภาพเป็นขั้วและสามารถเกิดการดึงดูดระหว่างโมเลกุลได้ ทำให้โมเลกุลของยางธรรมชาติอีพอกไซค์เกิดการเลื่อนไหลหรือเคลื่อนที่ผ่านโมเลกุลได้ยากขึ้นส่งผลให้ความอ่อนตัวของโมเลกุลลดลงด้วย ทำให้ค่า T_g มีค่าสูงขึ้น แสดงให้เห็นว่าค่า T_g สามารถบ่งบอกถึงสภาพความเป็นขั้วบนโมเลกุลของยางธรรมชาติอีพอกไซค์ได้ ถ้า T_g มีค่าสูงแสดงว่ายางธรรมชาติอีพอกไซค์ที่ได้มีสภาพความเป็นขั้วสูง ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้น้ำยางธรรมชาติอีพอกไซค์ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซค์ 44 เปอร์เซ็นต์โดยมีค่า T_g ประมาณ -30 องศาเซลเซียส

4.2 การเตรียมสารเพิ่มการยึดติด

แป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ที่เตรียมได้มีสีขาวขุ่น ลักษณะเหนียวเหมือนแป้งเปียก ส่วนคิวมาโรน อินดิน เรซินในรูปอิมัลชันนั้นมีสีน้ำตาลเข้ม เนื้อมีลักษณะเป็นเหมือนครีม แต่เหนียวหนืดมาก ดังแสดงในภาพประกอบที่ 35



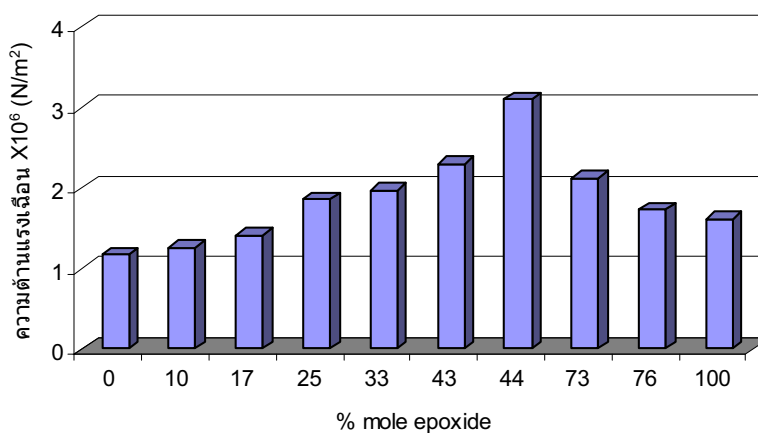
ภาพประกอบที่ 35 แสดงคิวมาโรน อินดิน เรซินในรูปอิมัลชัน (1) แป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ (2)

4.3 การเตรียมและผลการวิเคราะห์กาวยางธรรมชาติอีพอกไซด์

การศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับการเลือกเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซด์ของยางธรรมชาติ-อีพอกไซด์ที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับเตรียมกาวยางธรรมชาติอีพอกไซด์ และการศึกษาปริมาณของสารเพิ่มการยึดติดที่มีผลต่อสมบัติของกาวยางธรรมชาติอีพอกไซด์ โดยใช้กาวยางธรรมชาติอีพอกไซด์สูตรพื้นฐานตามสูตรอ้างอิงการผลิตกาวจากน้ำยางเพื่อใช้ในงานทั่วไปของ วราภรณ์ ขจรไชยกูล และวิภา เสวตกนิษฐ์ [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%

โมลีโอพอกไซค์ ความต้านแรงเฉือนมีค่าสูงสุด หลังจากนั้นความต้านแรงเฉือนจะมีค่าลดลงเมื่อเปอร์เซ็นต์โมลีโอพอกไซค์มีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากยางธรรมชาติอีพอกไซค์ที่มีเปอร์เซ็นต์โมลีโอพอกไซค์สูงมีความเป็นขั้วมากจนเกินไปแทนที่จะเกิดการดึงดูดระหว่างโมเลกุลของกาวกับไม้เท่านั้น แต่กลับเกิดการดึงดูดระหว่างโมเลกุลของกาวกันเองด้วย ส่งผลให้ความสามารถในการยึดเกาะของกาวกับชิ้นไม้ลดลง

จากผลการทดสอบสรุปได้ว่าค่าเปอร์เซ็นต์โมลีโอพอกไซค์ที่เหมาะสมสำหรับเตรียมกาวยางธรรมชาติอีพอกไซค์ คือ ประมาณ 44% โมลีโอพอกไซค์ เพราะที่ปริมาณโมลีโอพอกไซค์ที่สูงกว่านี้ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการออกสูตรกาวเนื่องจากเนื้อกาวที่ได้จะมีลักษณะเป็นก้อนเนื่องจากมีปริมาณโมลีโอพอกไซค์มากเกินไปจึงแสดงความเป็นขั้วมากเกินไปจึงทำให้มีการยึดเกาะกันเองได้ดี ซึ่งให้ค่าความต้านแรงเฉือนสูงสุด และหลังจากนี้จะใช้คำว่ากาวยางแทนกาวยางธรรมชาติอีพอกไซค์ 44% โมลีโอพอกไซค์

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

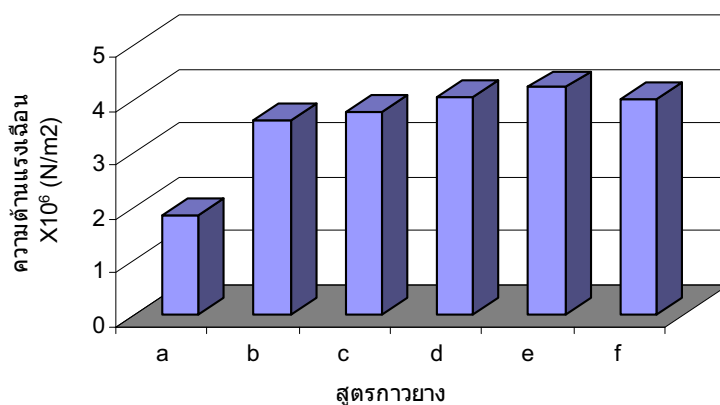


40 กรัม

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



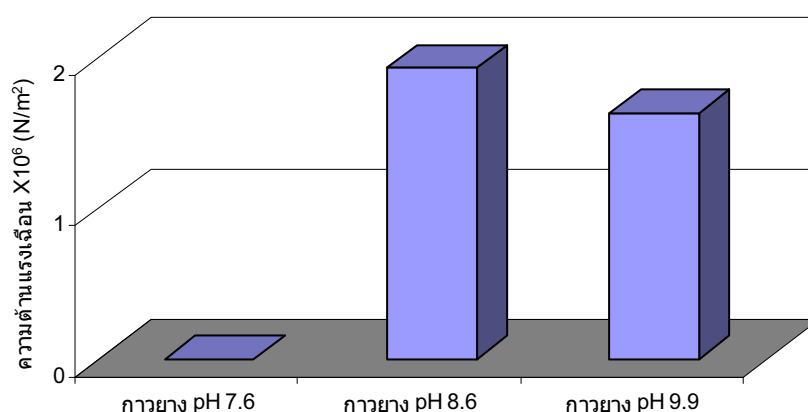
ภาพประกอบที่ 39 แสดงกาวยางที่ค่าความเป็นกรด-ด่างต่างๆ เมื่อใช้คิวมาโรนอิมัลชัน 8 phr เป็นสารเพิ่มการยึดติด

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	ความเป็นกรด-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 พบว่าความต้านแรงเฉือนของชั้นทดสอบมีแนวโน้มลดลง 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

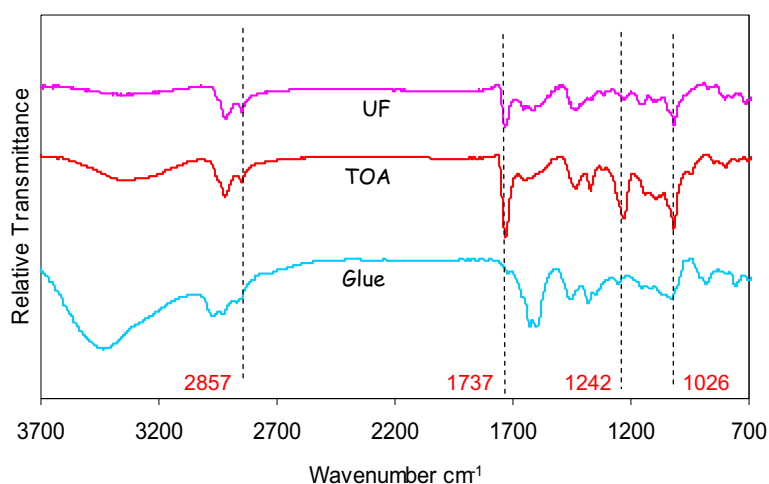
ภาพประกอบที่ 41 แสดงกาวยางโดยมีสารเพิ่มการยึดติด คือ แป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 10% โดยน้ำหนัก : คิวมาโรนอิมัลชัน 22% โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณต่างๆ

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

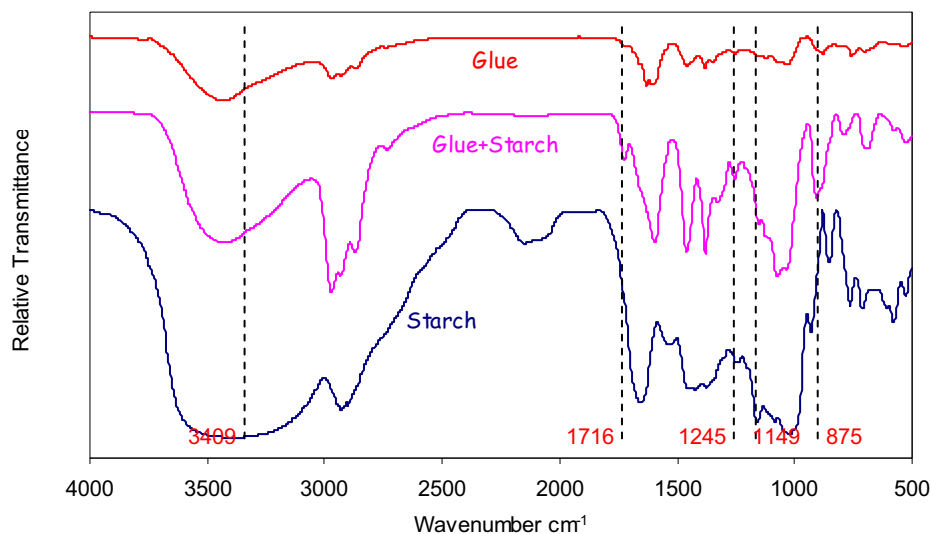
เมื่อใช้ปริมาณคิวมาโรนอีมีลชันมากขึ้นกาวยางที่ได้ก็จะมีสีเข้มขึ้นจากสีครีมเป็นสีน้ำตาล กาวยางที่เตรียมได้เนื้อกาวมีลักษณะเหมือนครีมข้นหนืดซึ่งค่าความหนืดแสดงในส่วนของภาคผนวก ง แต่ไม่เหนียวเทียบกับกาว TOA และกาว UF

