

ภาพประกอบที่ 22 แสดงการบวม การแตกตัว และการกระจายตัวของกรานูลเป็นขยะเกิดเจล [35]

การใช้แป้งข้าวเหนียวเติมลงไปในการน้ำยาหงที่ 30 phr [36] เมื่อทดลองนำไปติดระหว่างกระดาษขาวกับกระดาษขาว และกระดาษน้ำตาลกับกระดาษน้ำตาลให้สมบัติแรงดึงการสูงสุด ช่วยในการเหนี่ยวนำติดดี แต่เมื่อทดลองนำไปติดระหว่างผ้ากับผ้าจะต้องใช้แป้งข้าวเหนียวเติมลงไปในการน้ำยาหงที่ 50 phr จึงจะให้ผลดี สารช่วยเสริมแรงการน้ำยาหงที่ให้ผลดีของจากแป้งข้าวเหนียว คือ แป้งข้าวโพด ผสมที่ 30 phr และถึงแม่จะเพิ่มระดับความเข้มข้นของสารเสริมแรงการน้ำยาหงที่ไม่ได้ให้ผลที่ดีขึ้น และการน้ำยาหงที่เติมสารเสริมแรงการน้ำยาหงนี้สามารถเก็บไว้ได้นานประมาณ 5 เดือน โดยที่ไม่ทำให้สมบัติแรงดึงการเปลี่ยนแปลง แต่เมื่อเริ่มเดือนที่ 6 การน้ำยาหงจะเกิดการเสื่อมสภาพสมบัติแรงดึงการจะลดลง สำหรับแป้งสาลีจะเป็นสารเสริมแรงการน้ำยาหงที่เมื่อเติมลงไปในการน้ำแล้วจะทำให้การน้ำยาหงเกิดการเสียสภาพ ซึ่งเกิดการจับเป็นก้อนและมีสมบัติช่วยเสริมแรงการน้ำยาหงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

กล่าวโดยสรุป งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาถึงชนิดและปริมาณของสารเพิ่มการยึดติดตามขอบเขตงานวิจัยคือ แป้งข้าวเหนียวเจลคลาดีไนซ์และคิวมาโนนอิมลชัน ที่มีต่อการยาง โดยทำการทดสอบคุณสมบัติของการที่เตรียมได้ในรูปของการเหลวหรือการก่อนที่จะแข็งตัว เป็นการทดสอบเนื้อหา ได้แก่ การหาปริมาณเนื้อหา ความหนืด ความหนาแน่น และความเป็นกรด-ด่าง และการทดสอบการที่แข็งตัวอย่างสมบูรณ์ เพื่อทดสอบแรงยึดติดของการกับไม้ยางพารา ได้แก่ การทดสอบความต้านแรงลอก (Cleavage peel strength) ความต้านแรงเฉือน (Shear strength) การดึงนานเสี้ยน (Tension parallel to grain) และการดัดสอดดิบ (Static bending) และทำการศึกษาเพิ่มเติมนอกขอบเขตงานวิจัยโดยใช้ Petroleum resin, Terpene phenolic resin, และ ชัน (Dammar) เป็นส่วนผสมร่วม

## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาเกี่ยวกับการออกสูตรกาวจากน้ำยาหัตถกรรมชาติ

ในปี พ.ศ. 2541 วราภรณ์ ชจร ไชยกุล และคณะ [20] ทำการศึกษาหาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตกาวยางจากยางแห้งเพื่อใช้งานทั่วไป โดยทดลองบดผสมยางกับสารเคมีต่างๆ ตามสูตรพื้นฐานและใส่สารเพิ่มความเหนียวซึ่งสารเพิ่มความเหนียวที่ใช้ในการทดลองได้แก่ ฟโนลิกเรชินและโซเดียม โพลีอะคริเลท โดยปรับปรุงของสารเพิ่มความเหนียวคือ 10, 20, 30 และ 40 ส่วนในยาง 100 ส่วน แล้วนำไปปลายในตัวทำละลายได้แก่ เบนซิน โกลูอิน และเซคล์โซล ในปริมาณ 600 และ 800 มิลลิลิตร นำกาวยางที่ได้ไปทดลองติดระหว่างกระดาษ 70 แกรมกับกระดาษ 70 แกรม กระดาษแข็งเทา-ขาว กับกระดาษแข็งเทา-ขาว และระหว่างผ้ากันผ้า พบร่วมสูตรกาวยางจากยางแห้งเพื่อใช้งานทั่วไปที่เหมาะสมคือ สูตรพื้นฐานที่มีการใส่สารเพิ่มความเหนียวฟโนลิกเรชิน 40 ส่วนต่อยาง 100 ส่วน แล้วนำไปปลายในตัวทำละลายบนชิ้นปริมาณ 600 มิลลิลิตร กาวยางจากยางแห้งที่ได้จะให้สมบัติความเหนียวในการติดระหว่างผ้ากันผ้าดีที่สุด รองลงไปคือระหว่างกระดาษเทา-ขาวกับกระดาษแข็งเทา-ขาว

วราภรณ์ ชจร ไชยกุล และคณะ [18] ทำการศึกษาหาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตกาวยางจากน้ำยาหัตถกรรมเพื่อใช้ในงานทั่วไป โดยทดลองผสมน้ำยาหัตถกรรมชาติกับสารเคมีต่างๆ ตามสูตรพื้นฐาน บ่มให้น้ำยาหัตถกรรมสารเคมีเกิดการคงรูปบางส่วนแล้วใส่สารเพิ่มความเหนียวโซเดียม โพลีอะคริเลทในปริมาณต่างๆ คือ 20, 30, 40 และ 50 ส่วน ต่อน้ำยาห 167 ส่วน นำกาวยางจากน้ำยาหัตถกรรมชาติที่ได้ไปทดลองติดระหว่างกระดาษบาง 70 แกรมกับกระดาษบาง 70 แกรม กระดาษหนา 100 แกรมกับกระดาษหนา 100 แกรม และระหว่างผ้าขาวกับผ้าขาวทดสอบสมบัติแรงดึงการเปรียบเทียบกับสูตรพื้นฐานที่ยังไม่ได้ใส่สารเพิ่มความเหนียว และเปรียบเทียบกับกาวลาเท็กซ์ที่มีจำหน่ายในห้องทดลอง พบร่วมสูตรกาวยางจากน้ำยาหัตถกรรมเพื่อใช้ในงานทั่วไปที่เหมาะสมคือ สูตรพื้นฐานที่มีการใส่สารเพิ่มความเหนียวโซเดียม โพลีอะคริเลทปริมาณ 50 ส่วนต่อน้ำยาห 167 ส่วน กาวยางที่ได้จะให้สมบัติความเหนียวในการติดระหว่างผ้ากันผ้าดีที่สุดรองลงไปคือ การติดระหว่างกระดาษหนา 100 แกรมกับกระดาษหนา 100 แกรม และกระดาษบาง 70 แกรมกับกระดาษบาง 70 แกรม ตามลำดับ

ในปี พ.ศ. 2537 วราภรณ์ ชจร ไชยกุล และวิภา เศวตgnนิษฐ์ [36] ทำการศึกษาการนำสารอื่นมาผสมในน้ำยาหัตถกรรมเพื่อเสริมความแข็งแรงให้แก่กาวจากน้ำยาหัตถกรรมและช่วยลดข้อเสียของกาวจากน้ำยาหัตถกรรมที่จะทำให้ลื่นของหดตัว และเกิดความแข็งแรงในการยึดติดช้าด้วยซึ่งสารที่นำมาทดลองใช้ได้แก่ แป้งมัน แป้งข้าวโพด แป้งข้าวเหนียว และแป้งสาลี โดยเติมลงในสูตรกาวน้ำยาหัตถกรรมพื้นฐาน ซึ่งได้เจือจากปริมาณของแป้งทั้งหมด 50% และปรับปริมาณของแป้งทั้ง 4 ชนิดที่เติมลงในการน้ำยาหัตถกรรมคือ 30, 50, 70 และ 90 ส่วนในยาง 100 ส่วน (phr) ทดสอบแรงดึงการ

โดยทดสอบติดการน้ำยาทางทุกสูตรระหว่างผ้ากับผ้า กระดาษขาวกับกระดาษขาว และกระดาษน้ำตาลกับกระดาษน้ำตาล เมื่อการน้ำยาทางมีอายุ 7 วัน, 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 เดือน และเปรียบเทียบกับตัวควบคุมคือ การน้ำยาทางที่ไม่ได้เติมสารที่ไม่ได้เติมสารเสริมแรงการน้ำยาทาง ผลการทดลองพบว่า แป้งข้าวเหนียวที่เติมลงไปในการน้ำยาทางที่ระดับความเข้มข้น 30 ส่วนในยา 100 ส่วน เมื่อทดลองนำไปติดระหว่างกระดาษขาวกับกระดาษขาว และกระดาษน้ำตาลกับกระดาษน้ำตาล ดีที่สุดคือให้สมบัติแรงดึงการสูงสุดและช่วยให้การเหนียวติดดี แต่เมื่อทดลองนำไปติดระหว่างผ้ากับผ้า จะต้องใช้แป้งข้าวเหนียวเติมลงไปในการน้ำยาทางที่ระดับความเข้มข้น 50 phr จึงจะให้ผลดีสารช่วยเสริมแรงการน้ำยาทางที่ให้ผลดีร่องจากแป้งข้าวเหนียวคือ แป้งข้าวโพดที่ระดับความเข้มข้น 30 phr และถึงแม้จะเพิ่มระดับความเข้มข้นของสารเสริมแรงการน้ำยาทางก็ไม่ได้ให้ผลที่ดีขึ้น และการน้ำยาทางที่เติมสารเสริมแรงการน้ำยาทางนี้สามารถเก็บไว้ได้นานประมาณ 5 เดือน โดยที่ไม่ให้สมบัติแรงดึงการเปลี่ยนแปลง แต่เมื่อเริ่มเดือนที่ 6 การน้ำยาทางจะเกิดการเสื่อมสภาพ สมบัติแรงดึงการจะตก降สำหรับแป้งสาลี จะเป็นสารเสริมแรงการน้ำยาทางที่เมื่อเติมลงไปในการน้ำยาทางแล้ว จะทำให้การน้ำยาทางเกิดการเสียสภาพ เกิดการจับเป็นก้อนและมีสมบัติช่วยเสริมแรงการน้ำยาทางเพียงเล็กน้อยเท่านั้น สรุปได้ว่าสารเติมแป้งมัน แป้งข้าวโพด แป้งข้าวเหนียว ในปริมาณที่เหมาะสมจะเป็นสารเติมที่ช่วยเสริมแรงให้กับการน้ำยาทาง ได้ดีแต่อาจเสื่อมสภาพเมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลานานกว่า 6 เดือน แต่แป้งสาลีช่วยเสริมแรงการน้ำยาทางเพียงเล็กน้อยและทำให้การน้ำยาทางเกิดการเสียสภาพด้วย

**การศึกษาเกี่ยวกับการเตรียมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องคือ**  
**ในปี พ.ศ. 2544 วัชรินทร์ สายนำ่ใส [7] การศึกษารีเอกทีฟเบลนด์ระหว่างยางธรรมชาติอีพอกไซด์ กับแป้งมันสำปะหลังเตรียมยางธรรมชาติอีพอกไซด์จากการทำปฏิกิริยาน้ำยาทางขันชนิดแอมโมเนียสูงกับกรดฟอร์มิก โดยใช้สปูนชนิดไม่มีประจุเป็นสารเพิ่มความเสียรของน้ำยาทางพบว่าปริมาณหมู่อีพอกไซด์ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและเวลาในการทำปฏิกิริยา ค่าอุณหภูมิคล้ายแก้วองยางธรรมชาติอีพอกไซด์มีค่าสูงกว่ายางธรรมชาติและมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณหมู่อีพอกไซด์ นอกจากนี้พบว่ายางธรรมชาติอีพอกไซด์มีพฤติกรรมการไหลเป็นแบบของไอลซูโดพลาสติก มีค่าความหนืดคุณนี่ ความเค้นเนื้อน ความหนืดเฉือนเพิ่มขึ้นตามปริมาณหมู่อีพอกไซด์บน โนเดกูลของยางธรรมชาติ ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่วัลภาไนซ์ด้วยกำมะถันระบบปกติมีระยะเวลาการวัลภาไนซ์เพิ่มขึ้นตามปริมาณหมู่อีพอกไซด์และความต้านทานต่อการดึงสูงขึ้นตามปริมาณหมู่อีพอกไซด์ จนถึงประมาณ 50 โนลเปอร์เซ็นต์ หลังจากนั้นความต้านทานต่อการดึงมีค่าลดลงอย่างมาก มีค่าความหนืดคุณนี่ ความเค้นเนื้อน ความหนืดเฉือนของพอลิเมอร์เบลนด์ของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ กับแป้งมันสำปะหลังเจลลาร์ไนซ์ปริมาณ 0, 10, 30, 50 และ 75 phr เพิ่มขึ้นตามปริมาณแป้งมันสำปะหลัง และมีพฤติกรรมการไหลแบบของไอลซูโดพลาสติก เช่นเดียวกับคอมปาวด์ของพอลิ-**