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 ซึ่งผลิตมาจากโพลีไวนิลอะซิเตตอีมีลชันจัดเป็นสารพวกเอสเทอร์จึงพบหมู่ฟังก์ชันของ C=O ปรากฏจุดยอดที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1737 cm^{-1} และหมู่ฟังก์ชันของ C-O ปรากฏจุดยอดที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1242 cm^{-1} และ 1026 cm^{-1} ซึ่งหมู่ฟังก์ชันเหล่านี้ไม่ปรากฏในกาวยางที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติด

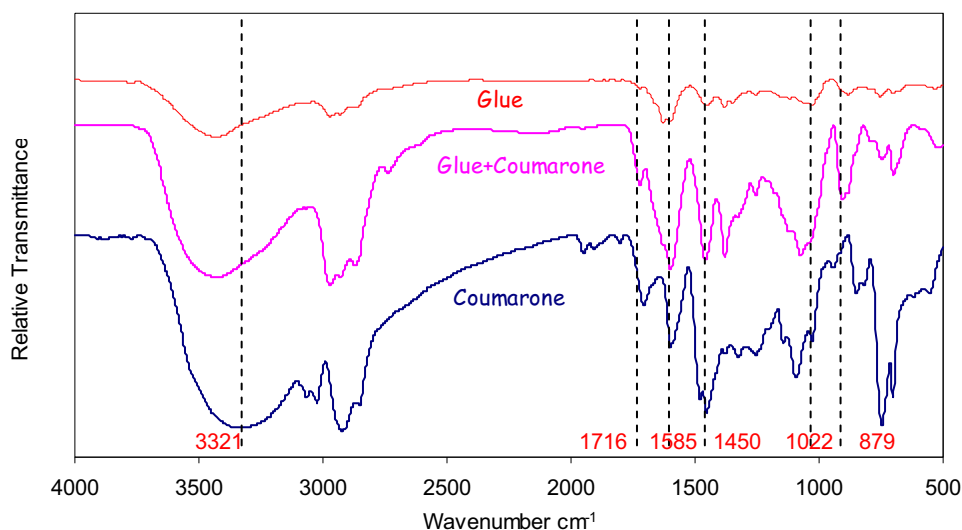


ภาพประกอบที่ 42 กราฟแสดงสเปกตรัมอินฟราเรดของกาว UF กาว TOA และกาวยาง



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) ด้วยกัมมันต์ระหว่างโมเลกุลของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่บริเวณตำแหน่งพันธะคู่บนโมเลกุลของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ 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

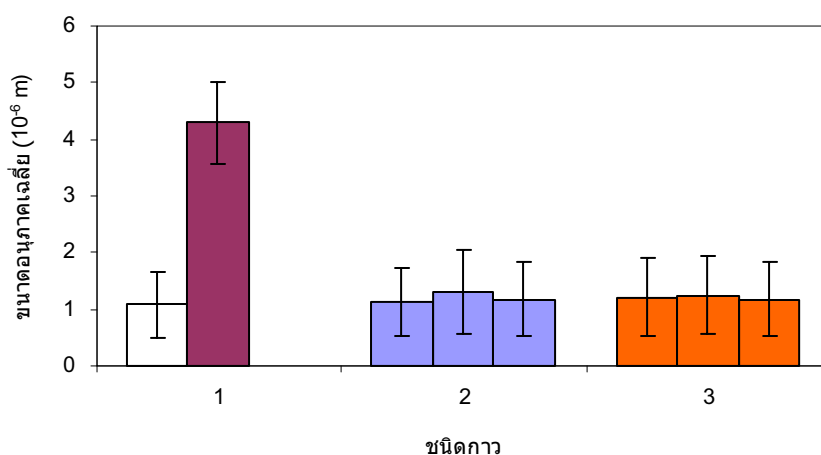


ภาพประกอบที่ 44 กราฟแสดงสเปกตรัมอินฟราเรดของคิวมาโรนอิมัลชัน กาวยางและกาวยางที่ผสมคิวมาโรนอิมัลชัน 8 phr

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} ซึ่งเป็นตำแหน่งของหมู่เอพอกไซด์ 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

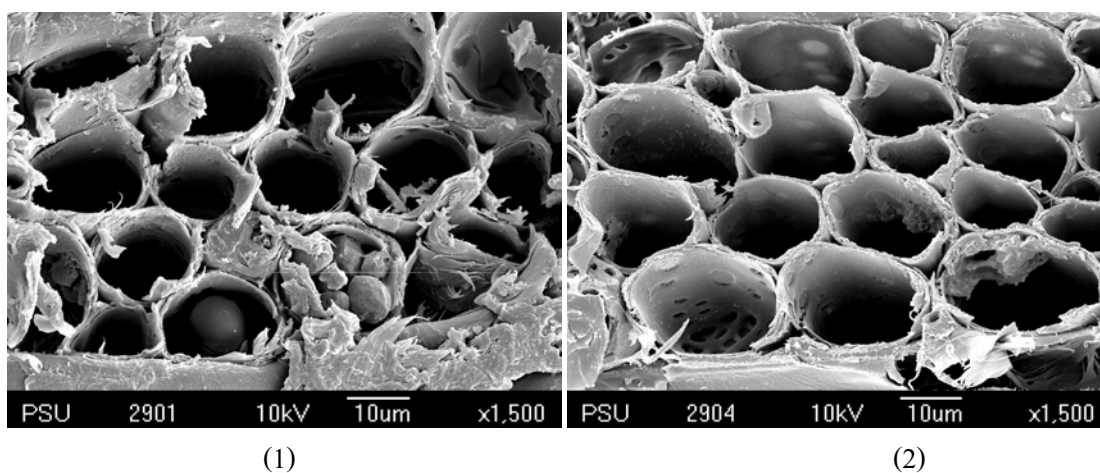
เมื่อนำกาวน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่ผสมสารเพิ่มการยึดติดคือคิวมาโรนอิมัลชัน และแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ วิเคราะห์ขนาดอนุภาคด้วยลำแสงเลเซอร์ (Laser Particle Scanning Analyzer) พบว่ากาวยาง และกาวยางที่ผสมสารเพิ่มการยึดติดที่เตรียมได้ทุกชนิดมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยใกล้เคียงกันประมาณ 1.1 ไมโครเมตร และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน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



ภาพประกอบที่ 45 แสดงขนาดอนุภาคเฉลี่ยของกาวยางชนิดต่างๆ

1. กาวยาง, กาว UF
2. กาวยางผสมคิวมาโรนอิมัลชัน 6 phr, 7 phr, 8 phr
3. กาวยางผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 6 phr, 7 phr, 8 phr

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

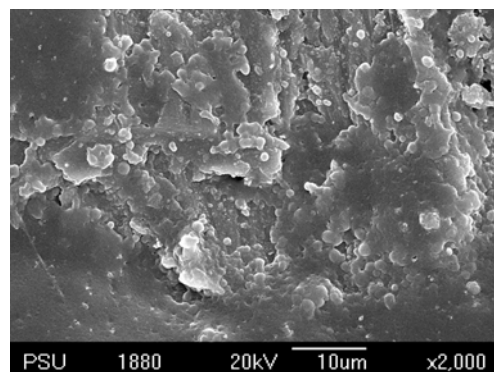
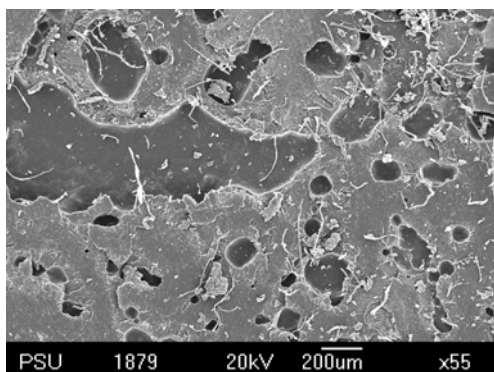


ภาพประกอบที่ 46 (1) ภาพถ่ายขวางเส้นรูพรุนของไม้ยางพาราก่อนขัดกระดาษทราย
(2) ภาพถ่ายขวางเส้นรูพรุนของไม้ยางพาราหลังขัดกระดาษทราย

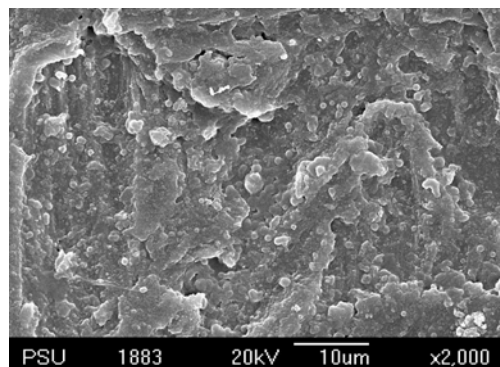
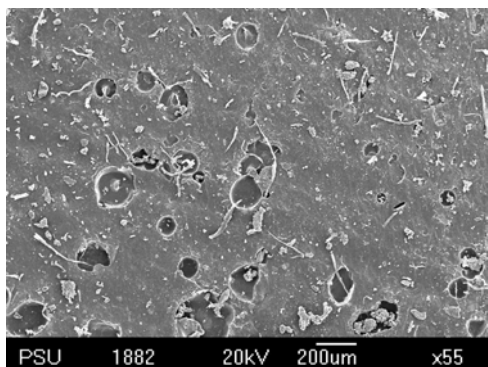
4.3.6 ลักษณะพื้นผิวของกาวยางแห้งโดยใช้ Scanning Electron Microscope

(SEM)

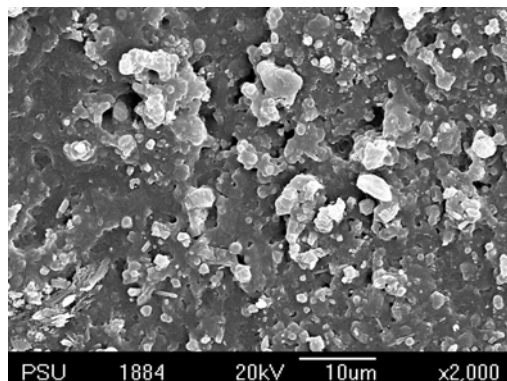
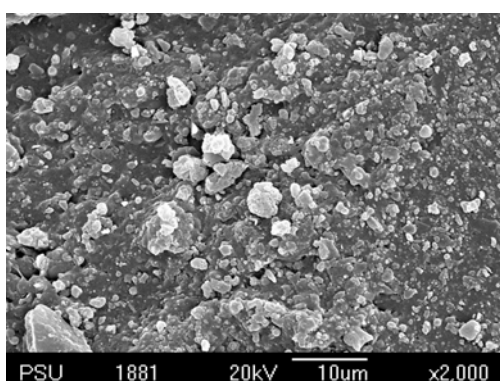
Scanning Electron Microscope เป็นเทคนิคการศึกษาลักษณะพื้นผิวของสาร จากภาพประกอบที่ 47 แสดงลักษณะพื้นผิวของกาวยางผสมคิวมาโรนอีมีลชัน 8 phr และกาวยางผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 8 phr สังเกตได้ว่าพื้นผิวของกาวยางผสมคิวมาโรนอีมีลชัน 8 phr มีลักษณะขรุขระ ประกอบด้วยอนุภาคขนาดเล็กจำนวนมาก คล้ายการรวมตัวของอนุภาคในกาว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

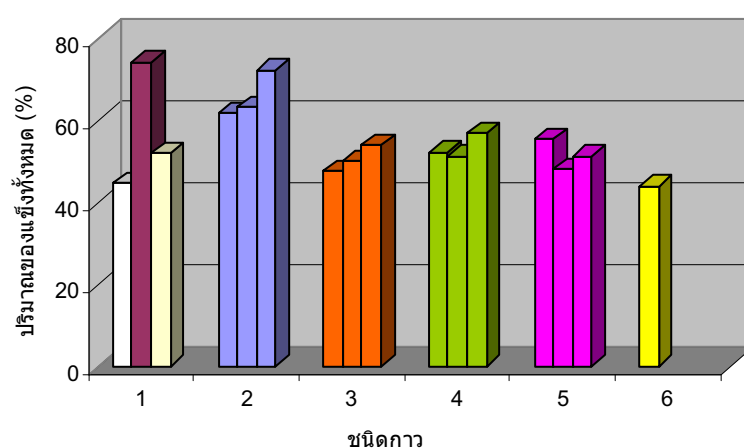


กาวยางผสมคิมาโรนอิมัลชัน (ซ้าย) และ กาวยางผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ (ขวา) 8 phr กำลังขยาย 2000 (แผ่นหนา) ตามลำดับ

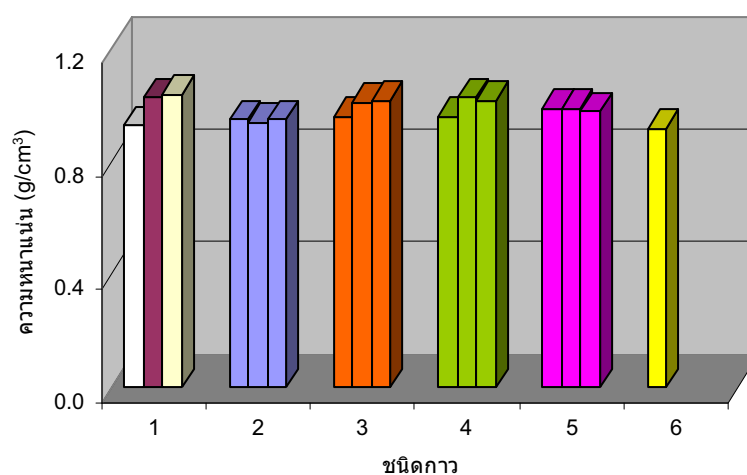
ภาพประกอบที่ 47 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของกาวยางผสมคิมาโรนอิมัลชัน 8 phr และกาวยางผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 8 phr ณ กำลังขยายต่างๆ

4.4 การทดสอบคุณสมบัติของกาวยาง

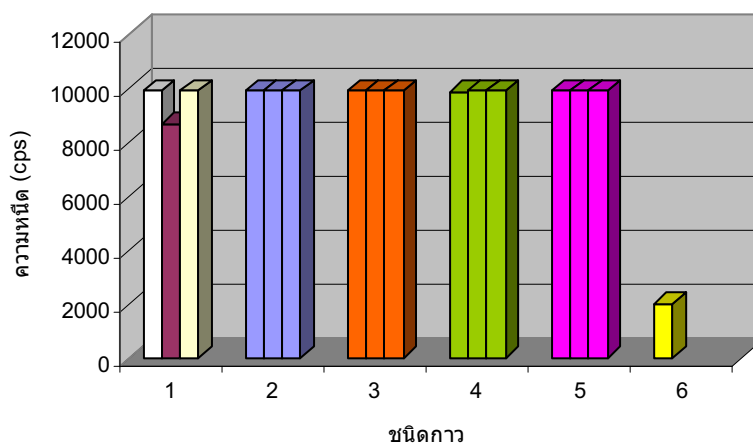
จากกาวยางที่เตรียมได้นำมาทดสอบคุณสมบัติของกาวยางตามมาตรฐานอุตสาหกรรมกาวยาง (มอก. 521-2527) ได้แก่ การหาปริมาณของแข็งทั้งหมด (เนื้อกาว) ความหนืด ความหนาแน่น และมาตรฐานอุตสาหกรรมกาวพอลิไวนิลอะซิเตดอิมัลชัน (มอก. 181-2530) ได้แก่ การทดสอบความเป็นกรด-ด่าง ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบแสดงดังภาพประกอบที่ 48-51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



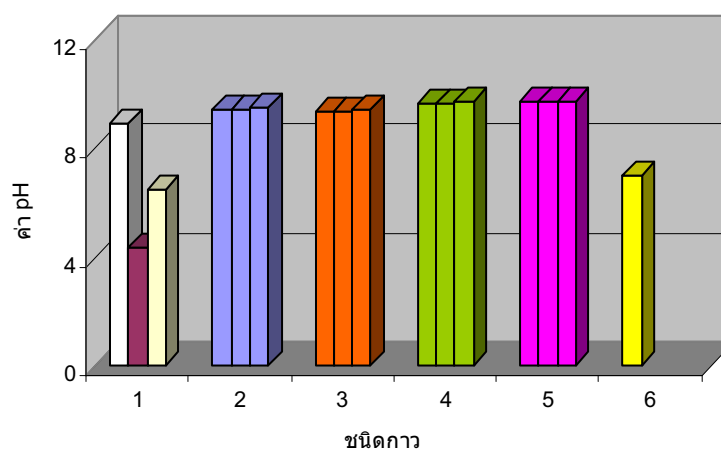
ภาพประกอบที่ 48 กราฟแสดงผลของชนิดกาวต่อปริมาณเนื้อกาว



ภาพประกอบที่ 49 กราฟแสดงผลของชนิดกาวต่อความหนาแน่น



ภาพประกอบที่ 50 กราฟแสดงผลของชนิดกาวต่อความหนืด



ภาพประกอบที่ 51 กราฟแสดงผลของชนิดกาวต่อความเป็นกรด-ด่าง

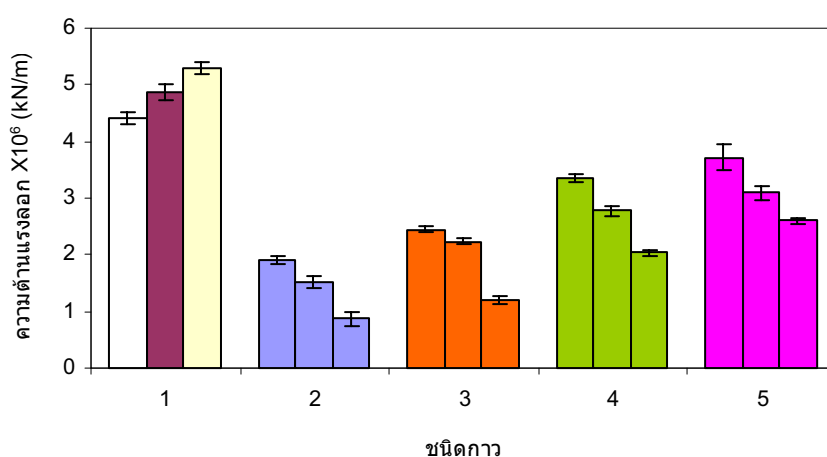
1. กาวยาง, กาว TOA, กาว UF
2. กาวยางผสมคิวมาโรนอีมีลชัน 6 phr, 7 phr, 8 phr
3. กาวยางผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 6 phr, 7 phr, 8 phr
4. กาวยางผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ : คิวมาโรนอีมีลชัน 1.75 : 5.25, 3.5 : 3.5, 5.25 : 1.75 phr
5. กาวยางผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ : คิวมาโรนอีมีลชัน 2 : 6, 4 : 4,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