เมอร์เบนเดิที่วัลค่าไนซ์ด้วยกำมะถันระบบปกติมีระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้สั้นลงแต่ระยะเวลาการวัลค่าไนซ์ยาวขึ้นตามปริมาณแป้งมันสำปะหลัง ความต้านทานต่อการดึงสูงขึ้นตามปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้นจนถึงปริมาณ 50 phr หลังจากนั้นความต้านทานต่อการดึงมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ส่วนค่ามอคูลัสและความต้านทานต่อการฉีกขาดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ความสามารถในการยึดจันขาดมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณแป้งมันสำปะหลัง

#### การศึกษาเกี่ยวกับข้อต่อไม้ยางพารามีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องคือ

ในปี พ.ศ. 2542 วรชรธรรม และจรัส [37] สรุปว่าการอีมัลชั่นโพลีเมอร์ริค ไอโซไซยาเนต (EPI) ที่ทดสอบเป็นการที่มีความทนทานต่อสภาพบ่มนำเดือดร้อนแรงได้พอสมควร โดยมีไม้ยางพารา ไม้เรดเคอร์ ไม้สัก และไม้บีช ให้ค่าความแข็งแรงของรอยต่อเกียวยูในเกณฑ์ของมาตรฐาน DIN EN 204 ประเภทความทนทาน ชั้น D4 ซึ่งสูงกว่ากาว PVAc ที่มีประเภทความทนทานเพียงชั้น D2 เท่านั้น ส่วนคุณภาพของการยึดเหนี่ยวของกาวกับไม้นั้นนอกจากจะขึ้นอยู่กับคุณภาพของกาวที่ใช้ต่างแหล่งและต่างชนิดกันแล้ว ยังขึ้นอยู่กับคุณภาพของพื้นผิวน้ำหน้าของไม้แต่ละชนิดด้วย ดังเช่นผลของการติดกาว EPI กับไม้ประดู่ ไม้อ๊อก และไม้สนล่า ที่ให้ค่าความแข็งของรอยต่อเกียวยูกว่าชนิดอื่น

ในปี ค.ศ. 2005 Ismail Aydin และ Gursel Colakoglu [38] ได้ทำการศึกษาการนำบัดก่อนทำการทดลองด้วยสารเคมีเพื่อนำไปใช้กับพื้นผิวที่เป็นไม้เป็นที่นิยมกันอย่างกว้างขวาง เพื่อจะปรับปรุงความสามารถในการเชื่อมพื้นที่ ความทนทานต่อน้ำและความว่องไวในการเกิดพันธะระหว่างกาวกับไม้ นอกเหนือจากการหุงเค็ม วิธีการเตรียมตัวอย่างทางกายภาพบางอย่าง เช่น การขัดกระดาษทราย การใส่ด้ายกนิ่ม ไม่สามารถปั๊มหายที่เกี่ยวกับการยึดเกาะและเป็นการปรับปรุงการเชื่อมพันธะกันระหว่างไม้กับกาว ในการศึกษาระดับนี้จะใช้ไม้อัดที่ได้มาจากการอบด้วยไอน้ำ ลักษณะกลมที่มีความหนา 2 มิลลิเมตรเป็นวัตถุคุณภาพน้ำหนักน้ำไม้มากับที่วิธี air-drying และ oven-drying หลังจากการอบแล้วผิวน้ำหน้าของไม้บางส่วนจะถูกนำไปขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 100 และ 180 กริต ชั้นทึ้งสามของไม้อัดทั้งที่ขัดและไม้อัดด้วยกระดาษทราย โดยมีการยึดติดด้วยกาวyuเรียฟอร์มอลดีไฮด์และฟินอลฟอร์มอลดีไฮด์เรซินเพื่อศึกษาถึงผลของการขัดด้วยกระดาษทรายต่อลักษณะทางกายภาพของมัน และยังได้มีการศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าไฟอุช ความหมายของพื้นผิวและความเปียกของการยึดติดของการ ความเปียกของไม้อัด สามารถศึกษาได้โดยการวัดมุมล้มผัสตามวิธี sessile drop ซึ่งคุณสมบัติของไม้อัดที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ศึกษาหลังผ่านกระบวนการขัดด้วยกระดาษทราย ค่าความแข็งแรงของแรงเฉือนและแรงดัดโค้งของไม้อัดที่ขัดด้วยกระดาษทรายแล้วและไม่ขัดซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดของการและวิธีการอบไม้อัด

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

แพร่ของสารประกอบเรซินเข้าไปในผนังเซลล์ซึ่งแบ่งเป็นสองระบบ คือระบบฟิโนลฟอร์มาลดีไฮด์ (PF) และพอลิเมอริก เมทิลีนไดฟินิลไดไอโซไซยาเนต (pMDI) ตามลำดับ การหาค่าการแพร่สามารถสังเกตได้จากแถบคุณภาพลักษณะอัลตราไวโอลেตของเรซินทั้งสองชนิด ซึ่งผลของการแพร่ของเรซินเข้าไปในผนังเซลล์ต่อคุณสมบัติทางกายภาพสามารถประเมินได้จาก nanoidentation ซึ่งจะแสดงปริมาณ เรซินชนิดระบบฟิโนลฟอร์มาลดีไฮด์ ที่แพร่เข้าไปในผนังเซลล์แต่ไม่สามารถตรวจพบสารประกอบพอลิเมอริก เมทิลีนไดฟินิลไดไอโซไซยาเนต จากการตรวจสอบสารยึดติดทั้งสองพบว่าผนังเซลล์ที่มีพื้นผิวที่ติดกันแล้วจะถูกทำลายในระหว่างการใส ส่วนการแพร่ของสารประกอบเรซินเข้าไปในผนังเซลล์ที่ไม่ถูกทำลายค่าโมดูลัสจะไม่เปลี่ยนแต่จะเพิ่มค่าความแข็งของผนังเซลล์ กับการซึ่งผนังเซลล์ถูกทำลายเนื่องจากการใสส่งผลให้ค่าความแข็งและค่าโมดูลัสลดลง สรุปได้ว่าเพื่อจะให้ได้การเขื่อนพันธะที่ดีดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการในโครงสร้างของไม้ให้ลึกเพียงพอเพื่อจะได้ไม่ทำลายผนังเซลล์

## บทที่ 3

### วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการ

#### 3.1 สารเคมี

##### 3.1.1 สารเคมีสำหรับเตรียมน้ำยาฆ่าเชื้อพอกใช้ด้วย

- น้ำยาขันนิดแเอนโนมเนียสูง  
(HA Latex, บริษัทไทยรับเบอร์ลามีกซ์กรุ๊ป 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 สารเคมีสำหรับเตรียมภาวะ

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

### 3.1.3 สารเคมีสำหรับเตรียมสารเพิ่มการยึดติด

- สารเพิ่มการยึดติดตามขอบเขตการวิจัย

1. แป้งข้าวเหนียว (ชนิดไม่น้ำ ตราช้างทะเล)

2. กิวมาโรน อินเดน เรซิน (Coumarone indene resin)

- สารเพิ่มการยึดติดนอกขอบเขตการวิจัย

1. Petroleum resin

2. Terpene phenolic resin

3. ชัน (Dammar)

- โกลูอิน (99.5%, A.R.Grade, Lab-Scan)

- กรด โอลิอิก

- พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol, PVA )

## 3.2 อุปกรณ์

**3.2.1 ปฏิกรณ์ (Reactor)** เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมน้ำยาหง蓉ชาติอีพอก-ไซด์ แสดงดังภาพประกอบที่ 23 ประกอบด้วย

- ขวดแก้วขนาดความจุ 5 ลิตร สำหรับทำปฏิกริยา

- ชุดใบพัดกวนต่อเข้ากับมอเตอร์

- อ่างน้ำร้อน (Water bath) สำหรับความคุณอุณหภูมิ สามารถปรับอุณหภูมิในอ่างน้ำ

ได้สูงสุด 110 องศาเซลเซียส



ภาพประกอบที่ 23 แสดงชุดอุปกรณ์สำหรับเตรียมน้ำยาหง蓉ชาติอีพอกไซด์

### 3.2.2 เครื่องฟูเรียร์ทรายสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared spectrophotometer, FT-IR)

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



ภาพประกอบที่ 24 แสดงเครื่องฟูเรียร์ทรายสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

### 3.2.3 เครื่องดิฟเฟอร์เรนเชียลสแกนนิ่งแคลลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter, DSC)

ใช้ศึกษาสมบัติค้านความร้อนของสาร ซึ่งสามารถดูอุณหภูมิให้ต่าง เพื่อหาค่าอุณหภูมิค้ำยแก้ว (Glass transition temperature, Tg) โดยใช้ในไตรเจนเหลว ลักษณะของเครื่องแสดงดังภาพประกอบที่ 25



ภาพประกอบที่ 25 แสดงเครื่องดิฟเฟอร์เรนเชียลสแกนนิ่งแคลลอริมิเตอร์

### 3.2.4 เครื่องทดสอบสมบัติค้านการดึง (Universal testing machine)

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



ภาพประกอบที่ 26 แสดงเครื่องทดสอบสมบัติค้านการดึง

### 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 ลักษณะของเครื่องแสดงดังภาพประกอบที่ 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 % โดยนำหนักแล้วเติมลงในปฏิกิริษาน้ำที่มีเครื่องกวน ปรับอุณหภูมิให้ได้ 50 องศาเซลเซียส แล้วเติมสบู่ Teric N30 เข้มข้น 10% โดยนำหนักเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำยางจับตัว กวนให้เข้ากันประมาณ 20 นาที เติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และกรดฟอร์มิกแล้วปล่อยให้เกิดปฏิกิริยา 9 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างประมาณ 10 มิลลิลิตร เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณหมู่อีพอกไซด์ด้วยเครื่องอินฟราเรด สเปกโตรโฟโต มิเตอร์ (FT-IR) และค่าอุณหภูมิคล้ายแก้วด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ โดยนำตัวอย่างที่ได้ไปจับตัวด้วยเมทานอล รีดให้เป็นแผ่นบางๆ ล้างด้วยน้ำ หลายๆ ครั้ง หลังจากนั้นนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 36 ชั่วโมง

นำน้ำยางชรรมชาติอีพอกไซด์ที่ได้ไปปั่นโดยเครื่องหมุนเหวี่ยงที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส ความเร็ว 7,000 - 8,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาทีเพื่อปรับค่า DRC ให้เป็น 60% โดยนำหนัก 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 การวิเคราะห์สมบัติของน้ำยางชรرمชาติอีพอกไซด์

#### 3.3.2.1 การวิเคราะห์ปริมาณหมู่อีพอกไซด์

นำตัวอย่างน้ำยางชรرمชาติอีพอกไซด์ที่แห้งประมาณ 2 กรัม มาตัดเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วละลายในคลอโรฟอร์มในหลอดทดลองขนาดกลาง ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 1 คืน หรือจนยางเกิดลักษณะเจล หลังจากนั้นนำเจลที่ได้ไปทาเป็นแผ่นฟิล์มบางๆบนเซลล์โพแทสเซียมไบโรมีต์ ( $KBr$ ) นำไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จนกระหั่งตัวทำลายระเหยหมด จึงนำไปวิเคราะห์หาปริมาณหมู่อีพอกไซด์ด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโตร ไฟโตมิเตอร์ (FT-IR) และเทคนิคแมกนีติก เรโซแนซансสเปกโตรสโคป ( $^1H-NMR$ )

#### 3.3.2.2 การวิเคราะห์สมบัติเชิงความร้อน

นำตัวอย่างน้ำยางชรرمชาติอีพอกไซด์ที่แห้งแล้วประมาณ 10 มิลลิกรัม บรรจุลงในเซลล์อลูминีเนียม และนำໄปวางในตำแหน่งวางเซลล์ของเครื่องดิฟเฟอร์เรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (DSC) ทำการทดลองภายใต้สภาวะบรรยายกาศในไตรเจน โดยใช้ในไตรเจนแหล่งเป็นสารหล่อเย็น เพื่อลดอุณหภูมิของตัวอย่างลงจนมีอุณหภูมิต่ำกว่าค่าอุณหภูมิก้าวย่างก้าวของยางชรرمชาติ คงที่ที่อุณหภูมนี้ไว้ 10 นาที ให้ความร้อนแก่ตัวอย่างยางด้วยอัตราคงที่ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที บันทึกค่าอุณหภูมิก้าวย่างก้าวของยางตัวอย่างที่ได้

### 3.3.3 การเตรียมสารเคมีสำหรับกาว

วิงสเตอร์ แอลด์ 50% โดยน้ำหนัก (สารป้องกันการเสื่อมสภาพ)

ไททาเนียม ไดออกไซด์ 50% โดยน้ำหนัก (สารให้สีขาว)

ซิงค์ออกไซด์ 50% โดยน้ำหนัก (สารกระตุ้น)

แซดดิลีซี 50% โดยน้ำหนัก (สารเร่งปฏิกิริยาให้ย่างคงรูป)

กำมะถัน 50% โดยน้ำหนัก (สารทำให้ย่างคงรูป)

สารเคมีที่ใช้ผสมกับการย่างจะใช้ในรูปของดิสเพลสชัน โดยสารเคมีที่ใช้ 50 กรัมต่อน้ำ 48 กรัมต่อสารช่วยในการกระจาย 2 กรัม นำไปบดอย่างเครื่องบดมิลเป็นเวลา 48 ชั่วโมง ยกเว้น กำมะถันที่ต้องบดอยู่เป็นเวลา 72 ชั่วโมง

### 3.3.4 การเตรียมสารเพิ่มการยึดติด

#### 1. แป้งข้าวเหนียวเจลلاتีไนซ์

เตรียมแป้งข้าวเหนียวเจลلاتีไนซ์ 5, 10 และ 15% โดยน้ำหนัก ตัวอย่างการเตรียม แป้งข้าวเหนียวเจลلاتีไนซ์ 5% โดยน้ำหนัก ผสมแป้งข้าวเหนียว 5 กรัม กับน้ำกลั่น 95 กรัม ใน บีกเกอร์ ผสมบนเครื่องให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

#### 2. คิวมาโน่นอิมลัชัน (Coumarone emulsion) (ข้อแนะนำโดย รศ. ดร. เจริญ นาครสารค์)

เตรียมในรูปอิมลัชันแสดงดังภาพประกอบที่ 29 โดยประกอบด้วย 4 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนที่ 1

คลายคิวมาโน่น อินเดียน เรชินปริมาณ 40 กรัม ในโถลูอีน 43 กรัม ที่อุณหภูมิห้อง อุ่นในอ่างน้ำร้อนที่ 75 องศาเซลเซียส 25 นาที เติมกรดโอลิอิก 1.4 กรัม โดยการตลดเวลาจะได้สารเคมีส่วนที่ 1 มีสีน้ำตาลใสและเหลว

#### ขั้นตอนที่ 2

คลายโพปแตสเซียมไไฮดรอกไซด์ปริมาณ 0.34 กรัม ในน้ำปริมาณ 1.02 กรัม แล้ว กวนให้เข้ากันจะได้สารเคมีส่วนที่ 2

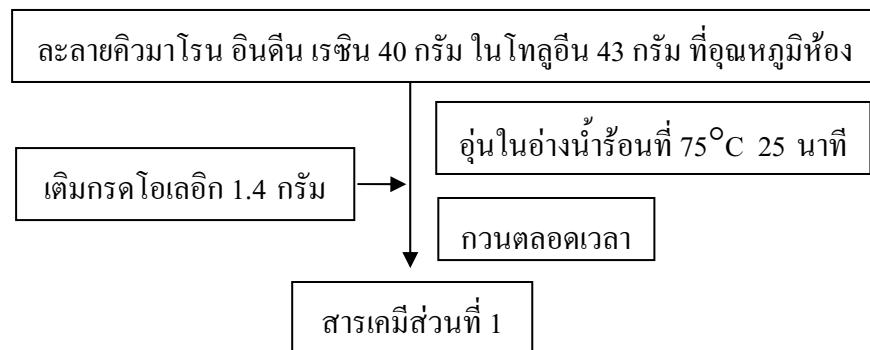
#### ขั้นตอนที่ 3

คลายพอลีไวนิลแอกโกลอชอล์ (MW 93,000 g/mole) ปริมาณ 12 กรัม ในน้ำ ปริมาณ 86 กรัม ให้ความร้อนแล้วกวนให้เข้ากันจนคลายจะได้สารเคมีส่วนที่ 3

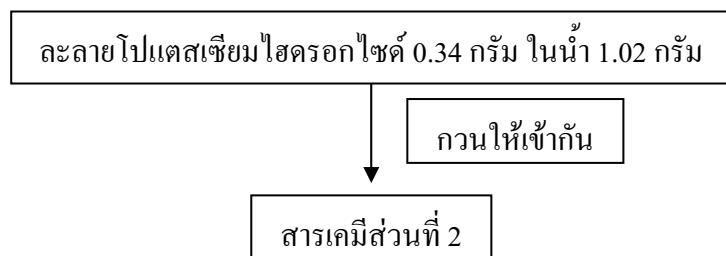
#### ขั้นตอนที่ 4

เตรียมสารเพิ่มการยึดติดในรูปอิมลัชันที่ 75 องศาเซลเซียส โดยนำสารเคมีส่วนที่ 2 หยดผสมกับสารเคมีส่วนที่ 1 อ่างชาๆ สารที่ได้จะเริ่มน้ำ ระหว่างผสมต้องกวนอย่างแรง ตลอดเวลา หลังจากนั้นผสมสารเคมีส่วนที่ 3 จะได้คิวมาโน่นอิมลัชัน

### ขั้นตอนที่ 1



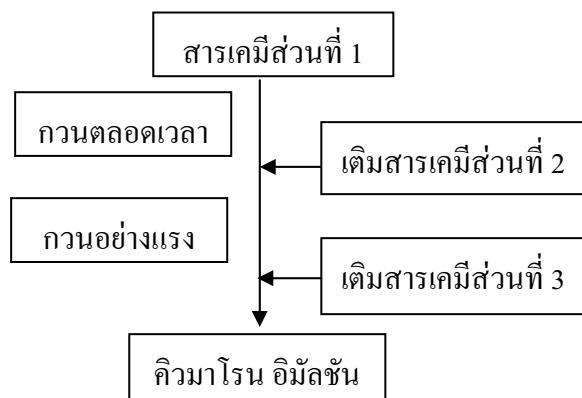
### ขั้นตอนที่ 2



### ขั้นตอนที่ 3



### ขั้นตอนที่ 4



ภาพประกอบที่ 29 แสดงวิธีการเตรียมคิวมาโซนอินมัลชัน (ข้อแนะนำโดย รศ. ดร. เจริญ นาคสวรรค์)

**3. ปิโตรเลียมและเทอร์พีนฟีโนลิกอิมัลชัน (Petroleum and Terpene phenolic emulsion)** เตรียมในรูปอิมัลชัน โดยใช้วิธีการเข่นเดี่ยวกับการเตรียมคิวามiron อิมัลชัน

**4. ชัน (Dammar)** นำไปบดด้วยเครื่อง Ball mills เป็นเวลา 48 ชั่วโมงและผสมตามปริมาณที่กำหนด

### 3.3.5 การเตรียมกาวยาง

ในส่วนการศึกษาเบื้องต้นได้ใช้กาวยางธรรมชาติอีพอกไซด์สูตรพื้นฐานตามสูตร ข้างต้นการผลิตกาวยางจากน้ำยางเพื่อใช้ในงานหัวไป [18] และคงดังตารางที่ 9 โดยเลือกใช้เปอร์เซ็นต์ ไมโลอีพอกไซด์ของน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับเตรียมกาวยางธรรมชาติอีพอกไซด์ และทำการศึกษาปริมาณของสารเพิ่มการยึดติดที่มีผลต่อสมบัติของการจากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ เมื่อได้สัดส่วนของสารเพิ่มการยึดติดที่เหมาะสมได้มีการปรับปรุงกาวยาง สูตรพื้นฐาน โดยใช้ชื่อวากาวยางธรรมชาติ อีพอกไซด์สูตรปรับปรุงแสดงดังตารางที่ 10 โดยมีการเติม Carboxy methyl cellulose (CMC) 5% โดยน้ำหนัก เพื่อเพิ่มความหนืดของกาว Potassium oleate 10% โดยน้ำหนัก เพื่อเพิ่มความเสถียรและ Salicylic acid 15% โดยน้ำหนัก สำหรับการป้องกันเชื้อรา (ข้อแนะนำโดย รศ. ดร. เจริญ นาคสวรรค์)

ตารางที่ 9 แสดงอัตราส่วนของสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมกาวยางธรรมชาติอีพอกไซด์ สูตรพื้นฐาน [18]

สารเคมี	น้ำหนักแห้ง (phr)
60% น้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์	100
10% โป๊เปตแซซิมไอก្រอกไซด์	0.5
50% วิงสเตีย แอล	1.5
50% ไทดานียม ไดออกไซด์	1.5
50% ซิงค์օอกไซด์	2
50% แซดดีอีซี	1
50% กำมะถัน	2
สารเพิ่มการยึดติด ไดเกก แป้งข้าวเหนียวเจลาตินไซด์ และคิวามiron อิมัลชัน	อัตราส่วนต่างๆ
หมายเหตุ % กือ % โดยน้ำหนัก	

### 3.3.6 การทดสอบสมบัติของการยางตามมาตรฐานต่างๆ

(รายละเอียดในบทที่ 2 หัวข้อ 3.5)

- ทดสอบสมบัติของความตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมความงาม (มอก.521-2527) ได้แก่ การหาปริมาณเนื้อ กาว ความหนาแน่น และความหนืด
  - ทดสอบสมบัติของความตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกาวโพลีไวนิล อะซิเทตอินมัลชัน (มอก.181-2530) ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง
  - ทดสอบความต้านแรงลอก (Cleavage peel strength)  
(ASTM D3807) ใช้ชิ้นทดสอบจำนวน 5 ชิ้นต่อหนึ่งตัวอย่าง
  - ทดสอบความต้านแรงเฉือน (Shear strength)  
(ASTM D2339) ใช้ชิ้นทดสอบจำนวน 10 ชิ้นต่อหนึ่งตัวอย่าง
  - ทดสอบความแข็งแรงของรอยต่อแบบนิ่วเมื่อประสาน (ทำการทดสอบเฉพาะกาวสูตรผสมสารเพิ่มการยึดติดที่ให้ค่าความต้านแรงเฉือนสูงสุด)
    1. การดึงนานาเสียง (Tension parallel to grain)  
(AITC Test 106. 1967) ใช้ชิ้นทดสอบจำนวน 10 ชิ้นต่อหนึ่งตัวอย่าง
    2. การดัดสถิตย์ (Static bending)  
(ASTM 1989a) ใช้ชิ้นทดสอบจำนวน 10 ชิ้นต่อหนึ่งตัวอย่าง
- ตารางที่ 10 แสดงอัตราส่วนของสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมกาวยางธรรมชาติอีพอกไซด์ สูตรปรับปรุง

	น้ำหนักแห้ง (phr)
60% น้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์	100
10% โป๊แตสเซียมไฮดรอกไซด์	0.5
50% วิงสเตีย แอล	1.5
50% ไทดานียมไดออกไซด์	1.5
50% ซิงค์օอกไซด์	2
50% แซคดีอีซี	1
50% กำมะถัน	2
5% CMC	3
10% Potassium oleate	3
15% Salicylic acid	0.3
สารเพิ่มการยึดติด ได้แก่ แป้งข้าวเหนียวเจลลาร์ไนซ์ และ คิวามาโนโนอินมัลชัน	อัตราส่วนต่างๆ
หมายเหตุ % คือ % โดยน้ำหนัก	

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์

**ส่วนที่ 1 การรายงานผลตามขอบเขตงานวิจัยโดยใช้ Coumarone resin และแป้งข้าวเหนียว  
เจลلاتีนซ์ เป็นส่วนผสมร่วมในการน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์**

#### 4.1 การวิเคราะห์สมบัติของน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์

##### 4.1.1 ลักษณะและสมบัติทางกายภาพของน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์

น้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่เตรียมได้มีค่าความหนาแน่น และความหนืดเท่ากับ 0.85 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และ 9,750 cps ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับความหนาแน่น และความหนืดของน้ำยางขันที่เท่ากับ 0.91 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และ 9,870 cps ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบสีของน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์กับน้ำยางขัน พนวันน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์มีสีขาวๆุน แต่น้ำยางขันมีสีเหลืองค่อนไปทางน้ำตาลอ่อน ดังแสดงในภาพประกอบที่ 30

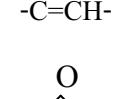


ภาพประกอบที่ 30 แสดงลักษณะน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์จากปฏิกริยาอีพอกซิเดชัน โดยใช้กรดเปอร์ฟอร์มิก (ขวา) และลักษณะน้ำยางขัน (ซ้าย)

#### 4.1.2 ผลของการวิเคราะห์ปริมาณหม้ออีพอกไซด์

จากการทดลองเตรียมน้ำยาของธรรมชาติอีพอกไซด์จากปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน โดยใช้กรดเปอร์ฟอร์มิกทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 ชั่วโมง และเก็บตัวอย่างน้ำยาของธรรมชาติอีพอกไซด์ทุก 1 ชั่วโมง เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณหมู่อีพอกไซด์ด้วยเทคนิคแคมนีติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโคปี ( $^1\text{H-NMR}$ ) และเทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (FT-IR) พบตำแหน่งของหมู่ฟิงก์ชันของยาของธรรมชาติอีพอกไซด์ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของวัชรินทร์สายน้ำใส [7] และคงดังตารางที่ 11