หมายเหตุ - กาวยางแต่ละชุดเรียงลำดับข้อมูลจากซ้ายไปขวา



(1) กาว UF



(2) กาว TOA



(3) กาวยาง



(4) กาวยางสูตรต่างๆ



ภาพประกอบที่ 53 แสดงลักษณะชิ้นทดสอบภายหลังการทดสอบความต้านแรงลอก

จากภาพประกอบที่ 52 แสดงผลของชนิดกาวต่อความต้านแรงลอก และ ภาพประกอบที่ 50 แสดงลักษณะของชั้นทดสอบภายหลังการทดสอบความต้านแรงลอก พบว่าจากการทดสอบความต้านแรงลอกมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, SD) อยู่ในช่วง 0.05-0.23 ผลการทดสอบมีความถูกต้องอย่างมีนัยสำคัญ ชั้นทดสอบที่ติดกาว TOA และกาว UF (ซึ่งเป็นกาวที่ใช้ปัจจุบันในโรงงานที่ให้ความอนุเคราะห์) ภายหลังการดึงลอกมีส่วนของเศษไม้ของชั้นทดสอบด้านหนึ่งติดอยู่กับชั้นทดสอบอีกด้าน แสดงให้เห็นว่ากาว TOA และกาว UF มีการดูดซึมและซึมซาบของกาวไปตามรูพรุนในเนื้อไม้ได้ดีทำให้เกิดแรงยึดเกาะระหว่างกาวกับไม้สูง ส่งผลให้ความต้านแรงลอกมีค่าสูงกว่ากาวยางที่ไม่ได้ผสมสารเพิ่มการยึดติด และกาวยางสูตรต่างๆ ที่ผสมสารเพิ่มการยึดติด ในขณะที่กาวยางที่ไม่ได้ผสมสารเพิ่มการ ยึดติด และกาวยางสูตรต่างๆ ที่ผสมสารเพิ่มการยึดติด ชั้นไม้ทดสอบทั้งสองแยกออกจากกันโดยไม่มีเศษไม้ติดมาด้วยมีแค่คราบกาวยางที่แห้งติดอยู่บนชั้นทดสอบทั้งสองด้าน ทั้งๆที่อนุภาคของกาวยางที่เตรียมได้ทุกชนิด มีขนาดอนุภาคเล็กกว่าขนาดรูพรุนของไม้ยางพารา (หัวข้อ 4.3.5) อนุภาคของกาวยางน่าจะซึมซาบเข้าไปในรูพรุนของเนื้อไม้ได้ดีแต่ผลไม่เป็นอย่างที่กล่าวมาอาจเนื่องจากการเคลื่อนที่ของกาวยางผ่านเข้าไปในเนื้อไม้มีน้อย ส่วนใหญ่กาวอยู่เฉพาะบริเวณผิวหน้าทำให้แรงยึดเกาะระหว่างกาวกับไม้ต่ำ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกาวยางที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดกับกาวยางที่ผสมสารเพิ่มการยึดติด พบว่ากาวยางที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดมีความต้านแรงลอกสูงสุด แต่ไม่สูงกว่ากาว TOA และกาว UF อาจเนื่องมาจากกาวยางที่ไม่ได้ผสมสารเพิ่มการยึดติดมีสมบัติความเป็นยาง (Elastomer) และมีความเหนียวมากกว่า จึงทำให้ต้องใช้แรงในการดึงลอกมากกว่ากาวยางสูตรต่างๆ ที่ผสมสารเพิ่มการยึดติด อีกทั้งกาวยางที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดยังมีความเป็นเนื้อเดียวกันมากกว่ากาวยางที่ผสมสารเพิ่มการยึดติด นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณสารเพิ่มการยึดติดทั้งแป้งข้าวเหนียวเจลาติน และคิวมาโรนอิมัลชันในกาวยางทำให้ความต้านแรงลอกมีค่าลดลง และกาวยางที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวเหนียวเจลาติน ทุกอัตราส่วนมีความต้านแรงลอกสูงกว่ากาวยางที่ผสมคิวมาโรนอิมัลชัน ทั้งนี้เนื่องมาจากกาวยางที่ผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินมีความเป็นเนื้อเดียวกันมากกว่ากาวยางที่ผสมด้วยคิวมาโรนอิมัลชัน และการรวมตัวเป็นกลุ่มเล็กๆของอนุภาคเมื่อแห้งมีน้อยกว่ากาวยางที่ผสมด้วยคิวมาโรนอิมัลชัน จึงทำให้ต้องใช้แรงในการดึงลอกมากกว่า ดังภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของกาวยางในหัวข้อ 4.3.6

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองกับงานวิจัยของอรสา ภัทรไพบุญชัย และเรวดี แต่งเกลี้ยง [34] ซึ่งใช้สูตรในการผลิตกาวใกล้เคียงกับงานวิจัยนี้โดยผลิตกาวจากน้ำยางชั้น พบว่ากาวยางที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดมีค่าความต้านแรงลอกเท่ากับ 1.75 kN/m และงานวิจัยของ อาชีชัน แกสมาน และคณะ [32] ศึกษาการเตรียมกาวจากยางธรรมชาติแบบแห้งโดยใช้โทลูอินและ

น้ำมันสปีนเคิล อัตราส่วน 50 : 50 โดยน้ำหนัก เป็นตัวทำละลาย ผสมกับสารเพิ่มการยึดติดชนิด coumarone indene resin ทดสอบความต้านแรงลอกโดยการทาเกล็ดบนกระดาษที่มีผิวหยาบจำนวน 2 ชั้นแล้วนำมาประกบกัน พบว่าเกล็ดจากยางแห้งที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดมีค่าความต้านแรงลอกเท่ากับ 1.90×10^{-3} kN/m และเกล็ดที่ผสม coumarone indene resin ที่ 10 phr ให้ค่าความต้านแรงลอกสูงสุดเท่ากับ 3.53×10^{-3} kN/m แต่ค่าที่ได้ยังน้อยกว่าเกล็ดจากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซค์ที่ผสมคิวมาโรนอีมีลชันปริมาณ 6 phr มีค่าความต้านแรงลอกเท่ากับ 1.89×10^6 kN/m จากงานวิจัยทั้งสอง พบว่าเกล็ดที่ผลิตจากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซค์ที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดให้ค่าความต้านแรงลอกเท่ากับ 4.41×10^6 kN/m ซึ่งค่าที่ได้สูงกว่าเกล็ดที่ผลิตจากน้ำยางชันและเกล็ดที่ผลิตจากยางแห้ง

นอกจากนี้แล้วหากเปรียบเทียบกับงานวิจัยเกล็ดยางธรรมชาติอีพอกไซค์ที่สามารถหาข้อมูลได้ในขณะนี้คืองานวิจัยของ นาฏยา แซ่ลิ่ม [40] ซึ่งผลิตเกล็ดชนิดทนน้ำมันอยู่ในรูปเกล็ดยางธรรมชาติอีพอกไซค์ 50 โมลเปอร์เซ็นต์ ที่ปริมาณ wood resin 50 phr ให้ค่าความต้านแรงลอก 7.9×10^6 kN/m และทนทานต่อการแช่น้ำทั้งรูปแบบออกแรงดึงทุกๆ วัน และรูปแบบที่ปล่อยให้หลุดเองแต่ไม่ได้ระบุค่าแรงที่สามารถทนได้ จึงมีข้อเด่นคือทนต่อการแช่น้ำกว่าเกล็ดที่ผลิตในงานวิจัยนี้ซึ่งเกิดการหลุดล่อนของเกล็ดและไม้หลังการแช่น้ำ

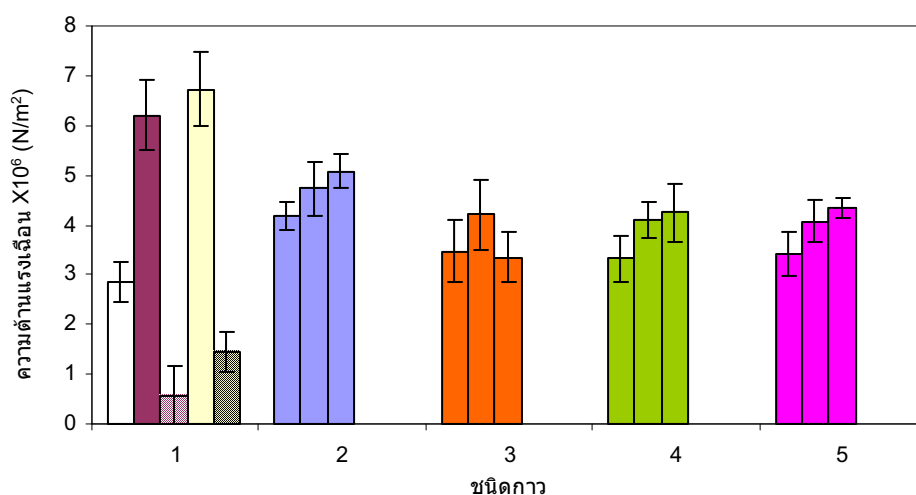
หากเปรียบเทียบกับความต้านแรงลอก (กรณีไม่แช่น้ำ) ของเกล็ดยางตามมาตรฐาน มอก.521-2527 [22] และเกล็ดโพลีไวนิลอะซิเตดอีมีลชัน สำหรับงานไม้ มาตรฐาน มอก.181-2530 [23] ซึ่งระบุค่าความต้านแรงลอกไม่ควรน้อยกว่า 2×10^6 kN/m พบว่ามีเพียงเกล็ดยางผสมคิวมาโรนอีมีลชัน 6 phr, 7 phr, 8 phr และเกล็ดยางผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 8 phr เท่านั้นที่ไม่ผ่านมาตรฐานดังกล่าว สำหรับกรณีหลังการแช่น้ำเฉพาะเกล็ดยางตามมาตรฐาน มอก.521-2527 [22] เท่านั้นที่ระบุค่าความต้านแรงลอกไม่ควรน้อยกว่า 2×10^6 kN/m อย่างไรก็ตามงานวิจัยชิ้นนี้ไม่สามารถทดสอบความต้านแรงลอกหลังการแช่น้ำของเกล็ดทุกชนิดได้เนื่องจากการเกิดการหลุดล่อนของเกล็ดและไม้หลังการแช่น้ำ

4.6 การทดสอบความต้านแรงเฉือน

การทดสอบความต้านแรงเฉือนเป็นการทดสอบเกล็ดที่แข็งตัวอย่างสมบูรณ์ เพื่อประเมินแรงยึดเกาะของเกล็ดกับไม้ยางพารา เช่นเดียวกับการทดสอบความต้านแรงลอก แต่จะใช้ชิ้นทดสอบ 10 ชิ้นต่อหนึ่งตัวอย่าง ซึ่งผลการทดสอบ และลักษณะของชิ้นทดสอบภายหลังการทดสอบแสดงดังภาพประกอบที่ 54 และ 55 ตามลำดับ