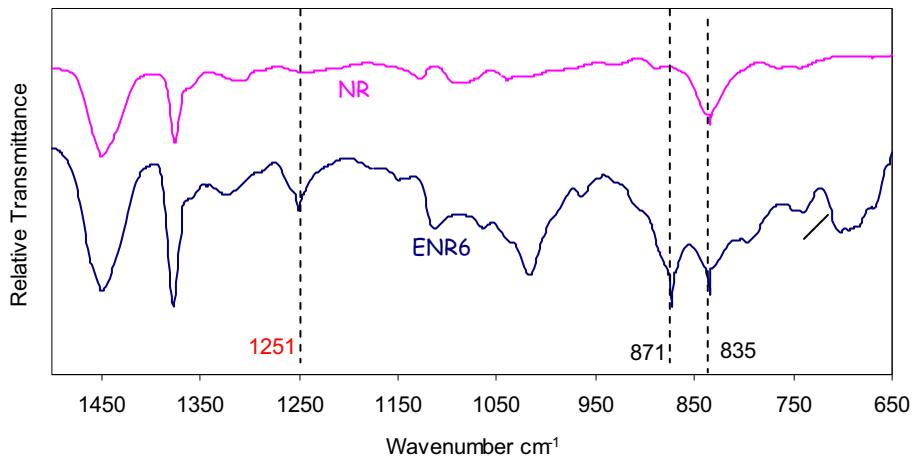
ตารางที่ 11 แสดงตำแหน่งของหมู่ฟังก์ชันของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ [7]

អូរុបក់ទំនាក់ទំនង	FT-IR ( $\text{cm}^{-1}$ )	$^1\text{H-NMR}$ (ppm)
-CH3	2956, 1377	1.66
-CH2-	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	-

หลังจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคอินฟราเรดスペกโตรสโคปี (FT-IR) เพื่อหาスペกตรัมอินฟราเรดของยางธรรมชาติอีพอกไซด์แสดงดังภาพประกอบที่ 31 พน.แบบการคุณภาพลีนแสงอินฟราเรดที่ตำแหน่งเลขค่าลีนใหม่เพิ่มขึ้นมาจากการคุณภาพลีน 871  $\text{cm}^{-1}$  และ 1251  $\text{cm}^{-1}$  ซึ่งแบบการคุณภาพลีนแสงอินฟราเรดที่ตำแหน่งเลขค่าลีน 870  $\text{cm}^{-1}$  ต่อแบบการคุณภาพลีนแสงอินฟราเรดที่ตำแหน่งเลขค่าลีน 835

$\text{cm}^{-1}$  ซึ่งแสดงการเกิด Out of plane bending ของพันธะ C-H ที่เก้ากับ C=C เพื่อคำนวณหาปริมาณ หมู่อีพอกไซด์

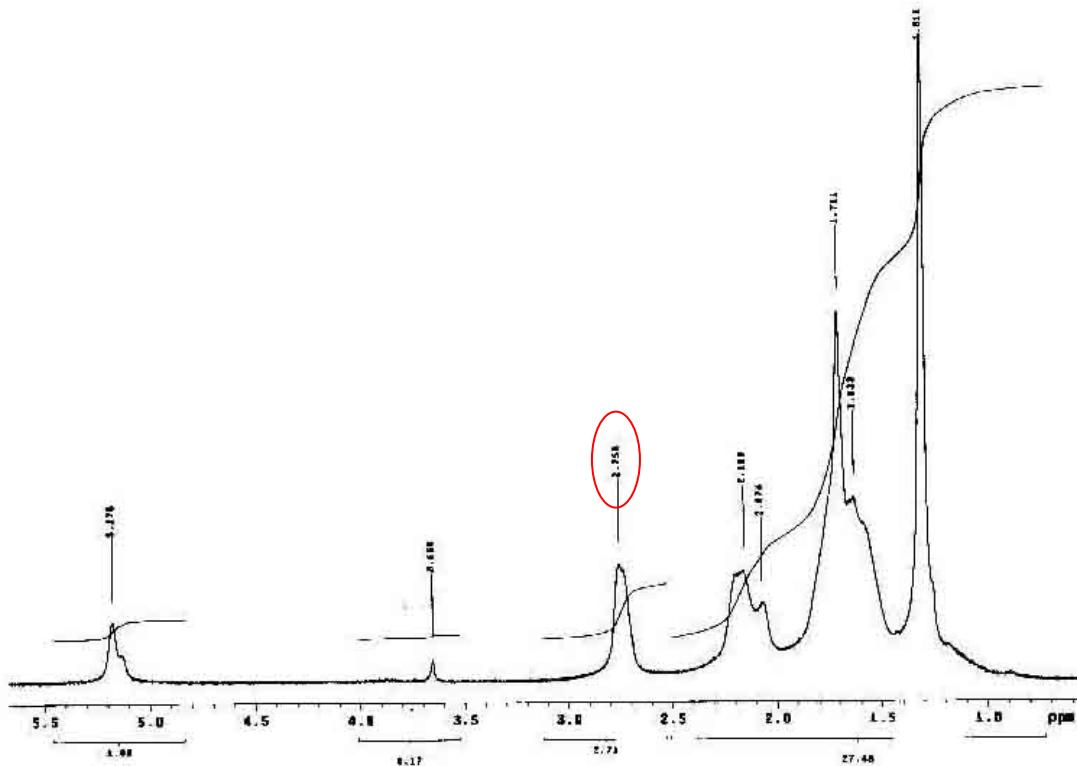
$$\text{Absorbance ratio} = \frac{a_{870}}{a_{870} + a_{835}} \quad (3)$$



ภาพประกอบที่ 31 แสดงกราฟสเปกตรัมอินฟราเรดของยางธรรมชาติและยางธรรมชาติอีพอกไซด์ ที่ระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยา 6 ชั่วโมง

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแมgnetiคิริคเร ไซแนนซ์สเปกโตรสโคป ( $^1\text{H-NMR}$ ) พบร่วมกับ  $^1\text{H-NMR}$  spectrum ของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ในภาพประกอบที่ 32 ซึ่งแสดงโปรตอนที่เก่าอยู่กับคาร์บอนที่พันธะคู่ของยางธรรมชาติที่ประมาณ 5.14 ppm และโปรตอนที่เก่าอยู่กับคาร์บอนของหมู่อีพอกไซด์ที่ประมาณ 2.70 ppm แสดงว่ามีหมู่อีพอกไซด์เกิดขึ้นบนโครงสร้างของยางธรรมชาติ สามารถคำนวณเบอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซด์ได้จากอัตราส่วนของพื้นที่ใต้จุดยอด โดยอาศัยความสัมพันธ์ดังสมการที่ (2)

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

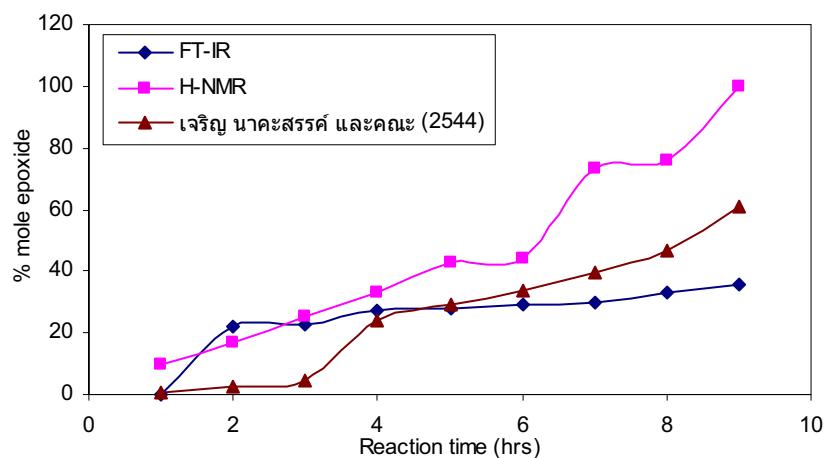


ภาพประกอบที่ 32 แสดง  $^1\text{H-NMR}$  สเปกตรัมของยางธรรมชาติอีพอกไชด์ที่รีบระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยา 6 ชั่วโมง

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างของยางธรรมชาติอีพอกไชด์ด้วยเทคนิค  $^1\text{H-NMR}$  โดยคำนวณเปอร์เซ็นต์ไมโลอีพอกไชด์ ได้จากอัตราส่วนของพื้นที่ใต้จุดยอดที่โปรตอนเกาอยู่กับการ์บอนที่เกิดพันธะคู่ที่ประมาณ 5.14 ppm ต่อพื้นที่ใต้จุดยอดของโปรตอนที่เกาอยู่กับการ์บอนของหมู่อีพอกไชด์ที่ประมาณ 2.70 ppm และจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR ได้สเปกตรัมของยางธรรมชาติอีพอกไชด์ แล้วนำไปคำนวณอัตราส่วนการดูดกลืน (Absorbance ratio) ของแทนการดูดกลืนแสงอินฟราเรดที่ตำแหน่งเลขคู่ 870  $\text{cm}^{-1}$  ต่อแทนการดูดกลืนแสงอินฟราเรดที่ตำแหน่งเลขคู่ 835  $\text{cm}^{-1}$  เพื่อคำนวณปริมาณหมู่อีพอกไชด์โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน [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



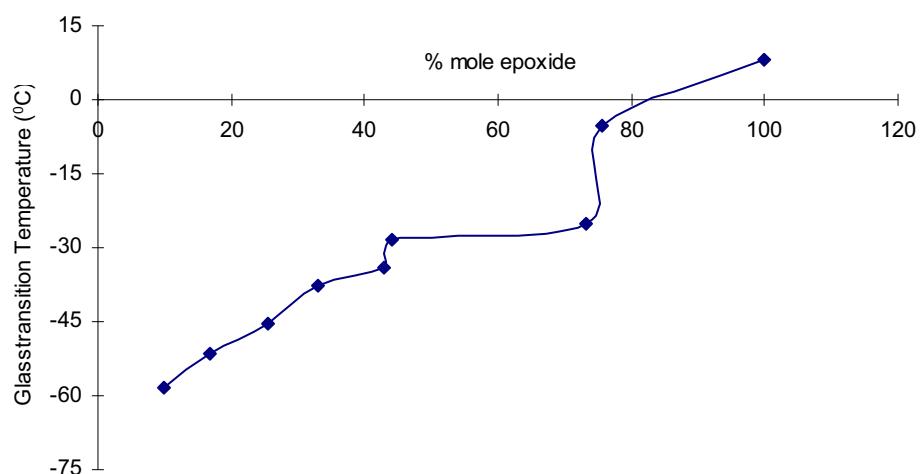
ภาพประกอบที่ 33 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซด์กับเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

จากภาพประกอบที่ 33 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซด์กับเวลาในการทำปฏิกิริยา พบร่วมกันว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาจะทำให้เกิดหมู่อีพอกไซด์บนไมเลกุลยางธรรมชาติมากขึ้นซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของเจริญ นาคสวรรค์ และคณะ, 2544 [10]

ด้วยเทคนิค FT-IR โดยพบว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาอีพอกไซด์ที่เกิดขึ้นบนโนเลกุลของยางธรรมชาติจะมีมากขึ้นด้วย ทั้งนี้เนื่องมาจากเวลาในการทำปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้นทำให้โอกาสที่กรดเปอร์ฟอร์มิกจะเข้าทำปฏิกิริยาตรงตำแหน่งพันธะคู่ที่ไม่อ่อนตัวบนโนเลกุลของยางธรรมชาติ เพื่อเกิดเป็นหมู่อีพอกไซด์มีมากขึ้น อย่างไรก็ตามผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR และเทคนิค  $^1\text{H-NMR}$  ยังมีความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์โนโลจิสต์อ่อนมาก ซึ่งหากดูจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR ผลที่ได้อาจมีความคลาดเคลื่อนมาก เนื่องจากการคำนวณอัตราส่วนการดูดกลืนจากความสูงของตำแหน่งเลขคู่ (a ในสมการที่ 1) ซึ่งหากใช้ Base line ที่ต่างกันก็จะมีผลต่อการคำนวณอัตราส่วนการดูดกลืนอย่างยิ่ง นอกจากนี้แล้วต้องนำอัตราส่วนที่ได้ไปอ่านค่าจากกราฟมาตรฐานทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้อีกทางหนึ่ง ซึ่งต่างจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค  $^1\text{H-NMR}$  สามารถคำนวณเปอร์เซ็นต์โนโลจิสต์ได้จากอัตราส่วนของพื้นที่ใต้จุดยอดได้โดยตรง ดังนั้นในการอ้างอิงเปอร์เซ็นต์โนโลจิสต์ให้ใช้ในงานวิจัยนี้ขออ้างอิงจากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค  $^1\text{H-NMR}$

#### 4.1.3 ผลของการวิเคราะห์สมบัติเชิงความร้อน

การวิเคราะห์หาอุณหภูมิคล้ายแก้วของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ได้โดยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์จากเครื่อง DSC คำนวณหา inflection point ซึ่งเป็นจุดที่แสดงถึงค่าอุณหภูมิคล้ายแก้ว (Glass transition temperature, T<sub>g</sub>) ซึ่งผลที่ได้นำไปหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิคล้ายแก้วกับเปอร์เซ็นต์โนโลจิสต์ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 34



ภาพประกอบที่ 34 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิคล้ายแก้วกับเปอร์เซ็นต์โนโลจิสต์ ของยางธรรมชาติอีพอกไซด์

จากภาพประกอบที่ 34 พบร่วมกับค่าอุณหภูมิคล้ายแก้วของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของหมู่อีพอกไซด์ที่มีบนโนเบกูลของยางธรรมชาติ โดยรายงานการวิจัยของ Baker และคณะ 1985 [12] พบร่วมกับการเกิดหมู่อีพอกไซด์ที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 1 เปอร์เซ็นต์โนบอนโนเบกูล ยางธรรมชาติจะทำให้ค่าอุณหภูมิคล้ายแก้วเพิ่มขึ้นประมาณ 1 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของเจริญ นาคสวรรค์ และคณะ 2544 [10] โดยยางธรรมชาติมีค่าอุณหภูมิคล้ายแก้วประมาณ -72 องศาเซลเซียส สาเหตุที่ค่าอุณหภูมิคล้ายแก้วของยางธรรมชาติอีพอกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของหมู่อีพอกไซด์อาจเนื่องจากหมู่อีพอกไซด์มีสภาพเป็นขี้วและสามารถเกิดการดึงดูดระหว่างโนเบกูลได้ ทำให้โนเบกูลของยางธรรมชาติอีพอกไซด์เกิดการเลื่อนไหลดหรือเคลื่อนที่ผ่านโนเบกูลได้ยากขึ้น ส่งผลให้ความอ่อนตัวของโนเบกูลลดลงด้วย ทำให้ค่า  $T_g$  มีค่าสูงขึ้น แสดงให้เห็นว่าค่า  $T_g$  สามารถบ่งบอกถึงสภาพความเป็นขี้วนะโนเบกูลของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ได้ ถ้า  $T_g$  มีค่าสูงแสดงว่ายางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่ได้มีสภาพความเป็นขี้สูง ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้น้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์โนบอนอีพอกไซด์ 44 เปอร์เซ็นต์โดยมีค่า  $T_g$  ประมาณ -30 องศาเซลเซียส

#### 4.2 การเตรียมสารเพิ่มการยึดติด

แบ่งข้าวเหนียวเจลلاتีไนซ์ที่เตรียมได้มีสีขาวขุ่น ลักษณะเหนียวเหมือนแป้ง  
เปียก ส่วนความาโรม อินเดียน เรชินในรูปอิมัลชันนั้นมีสีนำ้ตาลเข้ม เนื้อมีลักษณะเป็นเนื้อมีองครีม  
แต่เหนียวหนึ่นมาก ดังแสดงในภาพประกอบที่ 35



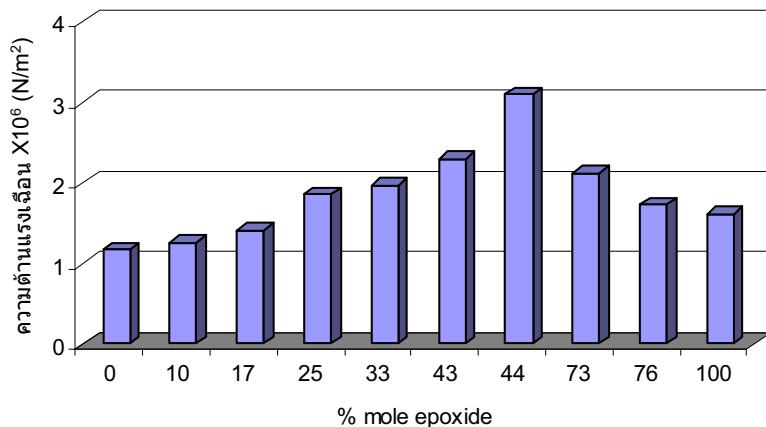
ภาพประกอบที่ 35 แสดงความiron อินเดียน เรซิ่นในรูปอิมัลชัน (1) แบ่งข้าวเหนียวเจลلاتิไนซ์ (2)

### 4.3 การเตรียมและผลการวิเคราะห์ความยางธรรมชาติอีพอกไซด์

การศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับการเลือกเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซด์ของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับเตรียมความยางธรรมชาติอีพอกไซด์ และการศึกษาปริมาณของสารเพิ่มการขิดติดที่มีผลต่อสมบัติของการยางธรรมชาติอีพอกไซด์ โดยใช้การยางธรรมชาติอีพอกไซด์สูตรพื้นฐานตามสูตรอ้างอิงการผลิตการยางจากน้ำยางเพื่อใช้ในงานทั่วไปของวราภรณ์ ขร. ไชยฤทธิ์ และวิภา เศวตกนิษฐ์ [18]

#### 4.3.1 การเลือกเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซด์ของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับเตรียมความยางธรรมชาติอีพอกไซด์

โดยปรับเปลี่ยนเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซด์ของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ในการเตรียมความยาง และทดสอบความแข็งแรงของรอยต่อของวัสดุเครื่องทดสอบสมบัติด้านการดึง (Universal testing machine) โดยการวัดค่าความต้านแรงเฉือนตามมาตรฐาน ASTM D2339



ภาพประกอบที่ 36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซด์กับค่าความต้านแรงเฉือน

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

โนโลหิพอกไซด์ ความต้านแรงเฉือนมีค่าสูงสุด หลังจากนั้นความต้านแรงเฉือนจะมีลดลงเมื่อเปอร์เซ็นต์โนโลหิพอกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากยางธรรมชาติอิพอกไซด์ที่มีเปอร์เซ็นต์โนโลหิพอกไซด์สูงมีความเป็นข้าวมากกนเกินไปแทนที่จะเกิดการดึงดูดระหว่างโนโลหิพอกของกับไม้เท่านั้น แต่กลับเกิดการดึงดูดระหว่างโนโลหิพอกของกับเองด้วย ส่งผลให้ความสามารถในการยึดเกาะของกับขึ้น ไม่ลดลง

จากการทดสอบสรุปได้ว่าค่าเปอร์เซ็นต์โนโลหิพอกไซด์ที่เหมาะสมสำหรับเตรียมการยางธรรมชาติอิพอกไซด์ คือ ประมาณ 44% โนโลหิพอกไซด์ เพราะที่ปริมาณโนโลหิพอกไซด์ที่สูงกว่านี้ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการออกแบบยางเนื่องจากเนื้อหาที่ได้จะมีลักษณะเป็นก้อนเนื่องจากมีปริมาณโนโลหิพอกไซด์มากเกินไปจึงแสดงความเป็นข้าวมากเกินไปจึงทำให้มีการยึดเกาะกับเองได้ดี ซึ่งให้ค่าความต้านแรงเฉือนสูงสุด และหลังจากนี้จะใช้คำว่ากาวยางแทนการยางธรรมชาติอิพอกไซด์ 44% โนโลหิพอกไซด์

#### **4.3.2 กาวยาง โดยมีสารเพิ่มการยึดติด คือ แป้งข้าวเหนียวเจลลาราติไนซ์**

โดยปรับเปลี่ยนเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและปริมาณของแป้งข้าวเหนียวเจลลาราติไนซ์ เพื่อเลือกเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและปริมาณของแป้งข้าวเหนียวเจลลาราติไนซ์ที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นสารเพิ่มการยึดติดในการยาง

ตารางที่ 13 กาวยางสูตรต่างๆ โดยปรับเปลี่ยนเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและปริมาณของแป้งข้าวเหนียวเจลลาราติไนซ์

สูตรกาวยาง	ความเข้มข้นของแป้งข้าวเหนียวเจลลาราติไนซ์	ปริมาณแป้งข้าวเหนียวเจลลาราติไนซ์ที่เติมลงไปในการยาง (กรัม)
	เจลลาราติไนซ์ที่เตรียม % w/w	
a	5	50
b	10	40
c	10	50
d	10	60
e	15	50
f	15	60

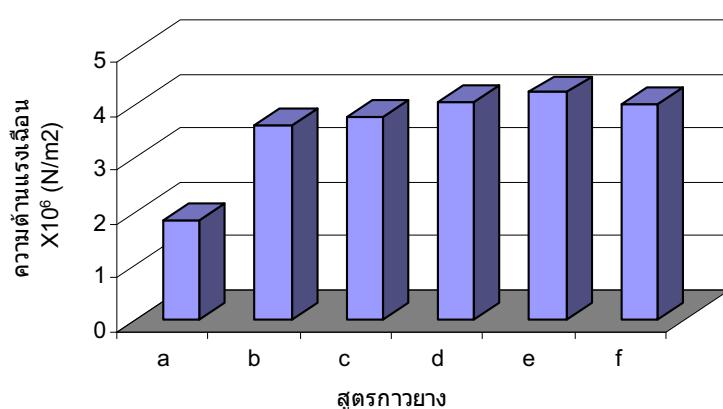


40 กรัม

50 กรัม

60 กรัม

ภาพประกอบที่ 37 แสดงภาวะยางสูตรพื้นฐานที่ใช้ 10% โดยนำหนักของแป้งข้าวเหนียวเจลลิตไนซ์ เป็นสารเพิ่มการยึดติดในปริมาณต่างๆ



ภาพประกอบที่ 38 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างภาวะยางสูตรต่างๆ กับค่าความต้านแรงเฉือน

ผลการทดสอบความต้านแรงเฉือนของภาวะยางสูตรพื้นฐาน เมื่อปรับค่าเบอร์เซ็นต์ โดยนำหนัก และปริมาณของแป้งข้าวเหนียวเจลลิตไนซ์ ได้ผลดังนี้ คือ

- ภาวะซึ่งผสมแป้งข้าวเหนียวเจลลิตไนซ์ในปริมาณที่เท่ากัน คือ 50 กรัม พบว่าภาวะ e ที่ใช้แป้งข้าวเหนียวเจลลิตไนซ์ 15% โดยนำหนัก ให้ค่าความต้านแรงเฉือนสูงสุด

- กาวยางที่ผสมแป้งข้าวเหนียวเจลลาตีไนซ์ 10% โดยนำหนัก ความต้านแรงเฉือนมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารเพิ่มการยึดติดที่ใช้ แต่กาวยางที่ผสมแป้งข้าวเหนียวเจลลาตีไนซ์ 15% โดยนำหนัก ความต้านแรงเฉือนมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณสาร

จากผลการทดสอบสรุปได้ว่าควรเลือกใช้แป้งข้าวเหนียวเจลลาตีไนซ์ 10% โดยนำหนัก เนื่องจากความต้านแรงเฉือนมีค่าสูงและเพิ่มขึ้นตามปริมาณที่ใช้

#### **4.3.3 กาวยาง โดยมีสารเพิ่มการยึดติด คือ คิวมาโron อิมัลชัน 22% โดยนำหนัก**

จากการวิจัยของสุรชัย สันติวงศ์สติต (2543) พบว่าสารยึดติดที่นำมาใช้กับน้ำยาาง ควรอยู่ในรูปอิมัลชัน และจำเป็นต้องมีการปรับความเป็นกรด-ด่างของน้ำยาางและสารเพิ่มการยึดติด ก่อนด้วย 10% โดยนำหนักของโป๊ಡสเซี่ยมไฮดรอกไซด์ เนื่องจากการผสมคิวมาโron อิมัลชันกับ ยางที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่างกันมากอาจทำให้น้ำยาางหนืด จับตัวเป็นก้อนและเสียสภาพได้ จึง ทำการศึกษาโดยปรับเปลี่ยนความเป็นกรด-ด่างต่างกัน 3 ค่าคือ 7.6, 8.6 และ 9.9 ซึ่งค่าดังกล่าวได้ มากจากการวัดน้ำยาางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่เตรียมได้ ดังแสดงในตารางที่ 14 และทำการทดสอบ ความต้านแรงเฉือนเป็นคุณสมบัติหลัก ได้ผลดังนี้



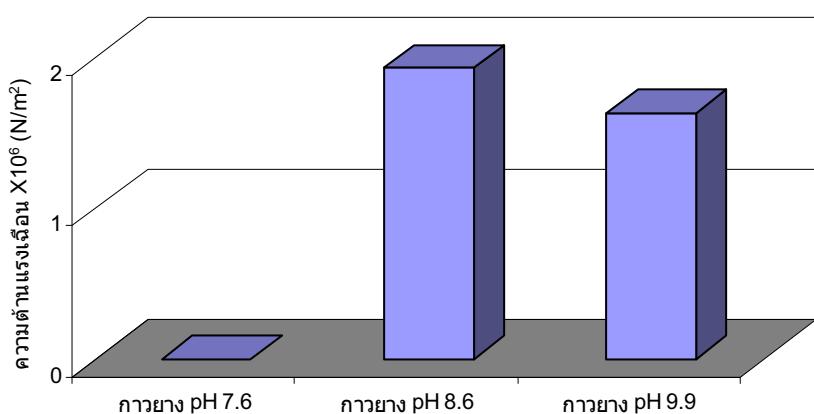
ภาพประกอบที่ 39 แสดงกาวยางที่ค่าความเป็นกรด-ด่างต่างๆ เมื่อใช้คิวมาโron อิมัลชัน 8 phr เป็น สารเพิ่มการยึดติด