จากภาพประกอบที่ 54 แสดงผลของชนิดเกล็ดต่อความต้านแรงเฉือน และภาพ

ประกอบที่ 55 แสดงลักษณะของชั้นทดสอบภายหลังการทดสอบความต้านแรงเฉือน พบว่าชั้นทดสอบที่ติดกาว TOA และกาว UF ภายหลังการคั่งมีส่วนของเศษไม้ของชั้นทดสอบด้านหนึ่งติดอยู่กับชั้นทดสอบอีกด้าน แสดงให้เห็นว่ากาว TOA และกาว UF มีการดูดซึมและซึมซาบของกาวไปตามรูพรุนในเนื้อไม้ได้ดีทำให้เกิดแรงยึดเกาะระหว่างกาวกับไม้สูง ส่งผลให้ความต้านแรงเฉือนมีค่าสูงกว่ากาวยางที่ไม่ได้ผสมสารเพิ่มการยึดติด และกาวยางสูตรต่างๆ ที่ผสมสารเพิ่มการยึดติด ในขณะที่กาวยางที่ไม่ได้ใส่สารเพิ่มการยึดติด และกาวยางสูตรต่างๆ ที่ใส่สารเพิ่มการยึดติด ชั้นไม้ทดสอบทั้งสองแยกออกจากกัน โดยไม่มีเศษไม้ติดมาด้วยมีแต่คราบกาวยางที่แห้งติดอยู่บนชั้นทดสอบทั้งสองด้าน เหตุผลเช่นเดียวกับการอธิบายผลของชนิดกาวต่อความต้านแรงลอก ทั้งๆที่อนุภาคของกาวยางน่าจะซึมซาบเข้าไปในรูพรุนของเนื้อไม้ได้ดีแต่ผลไม่เป็นอย่างที่กล่าวมาอาจเนื่องจากการเคลื่อนที่ของกาวยางผ่านเข้าไปในเนื้อไม้น้อย กาวส่วนใหญ่อยู่เฉพาะบริเวณผิวหน้าทำให้แรงยึดเกาะระหว่างกาวกับไม้ต่ำ จึงทำให้ค่าความต้านแรงเฉือนที่ได้มีน้อยลงและลักษณะของชั้นทดสอบของกาวยางภายหลังการคั่งเกิดความเสียหายเฉพาะตรงจุดที่กาวไม่ได้เกิดบริเวณเนื้อไม้



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 – กรณีแช่น้ำชั้นทดสอบที่ติดด้วยกาวยางทุกสูตรเกิดการหลุดร่อนออก

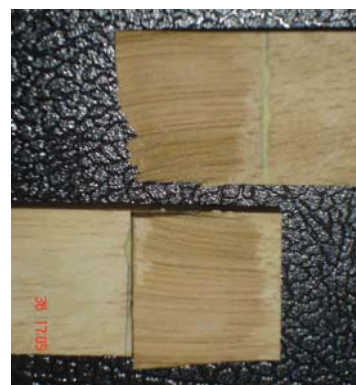
เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกาวยางที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดกับกาวยางที่ผสมสารเพิ่มการยึดติด พบว่าความต้านแรงเฉือนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารเพิ่มการยึดติด โดยกาวยางที่ผสมคิวมาโรนิมัลชัน 8 phr มีค่าความต้านแรงเฉือนสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับกาวยางสูตรอื่นๆ คือ $5 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ แต่ในกรณีของกาวยางที่ผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ควรรู้ใช้ไม่เกิน 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

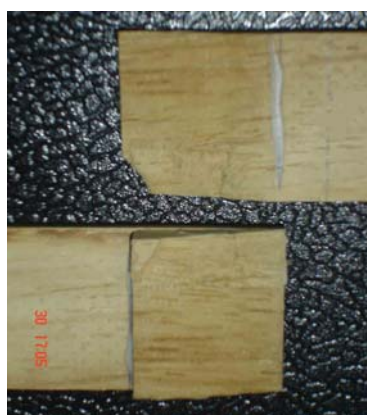
ในการเปรียบเทียบความต้านแรงเฉือนของกาวในงานวิจัยนี้ขอเปรียบเทียบกับความต้านแรงเฉือนตามมาตรฐานกาวยาง มอก.521-2527 [22] เพียงมาตรฐานเดียว เนื่องจากความต้านแรงเฉือนของกาวโพลิไวนิลอะซิเตดอีพอกไซค์ สำหรับงานไม้ มาตรฐานมอก.181-2530 [23] นั้นแม้กาว UF ที่ใช้ในโรงงานปัจจุบันก็ไม่ผ่านตามมาตรฐานดังกล่าว ผลการเปรียบเทียบดังกล่าวพบว่าค่าความต้านแรงเฉือนตามมาตรฐานกาวยาง 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]



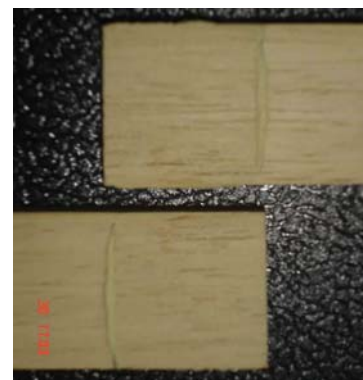
(1) กาว UF



(2) กาว TOA



(3) กาวยาง



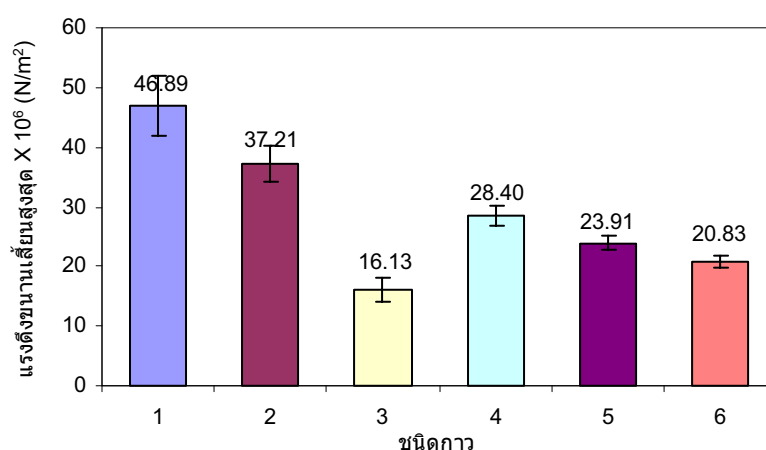
(4) กาวยาสูตรต่างๆ



ภาพประกอบที่ 55 แสดงลักษณะของชิ้นทดสอบภายหลังการทดสอบแรงเฉือน

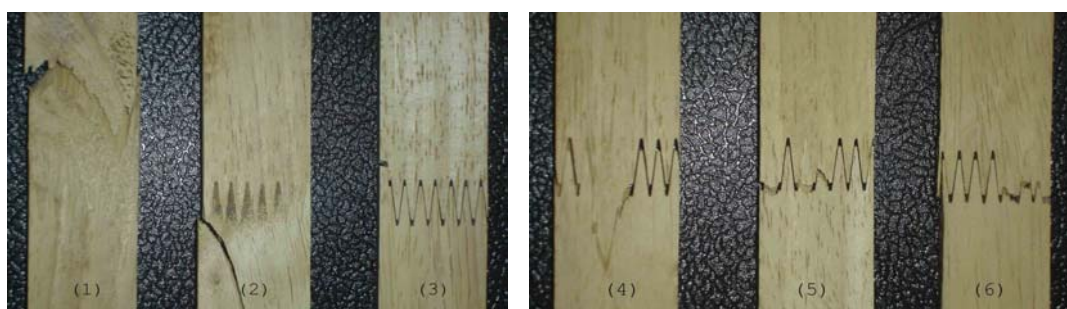
4.7 การทดสอบความแข็งแรงของข้อต่อแบบน๊วมือประสาน

ทำการทดสอบเฉพาะกาวอย่างสูตรที่ผสมสารเพิ่มการยึดติดแต่ละชนิดที่ให้ค่าความต้านแรงเฉือนสูงสุด โดยทำการทดสอบการดึงขนานเสี้ยนและการคัดสลิต ซึ่งจะใช้ชิ้นทดสอบจำนวน 10 ชิ้นต่อหนึ่งตัวอย่าง



ภาพประกอบที่ 56 กราฟแสดงผลของชนิดกาวต่อแรงดึงขนานเสี้ยนสูงสุด

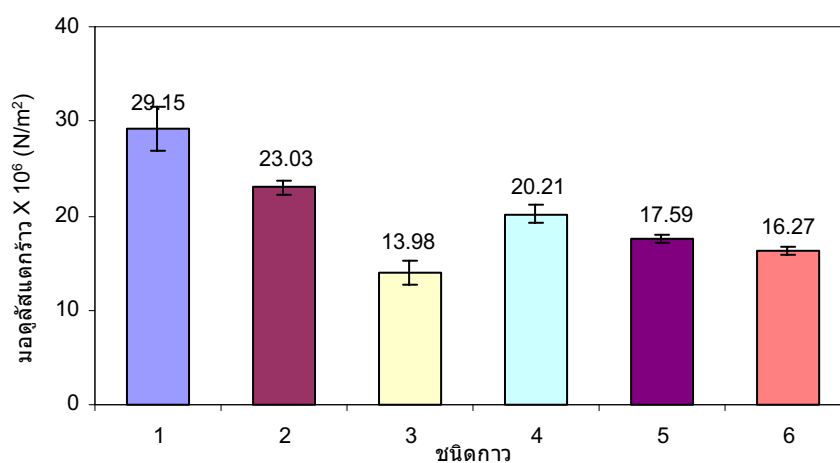
- | | |
|------------|--|
| 1. กาว UF | 4. กาวยางผสมคิวมาโรนอิมัลชัน 8 phr |
| 2. กาว TOA | 5. กาวยางผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 7 phr |
| 3. กาวยาง | 6. กาวยางผสมแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ 6 phr : คิวมาโรนอิมัลชัน 2 phr |



ภาพประกอบที่ 57 แสดงลักษณะของชิ้นทดสอบภายหลังการทดสอบแรงดึงขนานเสี้ยนสูงสุด

ภาพประกอบที่ 57 แสดงลักษณะของชิ้นทดสอบภายหลังการทดสอบแรงดึงขนานเสี้ยนสูงสุด พบว่าชิ้นทดสอบที่ติดด้วยกาว UF มีลักษณะการฉีกขาดตามทิศทางการเรียงตัวของ

เสี้ยน และกาว TOA มีลักษณะการฉีกขาดของชั้นทดสอบใกล้แนวรอยต่อ กาวยางที่ผสมสารเพิ่มการยึดติดทั้งแป้งข้าวเหนียวเจลาตินและคิวมาโรนอิมัลชัน ชั้นทดสอบมีลักษณะการฉีกขาดของไม้ที่ตัวนี้มีอุปสรรค ส่วนกาวยางที่ไม่ได้ผสมสารเพิ่มการยึดติด (3) ชั้นทดสอบมีเพียงการแยกที่รอยต่อ ลักษณะการฉีกขาดของชั้นทดสอบสอดคล้องกับค่าแรงดึงขานเสี้ยนสูงสุด ดังแสดงในภาพประกอบที่ 56 พบว่าจากการทดสอบแรงดึงขานเสี้ยนสูงสุดมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, SD) อยู่ในช่วง 0.9-4.9 ค่าแรงดึงขานเสี้ยนที่ได้ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งชั้นทดสอบที่ติดด้วยกาว UF และกาว TOA ให้ค่าแรงดึงขานเสี้ยนสูงสุด $46.89 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ และ $37.21 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ ตามลำดับ เนื่องจากกาวทั้งสองชนิดสามารถซึมซาบเข้าไปในรูพรุนในเนื้อไม้ได้สูง ทำให้การยึดติดระหว่างกาวกับส่วนของข้อต่อไม้แข็งแรง จึงต้องใช้แรงในการดึงแยกส่วนของข้อต่อให้หลุดออกจากกันมาก ส่วนกาวยางที่ผสมสารเพิ่มการยึดติดแป้งข้าวเหนียวเจลาติน 7 phr, คิวมาโรนอิมัลชัน 8 phr และแป้งข้าวเหนียวเจลาติน : คิวมาโรนอิมัลชันให้ค่าแรงดึงขานเสี้ยนสูงสุดใกล้เคียงกันที่ $23.91 \times 10^6 \text{ N/m}^2$, $28.40 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ และ $20.83 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าค่าแรงดึงขานเสี้ยนสูงสุดของกาวยางที่ไม่ได้ผสมสารเพิ่มการยึดติด และกาวยางที่ผสมคิวมาโรนอิมัลชันปริมาณ 8 phr ให้ค่าแรงดึงขานเสี้ยนสูงสุดที่สุด แต่ค่าแรงดึงขานเสี้ยนที่ได้ยังมีค่าน้อยกว่าแรงดึงขานเสี้ยนของกาว UF และกาว TOA ประมาณ 1.6 และ 1.3 เท่า ตามลำดับ

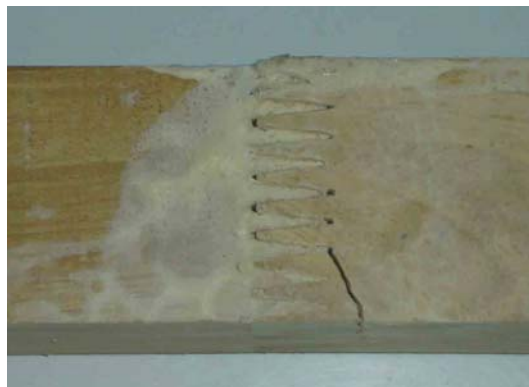


ภาพประกอบที่ 58 กราฟแสดงผลของชนิดกาวต่อค่ามอดูลัสแตกกร้าว

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



(1)



(4)



(2)



(5)



(3)



(6)

ภาพประกอบที่ 59 แสดงลักษณะของชิ้นทดสอบภายหลังการทดสอบการตัดสัณติย์

- | | |
|------------|--|
| 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 กาวยางที่ผสมสารเพิ่มการยึดติดทั้งแปงข้าวเหนียวเจลลาตินไนซ์ และคิวมาโรนอิมัลชัน และกาวยางที่ไม่ได้ผสมสารเพิ่มการยึดติดชิ้นทดสอบมีลักษณะแยกที่รอยต่อแต่เห็นรอยแตกหักไม่ชัดเจน ชิ้น-ทดสอบโก่งงอบริเวณรอยต่อเนื่องมาจากแรงที่กดลงบนชิ้นทดสอบ กลสมบัติที่คำนวณได้จากผลการทดสอบการตัดสถิติ คือ มอดูลัสแตกร้าว (Modulus of rupture, MOR) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 58 พบว่าการทดสอบการตัดสถิติมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, SD) อยู่ในช่วง 0.4-2.3 ค่ามอดูลัสแตกร้าวที่ได้ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญ ชิ้นทดสอบที่ยึดติดด้วยกาว UF ให้ค่ามอดูลัสแตกร้าวสูงที่สุดที่ $29.15 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ อาจเนื่องมาจากกาวสามารถซึมซาบเข้าไปในรูพรุนในเนื้อไม้ได้สูง เนื่องจากขนาดอนุภาคของกาวมีขนาดเล็กกว่าขนาดของรูพรุนของไม้ยางพารา ทำให้การยึดติดระหว่างกาวกับส่วนของข้อต่อไม้แข็งแรง จึงต้องใช้แรงกดเพื่อข้อต่อให้หลุดออกจากกันมาก ส่วนกาวยางที่ผสมคิวมาโรนอิมัลชันปริมาณ 8 phr ให้ค่ามอดูลัสแตกร้าวสูงที่สุดที่ $20.21 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ 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 ราคา กาวยางที่เตรียมได้ประมาณ 219 บาทต่อกิโลกรัม

ตารางที่ 16 แสดงต้นทุนในการเตรียมน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซค์

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 แสดงต้นทุนในการเตรียมกาวยางผสมคิวมาโรนอีมีลชัน 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% คิวมาโรนอีมีลชัน	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

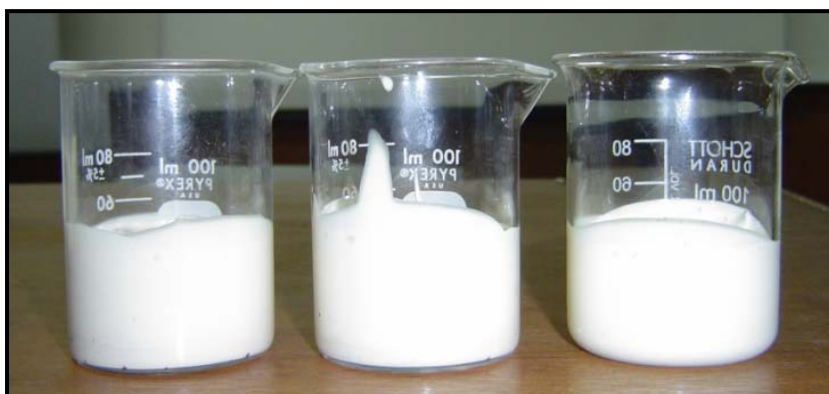
สูตรกาว	กาวและสารเพิ่มการยึดติด	ปริมาณสารเพิ่มการยึดติด phr (น้ำหนักแห้ง)
1	กาวยางไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติด	
2	TOA (กาวโพลีไวนิลอะซีเตตอิมัลชัน)	
3	Urea Formaldehyde (UF)*	
4	กาวยางผสม Petroleum resin	15
5	กาวยางผสม Petroleum resin	30
6	กาวยางผสม Petroleum resin	45
7	กาวยางผสม Terpene phenolic resin	30
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

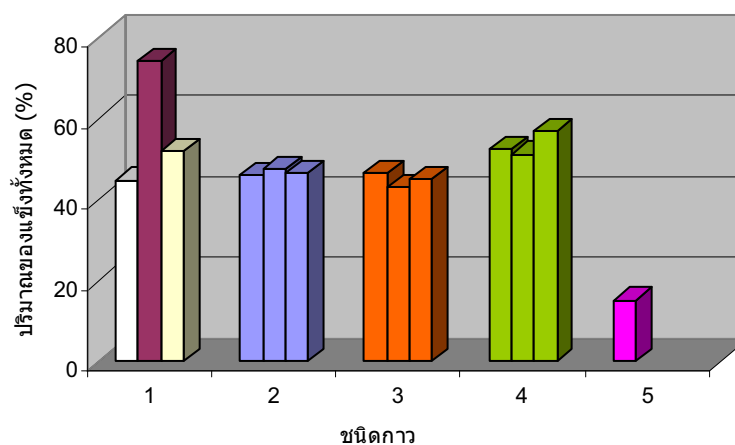
ภาพประกอบที่ 64 แสดงกาวยางโดยมีสารเพิ่มการยึดติดคือ ชัน ที่ปริมาณต่างๆ

4.12 การทดสอบคุณสมบัติของกาวยาง

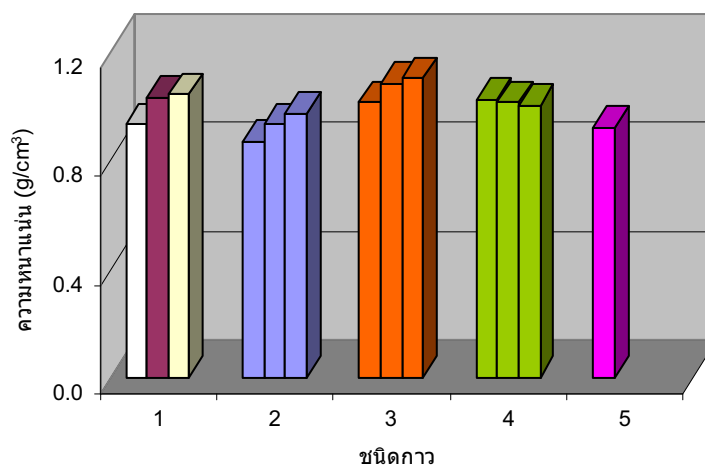
จากกาวยางที่เตรียมได้นำมาทดสอบคุณสมบัติของกาวยางตามมาตรฐานอุตสาหกรรมกาวยาง มอก. 521-2527 [22] ได้แก่ การหาปริมาณของแข็งทั้งหมด (เนื้อกาว) ความหนาแน่น ความหนืด และมาตรฐานอุตสาหกรรมกาวพอลิไวนิลอะซิเตตอิมัลชัน มอก. 181-2530 [23] ได้แก่ การทดสอบความเป็นกรด-ด่าง ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบแสดงดังภาพประกอบที่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

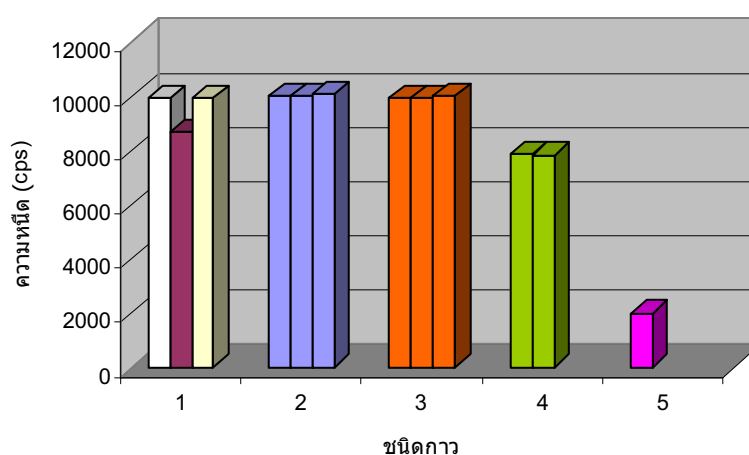


ภาพประกอบที่ 65 กราฟแสดงผลของชนิดกาวต่อปริมาณเนื้อกาว



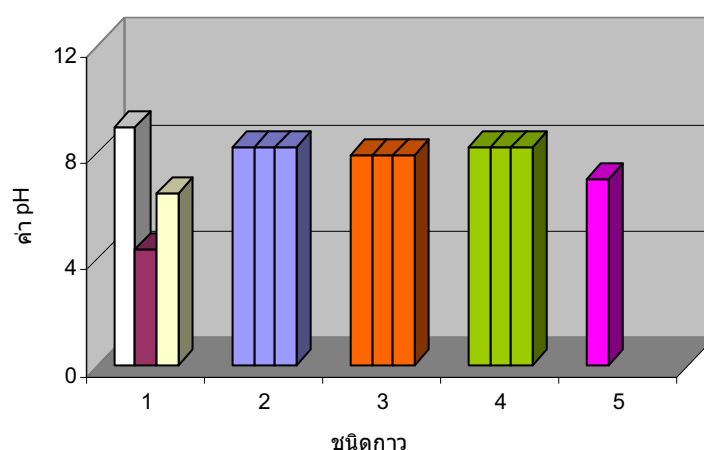
ภาพประกอบที่ 66 กราฟแสดงผลของชนิดกาวต่อความหนาแน่น