จากการภาพประกอบที่ 39 แสดงลักษณะของการยางที่ผสมสารเพิ่มการยึดติดชนิด คิวมาโron อิมัลชัน และมีการแบรคค่าความเป็นกรด-ด่างที่ 7.6, 8.6 และ 9.9 พบว่ากาวยางที่มีความ เป็นกรด-ด่าง 7.6 มีลักษณะเป็นก้อน อาจเนื่องมาจากความแตกต่างของค่าความเป็นกรด-ด่าง

ระหว่างน้ำยาที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 7.6 กับคิวมาโรอนอิมลัชันเมื่อทำการวัดพบว่ามีค่าความเป็นกรด-ด่าง 8.5 ทำให้กาวยางเกิดการเสียสภาพจับตัวเป็นก้อน แต่กาวยางที่มีความเป็นกรด-ด่าง 8.6 และ 9.9 ยังคงสภาพเป็นของเหลวหนืดเหมือนเดิม

ตารางที่ 14 แสดงผลของความต้านแรงเนื้อในกาวยางสูตรต่างๆ เมื่อใช้คิวมาโรอนอิมลัชัน 8 phr เป็นสารเพิ่มการยึดติด โดยปรับเปลี่ยนค่าความเป็นกรด-ด่างในสูตรกาวพื้นฐาน

สูตรกาว	ความเป็นกรด-ด่าง(pH)	ความต้านแรงเฉือน ( $N/m^2$ )
g	7.6	ไม่สามารถวัดได้เนื่องจากกาวจับตัวเป็นก้อน
h	8.6	$1.9 \times 10^6$
i	9.9	$1.6 \times 10^6$



ภาพประกอบที่ 40 กราฟแสดงผลของความเป็นกรด-ด่างต่อความต้านแรงเนื้อ

ภาพประกอบที่ 40 แสดงผลของความเป็นกรด-ด่างต่อความต้านแรงเฉือน พบร่วมกับความต้านแรงเฉือนของชิ้นทดสอบมีแนวโน้มลดลง เมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างของกาวยางที่ใช้ คิวมาโรอนอิมลัชันเป็นสารเพิ่มการยึดติดมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกาวยางที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 8.6 มีค่าไกล์เคียงกับค่าความเป็นกรด-ด่างของคิวมาโรอนอิมลัชันที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 8.5 ทำให้กาวยางกับคิวมาโรอนอิมลัชันสามารถผสานเข้ากันได้ดี กาวยางจึงสามารถยึดเกาะกับเนื้อไม้ได้ดีกว่ากาวยางที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า จึงส่งผลให้กาวยางที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 8.6 มีค่าความต้านแรงเนื้อสูงที่สุด

จากผลการทดสอบจึงเลือกใช้กาวยางผสมคิวมาโронอิมัลชันที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 8.6 เป็นสารเพิ่มการยึดติดในการผลิตกาวยาง เมื่อได้สัดส่วนของสารเพิ่มการยึดติดที่เหมาะสม ได้มีการปรับปรุงกาวยางสูตรพื้นฐานโดยใช้ชื่อวากาวยางสูตรปรับปรุง โดยมีการเติม Carboxy methyl cellulose (CMC) 5% โดยน้ำหนัก เพื่อเพิ่มความหนืดของกาว, Potassium oleate 10 % โดยน้ำหนัก เพื่อเพิ่มความเสถียรและ Salicylic acid 15 % โดยน้ำหนัก สำหรับการป้องกันเชื้อรา และได้มีการนำแบงค์ข้าวเหนียวเจลلاتีไนซ์ 10% โดยน้ำหนัก มาผสมกับคิวมาโронอิมัลชัน 22% โดยน้ำหนัก ในสัดส่วนต่างๆ ที่ 7 และ 8 phr แสดงดังตารางที่ 15 เพื่อใช้เป็นสารเพิ่มการยึดติดยึดชนิดหนึ่ง โดยปริมาณที่เลือกใช้นี้ได้มาจากผลการทดสอบความต้านแรงเฉือนของกาวยาง ซึ่งพบว่า กาวยางที่ผสมแบงค์ข้าวเหนียวเจลلاتีไนซ์ 10% โดยน้ำหนัก มีค่าความต้านแรงเฉือนสูงสุดเมื่อใช้ที่ปริมาณ 7 phr และกาวยางที่ผสมคิวมาโronอิมัลชัน 22% โดยน้ำหนัก มีค่าความต้านแรงเฉือนสูงสุดเมื่อใช้ที่ปริมาณ 8 phr

ตารางที่ 15 แสดงความถ่วงสูตรปรับปรุงโดยปรับเปลี่ยนชนิด และปริมาณของสารเพิ่มการยึดติด<sup>\*</sup>  
(แสดงในรูปน้ำหนักเปียก (กรัม) และน้ำหนักแห้ง (phr))

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

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



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



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



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



D : การยางที่ผสมแป้งข้าวเหนียวเจลลาตีไนซ์ 10% โดยนำหนัก : คิวมาโiron อิมัลชัน 22% โดยนำหนัก ปริมาณ 7 phr ที่อัตราส่วนต่างๆ : (1) 5.25 : 1.75 phr (2) 3.5 : 3.5 phr (3) 1.75 : 5.25 phr



E : การยางที่ผสมแป้งข้าวเหนียวเจลลาตีไนซ์ 10% โดยนำหนัก : คิวมาโiron อิมัลชัน 22% โดยนำหนัก ปริมาณ 8 phr ที่อัตราส่วนต่างๆ : (1) 6 : 2 phr (2) 4 : 4 phr (3) 1.75 : 5.25 phr

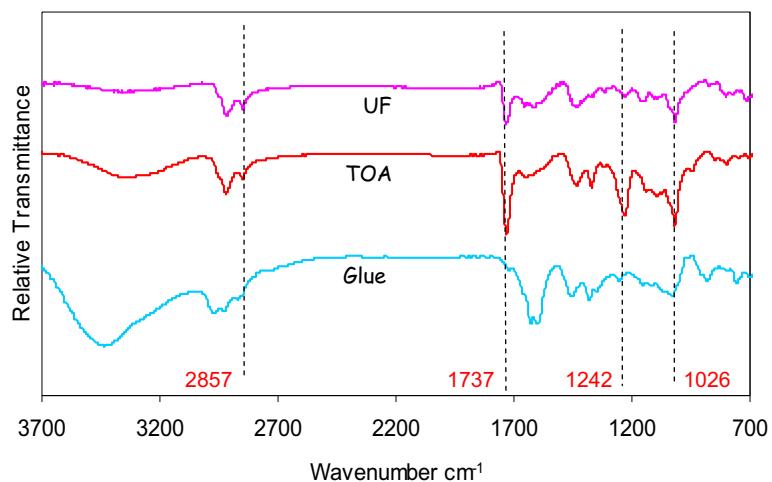
ภาพประกอบที่ 41 แสดงการยางโดยมีสารเพิ่มการยึดติด คือ แป้งข้าวเหนียวเจลลาตีไนซ์ 10% โดยนำหนัก : คิวมาโiron อิมัลชัน 22% โดยนำหนัก ที่ปริมาณต่างๆ

การยางที่เตรียมได้แสดงดังภาพประกอบที่ 41 พบว่าการยางทุกสูตรมีสีครีมแกมน้ำตาลเมื่อเทียบกับการ TOA และการyuเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ (Urea Formaldehyde, UF) ที่มีสีขาวซุ่น การยางที่ได้จะมีสีเปลี่ยนไปตามชนิดและปริมาณของสารเพิ่มการยึดติด (Tackifier) โดยการยางที่ใช้คิวมาโiron อิมัลชันเป็นสารเพิ่มการยึดติดมีสีเข้มกว่าการยางที่ใช้แป้งข้าวเหนียวเจลลาตีไนซ์ และ

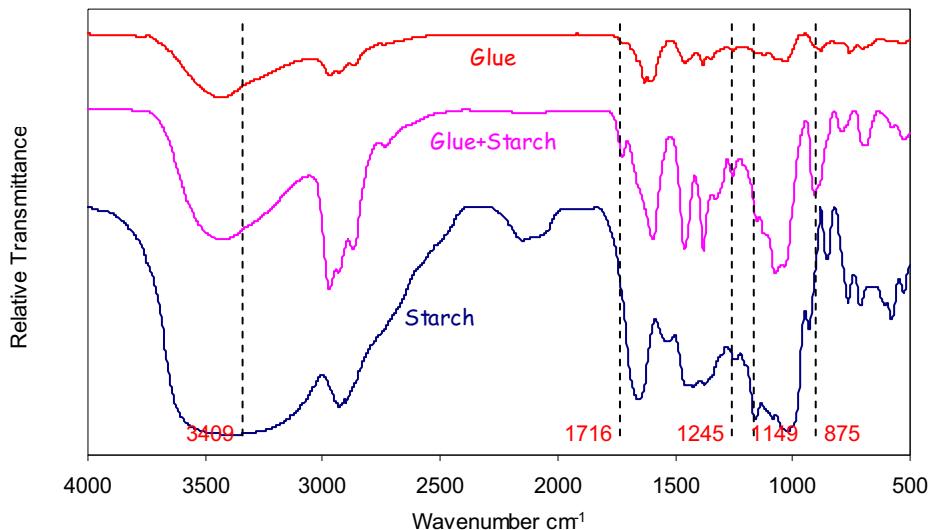
เมื่อใช้ปริมาณความiron อิมัลชันมากขึ้น กาวยางที่ได้ก็จะมีสีเข้มขึ้น จากสีครีมเป็นสีนำตาล กาวยางที่เตรียมได้เนื้อการมีลักษณะเหมือนครีมข้น หนืดซึ่งค่าความหนืดแสดงในส่วนของภาคผนวก แต่ไม่เหมือนกับกาว TOA และกาว UF

#### 4.3.4 สเปกตรัมอินฟราเรดของกาว UF กาว TOA และกาวยาง

การวิเคราะห์ FTIR ของกาวยางทุกชนิดเป็นการวิเคราะห์กาวยางก่อนติดไม้โดยใช้วิธีเตรียมตัวอย่างเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ปริมาณหมู่อีพอกไซด์ (3.3.2.1) ผลปรากฏดังภาพประกอบที่ 42 พบว่าสเปกตรัมอินฟราเรดของกาวyuเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ ปรากวุจุดยอดที่ตำแหน่งเลขคู่ 2857  $\text{cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันของ C-H ที่ตำแหน่งเลขคู่ 1737  $\text{cm}^{-1}$  ปรากวุจุดยอดของหมู่ฟังก์ชันของ C=O และปรากวุจุดยอดของหมู่ฟังก์ชันของ C-N ในโครงสร้างของyuเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีการเชื่อมโยงพันธะกันระหว่าง โมเลกุลของyuเรียกับฟอร์มัลดีไฮด์ สำหรับกาว TOA ซึ่งผลิตมาจากโพลีไวนิลอะซิเตตอิมัลชันจัดเป็นสารพ梧เอสเทอร์จึงพบหมู่ฟังก์ชันของ C=O ปรากวุจุดยอดที่ตำแหน่งเลขคู่ 1737  $\text{cm}^{-1}$  และหมู่ฟังก์ชันของ C-O ปรากวุจุดยอดที่ตำแหน่งเลขคู่ 1242  $\text{cm}^{-1}$  และ 1026  $\text{cm}^{-1}$  ซึ่งหมู่ฟังก์ชันเหล่านี้ไม่ปรากวุจุในกาวยางที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติด

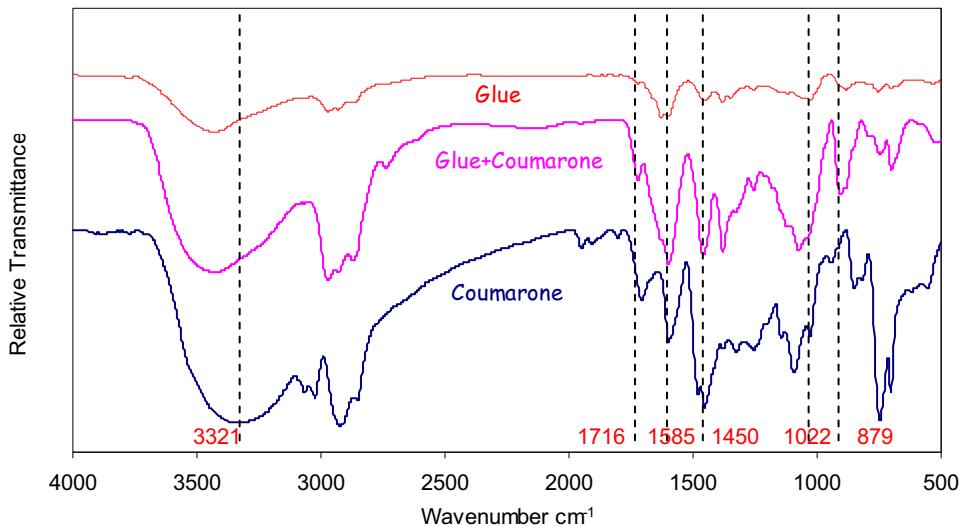


ภาพประกอบที่ 42 กราฟแสดงสเปกตรัมอินฟราเรดของกาว UF กาว TOA และกาวยาง



ภาพประกอบที่ 43 กราฟแสดงสเปกตรัมอินฟราเรดของแป้งข้าวเหนียวเจลลารีไนซ์ กาวยางและ กาวยางที่ผสมแป้งข้าวเหนียวเจลลารีไนซ์ 8 phr

จากภาพประกอบที่ 43 ปรากฏจุดยอดที่ตำแหน่งเลขคู่ 3409 cm<sup>-1</sup> ซึ่งเป็นหมู่ พังก์ชันของ O-H และจุดยอดที่ตำแหน่งเลขคู่ 1149 cm<sup>-1</sup> และ 1245 cm<sup>-1</sup> ซึ่งเป็นหมู่พังก์ชัน ของ C-O-C ที่อยู่บนโมเลกุลของอะไมเลสและอะไโนโลเพกตินในแป้งข้าวเหนียวเจลลารีไนซ์ และ กาวยางพบว่าไม่ปรากฏจุดยอดที่ตำแหน่งเลขคู่ 834 cm<sup>-1</sup> ซึ่งเป็นตำแหน่งของ C=C ที่อยู่บน โมเลกุลของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ แสดงว่าไม่เกิดการเชื่อมโยง (Cross-link) ด้วยกำมะลัน ระหว่าง โมเลกุลของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่บริเวณตำแหน่งพันธะคู่บน โมเลกุลของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ แต่ยังปรากฏจุดยอดของหมู่อีพอกไซด์ที่ตำแหน่งเลขคู่ 875 cm<sup>-1</sup> สำหรับกาวยางที่ ผสมแป้งข้าวเหนียวเจลลารีไนซ์พบว่าปรากฏจุดยอดขนาดเล็กที่ตำแหน่งเลขคู่ 1149 cm<sup>-1</sup> และ 1245 cm<sup>-1</sup> ซึ่งเป็นหมู่พังก์ชันของ C-O-C ที่อยู่บนโมเลกุลของอะไมเลสและอะไโนโลเพกตินในแป้งข้าวเหนียวเจลลารีไนซ์ และปรากฏจุดยอดที่ตำแหน่งเลขคู่ 875 cm<sup>-1</sup> ซึ่งเป็นตำแหน่งของหมู่อี- พอกไซด์ นอกจากนี้ยังปรากฏแถบการดูดกลืนแสงอินฟราเรดที่ตำแหน่งเลขคู่ใหม่เพิ่มขึ้นจาก สเปกตรัมอินฟราเรดของกาวยางที่ไม่ได้ผสมสารเพิ่มการยึดติดที่ตำแหน่งเลขคู่ 1716 cm<sup>-1</sup> คือหมู่ พังก์ชันของ C=O ซึ่งสามารถพบได้ในโมเลกุลของการ TOA และการ UF เช่นเดียวกัน แสดงว่าที่ ตำแหน่งของหมู่ C=O นี้อาจจะเกิดพันธะทางเคมีระหว่างกาวกับไม้ จึงทำให้กาวยางที่ผสมแป้งข้าว เหนียวเจลลารีไนซ์มีความสามารถในการยึดติดเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกาวยางที่ไม่ผสมสาร เพิ่มการยึดติด

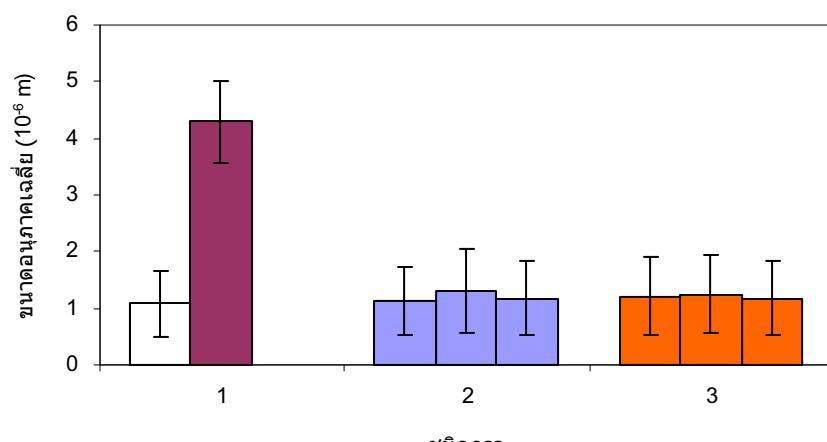


ภาพประกอบที่ 44 กราฟแสดงสเปกตรัมอินฟราเรดของคิวามะโนนอิมลชัน กาวยางและการยางที่ผสมคิวามะโนนอิมลชัน 8 phr

จากภาพประกอบที่ 44 สเปกตรัมอินฟราเรดของคิวามะโนนอิมลชันแสดงหมู่ฟังก์ชันของ O-H ที่อยู่บนโมเลกุลของโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol, PVA) ปรากฏจุดยอดที่ตำแหน่งเลขค霖  $3321\text{ cm}^{-1}$  และปรากฏจุดยอดที่ตำแหน่งเลขค霖  $1450\text{ cm}^{-1}$  และ  $1585\text{ cm}^{-1}$  และแสดงว่ามีวงแหวนเบนซินเป็นองค์ประกอบของคิวามะโนนเรชิน นอกจากนี้ยังปรากฏจุดยอดที่ตำแหน่งเลขค霖  $1022\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันของ C-O ที่อยู่ในวงแหวนของคิวามะโนน เรชิน สำหรับการยางที่ผสมคิวามะโนนอิมลชันพบว่าปรากฏจุดยอดที่ตำแหน่งเลขค霖  $879\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นตำแหน่งของหมู่อีพอกไซด์ และปรากฏแถบการดูดกลืนแสงอินฟราเรดพิมพ์ขึ้นมาจากการสเปกตรัมอินฟราเรดของการยางที่ไม่ได้ผสมสารเพิ่มการยึดติดที่ตำแหน่งเลขค霖  $1716\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันของ C=O ซึ่งสามารถพบได้ในโมเลกุลของการ TOA และการ UF เช่นเดียวกัน และแสดงว่าที่ตำแหน่งของหมู่ C=O นี้อาจจะเกิดพันธะทางเคมีระหว่างกาวกับไม้ จึงทำให้การยางที่ผสมคิวามะโนน อิมลชันมีความสามารถในการยึดติดเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการยางที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติด นอกจากนี้ยังปรากฏจุดยอดขนาดใหญ่ที่ตำแหน่งเลขค霖  $1450\text{ cm}^{-1}$  และ  $1585\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นตำแหน่งของวงแหวนเบนซินบนโมเลกุลของคิวามะโนนเรชิน หมู่ฟังก์ต่างๆ ที่ปรากฏเพิ่มในการยางที่ผสมคิวามะโนนอิมลชันแสดงให้เห็นว่ามีการผสมกันระหว่างการยางกับคิวามะโนนอิมลชันบนโมเลกุลของการยาง

#### 4.3.5 ขนาดอนุภาคของกาว UF และกาวยาง

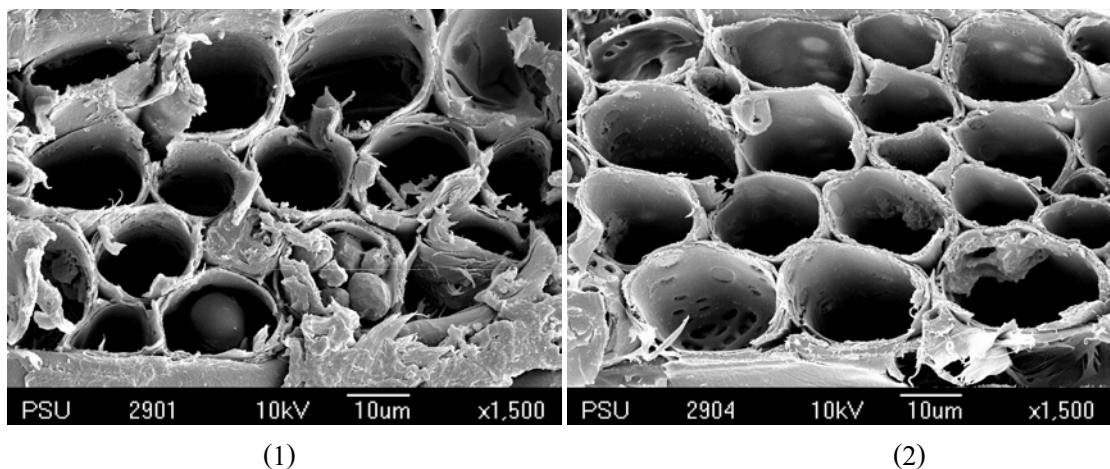
เมื่อนำกาวน้ำยางธรรมชาติอีพอก้าไฮด์ที่ผสมสารเพิ่มการยึดติดคือความโนรอนอิมลัชันและแป้งข้าวเหนียวเจลลาตีไนซ์ วิเคราะห์ขนาดอนุภาคด้วยลำแสงเลเซอร์ (Laser Particle Scanning Analyzer) พบว่ากาวยาง และกาวยางที่ผสมสารเพิ่มการยึดติดที่เตรียมได้ทุกชนิดมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยใกล้เคียงกันประมาณ 1.1 ไมโครเมตร และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน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



ภาพประกอบที่ 45 แสดงขนาดอนุภาคเฉลี่ยของการยางชนิดต่างๆ

- 1. กาวยาง, กาว UF
- 2. กาวยางผสมความโนรอนอิมลัชัน 6 phr, 7 phr, 8 phr
- 3. กาวยางผสมแป้งข้าวเหนียวเจลลาตีไนซ์ 6 phr, 7 phr, 8 phr

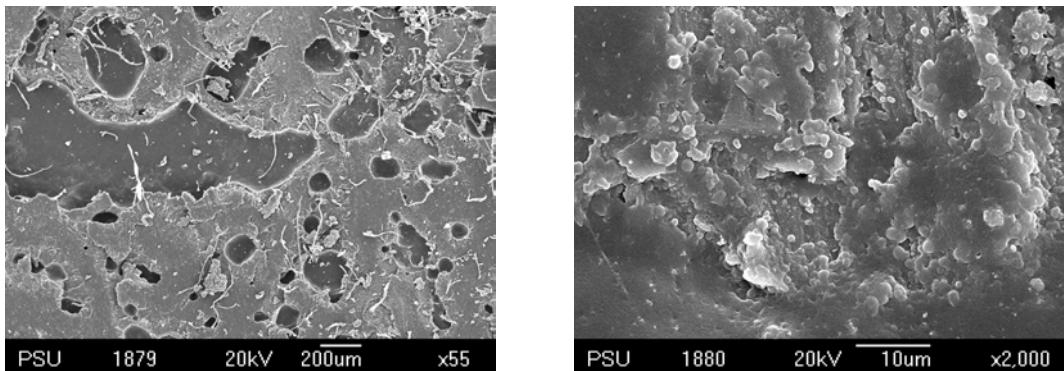
ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของการยาง และการยางที่ผสมสารเพิ่มการยึดติดมีขนาดเล็กกว่าขนาดอนุภาคเฉลี่ยของการยางเรียฟอร์มาลดีไซด์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมเพอร์นิเจอร์ไม้ยางพาราซึ่งมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 4.3 ไมโครเมตร และพบว่าชั้นขนาดเล็กกว่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูพรุนของไม้ยางพาราอีกด้วย จากภาพถ่ายพื้นผิวของไม้ยางพาราที่ผ่านการทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องราก (Scanning Electron Microscope) แสดงดังภาพประกอบที่ 46 สามารถประมาณขนาดรูพรุนเฉลี่ยของไม้ยางพาราได้ พบว่ามีค่าประมาณ 20 ไมโครเมตร ดังนั้นจากข้อมูลข้างต้นพบว่าอนุภาคของการยางที่เตรียมได้ทุกชนิดมีขนาดเล็กกว่าเส้นผ่าศูนย์กลางของรูพรุนของไม้ยางพารา ดังนั้นขนาดอนุภาคการยางไม่เป็นอุปสรรคในการผ่านรูพรุนของไม้ยางพารา