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

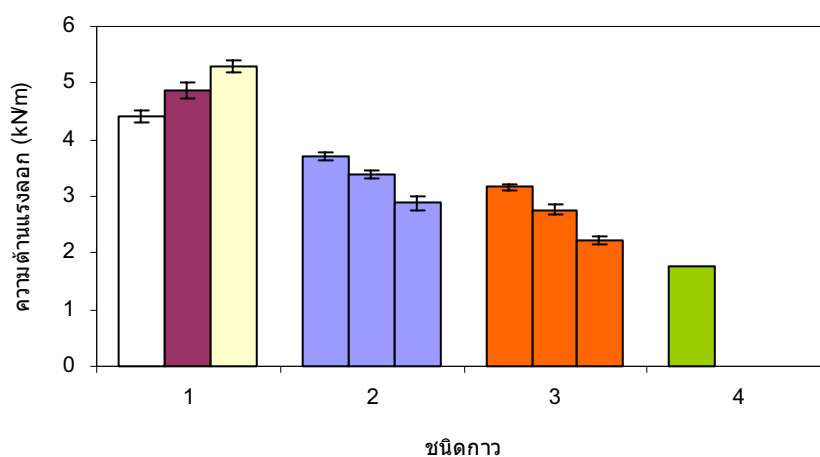


ภาพประกอบที่ 68 กราฟแสดงผลของชนิดกาวต่อความเป็นกรด-ด่าง

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

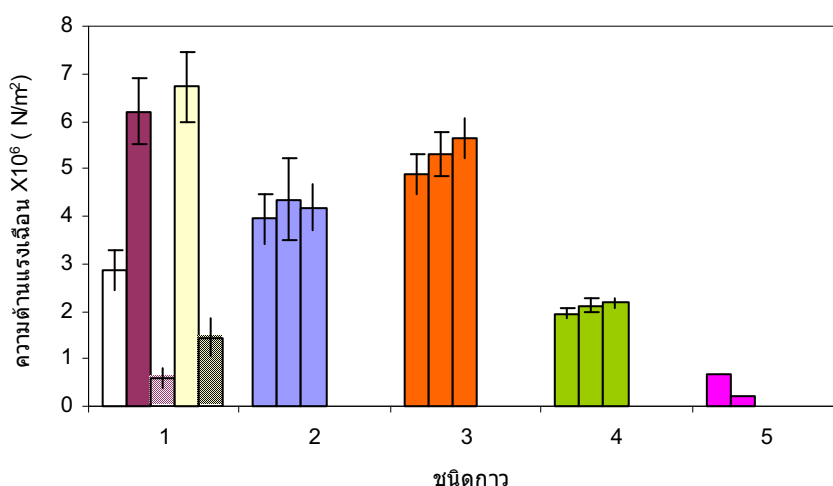
เมื่อเปรียบเทียบกับกาวยางที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ และกาวยางที่มีส่วนผสมของคิวมาโรนอิมัลชัน พบว่าความต้านแรงลอกของกาวยางที่มีส่วนผสม Petroleum resin และ กาวยางที่มีส่วนผสม Terpene phenolic resin ให้ค่าความต้านแรงลอกสูงกว่า แต่หากเปรียบเทียบกับความต้านแรงลอกของกาวยางที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์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

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองกับงานวิจัยของอรสา ภัทรไพบูลย์ชัย และเรวดี แต่งเกลี้ยง (2544) ซึ่งใช้สูตรในการผลิตกาวใกล้เคียงกับงานวิจัยนี้ โดยผลิตกาวจากน้ำยางชัน 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 ซึ่งค่าที่ได้สูงกว่ากาวที่ผลิตจากน้ำยางชันและกาวที่ผลิตจากยางแห้ง อย่างไรก็ตามงานวิจัยชิ้นนี้ไม่สามารถทดสอบ

ความต้านแรงลอกหลังการแช่น้ำของกาวทุกชนิดได้เนื่องจากการเกิดการหลุดล่อนของกาวและไม่
หลังการแช่น้ำ

4.14 การทดสอบความต้านแรงเฉือน

การทดสอบความต้านแรงเฉือนเป็นการทดสอบกาวที่แห้งตัวอย่างสมบูรณ์ เพื่อ
ประเมินแรงยึดเกาะของกาวกับไม้ยางพารา เช่นเดียวกับการทดสอบความต้านแรงลอก แต่จะใช้ชิ้น
ทดสอบ 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], มาตรฐาน ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมโพลิไวนิลอะซิเตดอิมัลชันสำหรับไม้ มอก.181-2530 [23]

จากภาพประกอบที่ 70 แสดงผลของชนิดกาวยึดความต้านแรงเฉือน พบว่า ชันทดสอบที่ติดกาวยึด TOA และกาวยึด UF ภายหลังการดึงมีส่วนของเศษไม้ของชันทดสอบด้านหนึ่ง ติดอยู่กับชันทดสอบอีกด้าน แสดงให้เห็นว่ากาวยึด TOA และกาวยึด UF มีการดูดซึมและซึมซาบของ กาวไปตามรูพรุนในเนื้อไม้ได้ดีทำให้เกิดแรงยึดเกาะระหว่างกาวกับไม้สูง ส่งผลให้ความต้านแรง เฉือนมีค่าสูงกว่ากาวที่ยึดที่ไม่ได้ผสมสารเพิ่มการยึดติด และกาวยางสูตรต่างๆ ที่ผสมสารเพิ่มการยึด ติด ในขณะที่กาวที่ยึดที่ไม่ได้ใส่สารเพิ่มการยึดติด และกาวยางสูตรต่างๆ ที่ใส่สารเพิ่มการยึดติด ชันทดสอบทั้งสองแยกออกจากกัน โดยไม่มีเศษไม้ติดมาด้วยมีแต่คราบกาวที่ยึดติดอยู่บน ชันทดสอบทั้งสองด้าน เหตุผลเช่นเดียวกับการอธิบายผลของชนิดกาวยึดความต้านแรงลอก เนื่อง กาวส่วนใหญ่อยู่เฉพาะบริเวณผิวหน้าทำให้แรงยึดเกาะระหว่างกาวกับไม้ต่ำ จึงทำให้ค่าความต้าน แรงเฉือนที่ได้มีน้อยลงและลักษณะของชันทดสอบของกาวยางภายหลังการดึงเกิดความเสียหาย เฉพาะตรงจุดที่กาวยึดไม่ได้เกิดบริเวณเนื้อไม้

ความต้านทานแรงเฉือนของกาวที่ยึดใส่สารเพิ่มการยึดติดมีค่าเพิ่มขึ้นตาม ปริมาณสารเพิ่มการยึดติดที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณสารเพิ่มการยึดติดที่เพิ่มมากขึ้นทำ ให้แนวโน้มน้ำที่วงแหวนโมเลกุลของ Terpene phenolic resin และ Petroleum resin แตกออกแล้ว เกิดเป็นหมู่ไฮดรอกซิลทำให้สามารถเกิดเป็นพันธะไฮโดรเจนได้สูงมากเพราะ Terpene phenolic resin และ Petroleum resin เป็นสารที่มีไฮโดรเจนและออกซิเจนเป็นองค์ประกอบสามารถเกิด พันธะไฮโดรเจนกับเนื้อไม้ที่เป็นเซลลูโลสได้และถ้ายังมีปริมาณมากขึ้นก็จะสามารถเกิดพันธะ ไฮโดรเจนได้มากขึ้น ส่งผลให้ความแข็งแรงของการติดประสานเพิ่มขึ้นด้วย แต่การใส่สารเพิ่มการ ยึดติดสามารถใส่ได้ในปริมาณที่จำกัดเพราะจะทำให้กาวที่เตรียมได้เสียสภาพ โดย Petroleum resin สามารถใส่ได้ในปริมาณสูงสุด 45 phr ในขณะที่ Terpene phenolic resin ใส่ได้ถึง 60 phr และ ยังมีแนวโน้มน้ำที่สามารถใส่เพิ่มได้อีก จากการทดลองกาวที่ยึด Terpene phenolic resin 60 phr ให้ค่าความต้านแรงเฉือนสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับกาวยางสูตรอื่นๆ ซึ่งรวมถึงกาวที่มีส่วนผสม ของแป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ และกาวยางที่มีส่วนผสมของคิวมาโรนอีมีลชัน

เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของอรสา ภักตร์ไพญญ์ชัย และเรวดี แต่งเกลี้ยง [44] ที่ผลิตกาวจากน้ำยางชัน พบว่าความต้านแรงเฉือนของกาวที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดมีค่าเท่ากับ $0.69 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ ซึ่งค่าที่ได้นี้น้อยกว่ากาวที่ผลิตจากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซดีที่ไม่ผสมสารเพิ่มการ ยึดติดมีค่าแรงเฉือนเท่ากับ $2.85 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการผลิตกาวโดยเลือกใช้น้ำยางพาราเป็น วัตถุดิบจะดีกว่าการใช้ยางแห้ง เนื่องจากกาวที่ผลิตได้จะมีสมบัติด้านการยึดติดที่ดีกว่า อย่างไรก็ตามงานวิจัยชิ้นนี้ไม่สามารถทดสอบความต้านแรงลอกหลังการแช่น้ำของกาวทุกชนิดได้เนื่องจาก การเกิดการหลุดล่อนของกาวและไม้หลังการแช่น้ำ

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

ส่วนที่ 1 สรุปผลตามขอบเขตงานวิจัยโดยใช้ Coumarone resin และแป้งข้าวเหนียว

เจลาตินไนซ์ เป็นส่วนผสมร่วมในกาวน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์

1. การเตรียมยางธรรมชาติอีพอกไซด์จากการทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน พบว่าปริมาณหมู่อีพอกไซด์ที่เกิดขึ้นบนโมเลกุลยางธรรมชาติเพิ่มขึ้นตามเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา และค่า Tg ของยางธรรมชาติอีพอกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณหมู่อีพอกไซด์

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

3. การศึกษาผลของเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซด์ต่อความต้านแรงเหนียวเพื่อใช้ในการเลือกเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซด์ที่เหมาะสมในการเตรียมกาวยาง พบว่าเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซด์ที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ 44% โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน 6 ชั่วโมง ซึ่งที่สภาวะดังกล่าวเป็นสภาวะในการทดลองเพื่อให้ได้น้ำยางธรรมชาติที่มีคุณสมบัติในการนำมาออกสูตรกาวยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่ให้สมบัติความเป็นกาวดีที่สุดในงานวิจัยชิ้นนี้

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 การเปลี่ยนใบพัดที่ใช้สำหรับกวนให้มีขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อความเข้ากันได้ของสารเคมีที่ใช้ 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. การปรับปรุงและพัฒนาอย่างธรรมชาติเพื่อใช้เป็นวัสดุกาว. สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ, คณะพลังงานและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- [6] วราภรณ์ ขจรไชยกูล. 2525. น้ายาง. 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. ทุนอุดหนุนจากงบประมาณแผ่นดินประจำปี 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-ไอโซไซยาเนต 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 แซ่ลิ่ม. 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
<p>1. ให้ได้ผลิตภัณฑ์กาวจากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์สำหรับใช้ในงานติดไม้ยางพาราที่มีคุณสมบัติเชิงเคมี ฟิสิกส์ และเชิงกลตามมาตรฐานอุตสาหกรรมกาว โดยใช้สารเพิ่มความเหนียว Coumarone resin และ แป้งข้าวเหนียวเจลาติโนซ์ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์กาว</p> <p>2. ทดสอบคุณภาพเชิงเปรียบเทียบของรอยต่อไม้ยางพาราด้วยกาวที่ผลิตได้จากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์กับกาวที่ใช้ในโรงงานเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา</p>	<p>1. ติดตั้งและทดสอบอุปกรณ์และเครื่องมือถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์</p> <p>2. ผลิตน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ให้ได้ปริมาณหม้ออีพอกไซด์ที่ต่างกัน 2 ค่า โดยการปรับเปลี่ยนเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา</p> <p>3. วิเคราะห์หาปริมาณหม้ออีพอกไซด์ด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี</p> <p>4. วิเคราะห์และสรุปผลการผลิตน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์</p>	<p>1. นำอุปกรณ์และเครื่องมือถึงอุปกรณ์ที่ภาควิชาามีมาปรับปรุงใช้โดยไม่ต้องจัดซื้อครุภัณฑ์ใหม่</p> <p>2. สามารถผลิตน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ให้ได้ ปริมาณหม้ออีพอกไซด์ที่ต่างกัน 2 ค่า</p> <p>3. สามารถวิเคราะห์ปริมาณหม้ออีพอกไซด์ 2 เทคนิคคือเทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี และเทคนิค H-NMR</p> <p>4. วิเคราะห์และสรุปผลการผลิตน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์</p>	<p>1. ประหยัดงบประมาณ</p> <p>2. ผลิตน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ให้ได้ปริมาณหม้ออีพอกไซด์ที่ต่างกันเกิน 2 ค่า นำมาวิเคราะห์ผลน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่ให้ผลดีที่สุดในการทำกาวคือ 44 % โมลอีพอกไซด์</p> <p>3. การวิเคราะห์ปริมาณหม้ออีพอกไซด์ด้วยเทคนิค H-NMR ให้ผลแม่นยำจึงเลือกใช้วิธีนี้ตลอดงานวิจัย</p> <p>4. ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ในการทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันพบว่าปริมาณหม้ออีพอกไซด์ที่เกิดขึ้นบนโมเลกุลยางธรรมชาติเพิ่มขึ้นตามเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา และค่า Tg ของยางธรรมชาติอีพอกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณหม้ออีพอกไซด์</p>

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

วัตถุประสงค์	กิจกรรมที่วางแผน	กิจกรรมที่ดำเนินการ	ผลที่ได้รับจากงานวิจัย
<p>1. ให้ได้ผลิตภัณฑ์กาวจากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซค์สำหรับใช้ในงานติดไม้ยางพาราที่มีคุณสมบัติเชิงเคมี ฟิสิกส์ และเชิงกลตามมาตรฐานอุตสาหกรรมกาว โดยใช้สารเพิ่มความเหนียว Coumarone resin และ แป้งข้าวเหนียวเจลาตินในขั้นตอนการพัฒนาผลิตภัณฑ์กาว</p> <p>2. ทดสอบคุณภาพเชิงเปรียบเทียบของรอยต่อไม้ยางพาราด้วยกาวที่ผลิตได้จากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซค์กับกาวที่ใช้ในโรงงานเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา</p>	<p>7. ทดสอบคุณสมบัติเชิงเคมี ฟิสิกส์ ของกาวที่ผลิตได้ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมกาวสำหรับไม้</p>	<p>7. ทดสอบคุณสมบัติเชิงเคมี ฟิสิกส์ ของกาวที่ผลิตได้ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมกาวสำหรับไม้ 4 คุณสมบัติตามที่ระบุ ยกเว้นกรณีค่าความต้านแรงลอกและค่าความต้านแรงเฉือนหลังการแช่น้ำ เมื่อทดสอบโดยการนำชิ้นทดสอบไปแช่น้ำนาน 24 ชั่วโมง พบว่าชิ้นทดสอบที่ติดด้วยกาวยางทุกสูตรเกิดการหลุดร่อนออก จึงไม่สามารถทดสอบได้</p> <p>1. กรณี Coumarone เนื่องจากกาวหลุดเป็นแผ่นตลอดทั้งแนวเมื่อแช่น้ำดังนั้นความยาวของการหลุดลอกของแนวกาวมีค่าเท่ากับ ความยาวของระยะทากาวทั้งชิ้นทดสอบสรุปเปอร์เซ็นต์การหลุดลอกของกาวมีค่า 100% จึงไม่ขอทดสอบต่อไป</p> <p>2. กรณีแป้งข้าวเหนียวเจลาตินในซ์ ไม่สามารถมองเห็นแนวกาว คล้ายเกิดการเปลี่ยนรูปเป็นของไหลเหนียว</p>	<p>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</p>

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

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

วัตถุประสงค์	กิจกรรมที่วางแผน	กิจกรรมที่ดำเนินการ	ผลที่ได้รับจากงานวิจัย
<p>1. ให้ได้ผลิตภัณฑ์กาวจากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์สำหรับใช้ในงานติดไม้ยางพาราที่มีคุณสมบัติเชิงเคมี ฟิสิกส์ และเชิงกลตามมาตรฐานอุตสาหกรรมกาว โดยใช้สารเพิ่มความเหนียว Coumarone resin และ แป้งข้าวเหนียวเจลาตินไนซ์ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์กาว</p> <p>2. ทดสอบคุณภาพเชิงเปรียบเทียบของรอยต่อไม้ยางพาราด้วยกาวที่ผลิตได้จากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์กับกาวที่ใช้ในโรงงานเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา</p>	<p>9. ทดสอบคุณภาพรอยต่อของกาวที่ผลิตได้จากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์กับรอยต่อไม้ยางพารา</p> <p>10. เปรียบเทียบประสิทธิภาพ และคุณสมบัติต่างๆ กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ และกาวไอโซไซยานเนตกับกาวจากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์</p>	<p>9. ทดสอบคุณภาพรอยต่อของกาวที่ผลิตได้จากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์กับรอยต่อไม้ยางพาราทดสอบ โดยทดสอบความแข็งแรงของรอยต่อเพียง 1 รูปแบบคือการต่อแบบ Finger joint ด้วยการทดสอบ 2 อย่างคือ</p> <p>1. การดึงขนานเสี้ยน (Tension parallel to grain) (AITC Test 106, 1967)</p> <p>2. การดัดสถิตย (Static bending) (ASTM 1989a)</p>	<p>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</p>

วัตถุประสงค์	กิจกรรมที่วางแผน	กิจกรรมที่ดำเนินการ	ผลที่ได้รับจากงานวิจัย
<p>1. ให้ได้ผลิตภัณฑ์กาวจากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซค์สำหรับใช้ในงานติดไม้ยางพาราที่มีคุณสมบัติเชิงเคมี ฟิสิกส์ และเชิงกลตามมาตรฐานอุตสาหกรรมกาว โดยใช้สารเพิ่มความเหนียว Coumarone resin และ แป้งข้าวเหนียวเจลาตินในขั้นตอนการพัฒนาผลิตภัณฑ์กาว</p> <p>2. ทดสอบคุณภาพเชิงเปรียบเทียบของรอยต่อไม้ยางพาราด้วยกาวที่ผลิตได้จากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซค์กับกาวที่ใช้ในโรงงานเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา</p>	<p>10. เปรียบเทียบประสิทธิภาพ และคุณสมบัติต่างๆ กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ และกาวไอโซไซยานเนตกับกาวจากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซค์</p>	<p>10. เปรียบเทียบประสิทธิภาพ และคุณสมบัติต่างๆ กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ และ TOA (กาวโพลีไวนิลอะซีเตต) กับกาวจากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซค์</p>	<p>10. มีค่าใกล้เคียงกับกาว TOA ซึ่งเป็นกาวที่ใช้สำหรับติดไม้ จึงมีความเป็นไปได้สูงในการพัฒนาชนิดนี้ให้ใช้งานในอุตสาหกรรม แต่ยังมีประสิทธิภาพด้อยกว่ากาว ยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ แต่อย่างไรก็ตามกาวที่เตรียมได้ไม่สามารถวัดค่าความต้านแรงลอกและค่าความต้านแรงฉีกหลังการแช่น้ำตามมาตรฐานได้ เนื่องจากเมื่อนำชิ้นทดสอบไปแช่น้ำนาน 24 ชั่วโมง พบว่าชิ้นทดสอบที่ติดด้วยกาวยางทุกสูตรเกิดการหลุดร่อนออก</p>

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