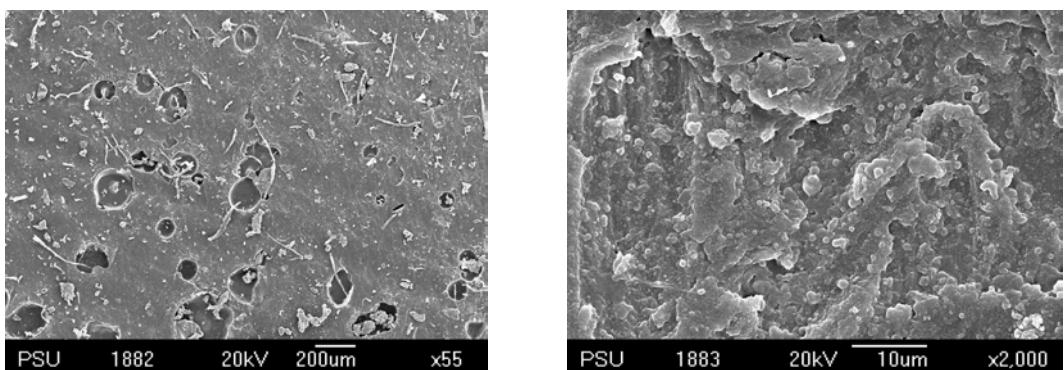
ภาพประกอบที่ 46 (1) ภาพถ่ายของเส้นรูพรุนของไม้ยางพารา ก่อนขัดกระดาษทราย  
 (2) ภาพถ่ายของเส้นรูพรุนของไม้ยางพารา หลังขัดกระดาษทราย

#### 4.3.6 ลักษณะพื้นผิวของการยางแห้งโดยใช้ Scanning Electron Microscope (SEM)

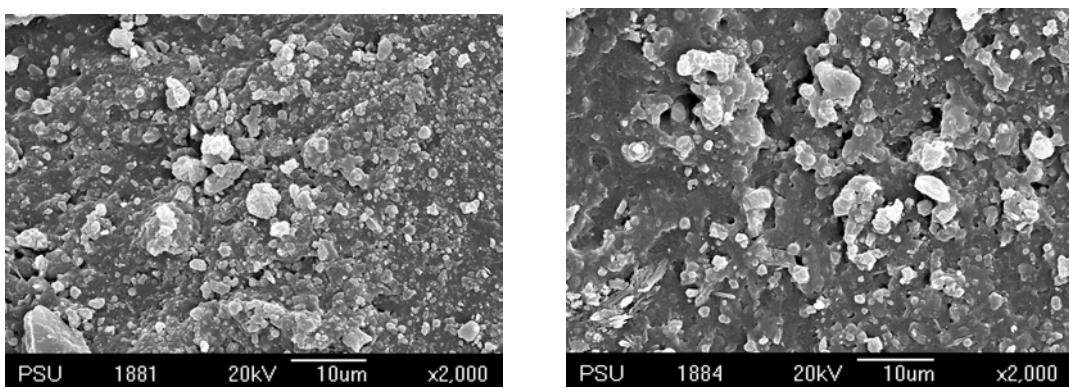
Scanning Electron Microscope เป็นเทคนิคการศึกษาลักษณะพื้นผิวของสาร จากการทดสอบที่ 47 แสดงลักษณะพื้นผิวของการยางผสมคิวามโอลอนอิมลัชัน 8 phr และการยางผสมแป้งข้าวเหนียวเจลลิติกในชั้น 8 phr สังเกตได้ว่าพื้นผิวของการยางผสมคิวามโอลอนอิมลัชัน 8 phr มีลักษณะขุบระ ประกอบด้วยอนุภาคขนาดเล็กจำนวนมาก คล้ายการรวมตัวของอนุภาคในไวนทางตรงข้ามพื้นผิวของการยางผสมแป้งข้าวเหนียวเจลลิติกในชั้น 8 phr มีลักษณะเรียบเป็นแผ่นพับอนุภาคขนาดเล็กน้ำ



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



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

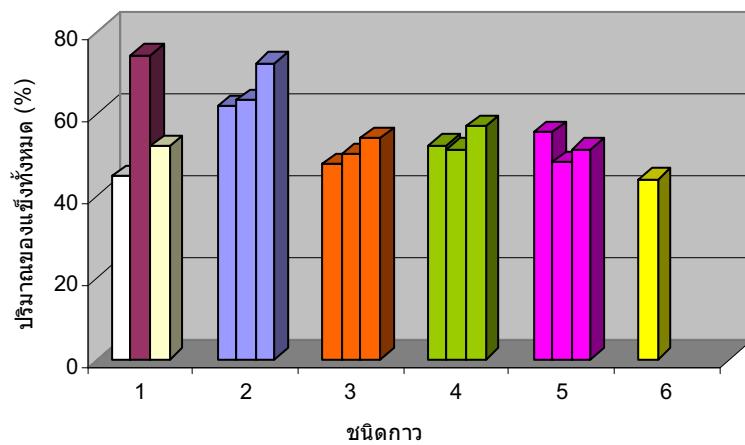


การยางผสมคิวมาโรนอิมัลชัน (ซ้าย) และ การยางผสมแป้งข้าวเหนียวเจลลาตีไนซ์ (ขวา) 8 phr  
กำลังขยาย 2000 (แผ่นหนา) ตามลำดับ

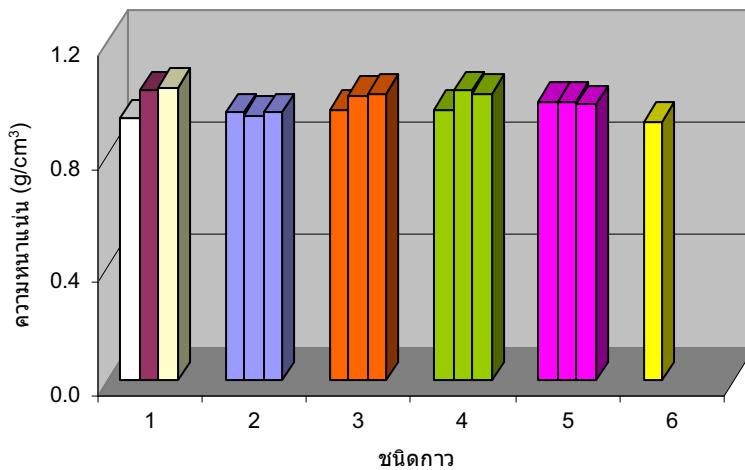
ภาพประกอบที่ 47 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของการยางผสมคิวมาโรนอิมัลชัน 8 phr  
และการยางผสมแป้งข้าวเหนียวเจลลาตีไนซ์ 8 phr ณ กำลังขยายต่างๆ

#### 4.4 การทดสอบคุณสมบัติของกาวยาง

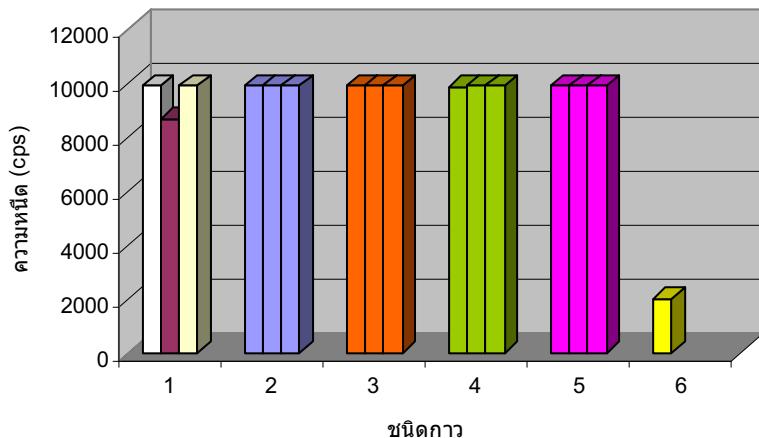
จากการยางที่เตรียมได้นำมาทดสอบคุณสมบัติของการยางตามมาตรฐานอุตสาหกรรมกาวยาง (มอก. 521-2527) ได้แก่ การหาปริมาณของแข็งทั้งหมด (เนื้อกาว) ความหนืด ความหนาแน่น และมาตรฐานอุตสาหกรรมกาวพอลีไวนิลอะซิเทตอมลัช (มอก. 181-2530) ได้แก่ การทดสอบความเป็นกรด-ด่าง ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบแสดงดังภาพประกอบที่ 48-51 ตามลำดับ



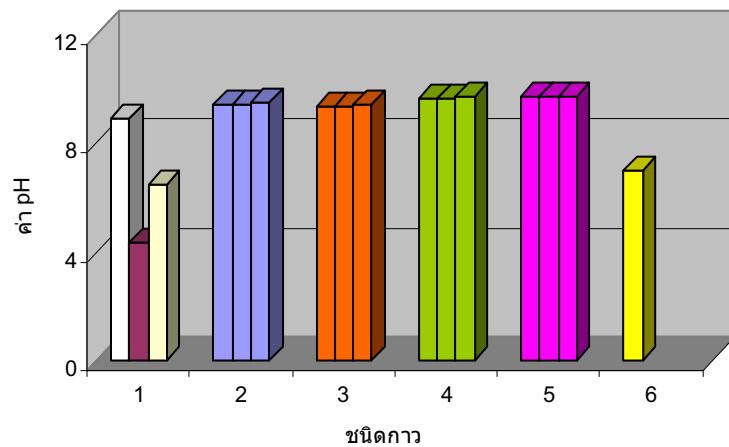
ภาพประกอบที่ 48 กราฟแสดงผลของชนิดกาวต่อปริมาณเนื้อกาว



ภาพประกอบที่ 49 กราฟแสดงผลของชนิดกาวต่อความหนาแน่น



ภาพประกอบที่ 50 กราฟแสดงผลของชนิดกาวต่อความหนืด



ภาพประกอบที่ 51 กราฟแสดงผลของชนิดกาวต่อความเป็นกรด-ด่าง

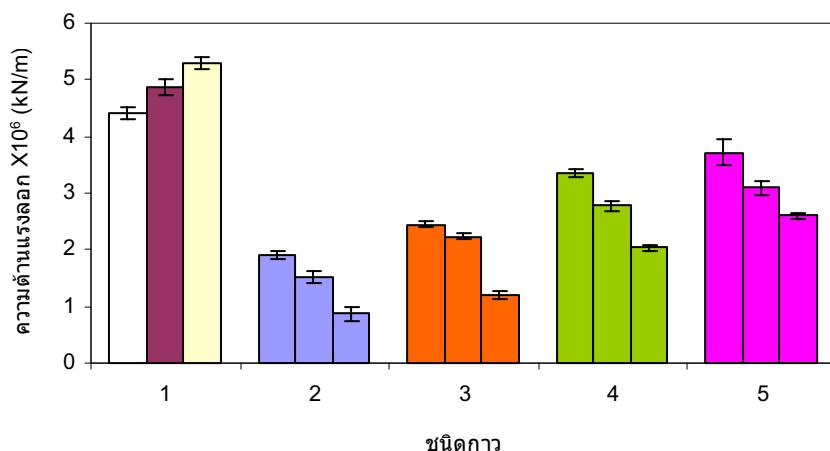
1. กาวยาง, กาว TOA, กาว UF
2. กาวยางผสมคิวมาโรนอิมัลชัน 6 phr, 7 phr, 8 phr
3. กาวยางผสมแป้งข้าวเหนียวเจลลาตีไนซ์ 6 phr, 7 phr, 8 phr
4. กาวยางผสมแป้งข้าวเหนียวเจลลาตีไนซ์ : คิวมาโรนอิมัลชัน 1.75 : 5.25, 3.5 : 3.5, 5.25 : 1.75 phr
5. กาวยางผสมแป้งข้าวเหนียวเจลลาตีไนซ์ : คิวมาโรนอิมัลชัน 2 : 6, 4 : 4,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

หมายเหตุ - กาวยางแต่ละชุดเรียบลำดับข้อมูลจากซ้ายไปขวา

จากการประกอบที่ 48-51 แสดงผลการทดสอบความเหลวหรือการก้อนที่จะแข็งตัวโดยทดสอบเนื้อหา พนว่าปริมาณเนื้อหาหรือเปอร์เซ็นต์ปริมาณของแข็งทั้งหมด (% TSC) และความหนาแน่นผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรมกาวยางที่ใช้กับงานทั่วไป (มอก.521-2527) ซึ่งกำหนดไว้ไม่น้อยกว่า 15% และไม่น้อยกว่า 0.9 กรัมต่อลูกบาศก์เซ็นติเมตร ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกาวยางที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดกับกาวยางที่ผสมสารเพิ่มการยึดติด พนว่าปริมาณของแข็งทั้งหมดและความหนาแน่นเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารเพิ่มการยึดติด และกาวยางที่ผสมกิวามะรอนอิมลัชัน 8 phr มีปริมาณของแข็งทั้งหมดสูงสุดซึ่งใกล้เคียงกับกาว TOA ความหนืดของกาวยางผ่านตามมอก.521-2527 ซึ่งกำหนดไว้ไม่น้อยกว่า 2,000 cps ความเป็นกรด-ด่างของกาว TOA และกาว UF ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรมกาวโพลีไวนิโลอะซิเทอิมลัชันสำหรับไม้ (ตามมอก.181-2530) ซึ่งระบุค่าที่ 4-7 แต่กาวยางทุกสูตรมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ที่ 8.9-9.7 ซึ่งสูงกว่ามอก.181-2530 ที่กาวยางมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่ามอก.181-2530 เนื่องจากต้องมีการปรับความเป็นกรด-ด่างให้มีค่าใกล้เคียงกับความเป็นกรด-ด่างของสารเพิ่มความยึดติดที่เติมลงไปในกาวยางเพื่อไม่ให้กาวยางจับตัวเป็นก้อน และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกาวยางที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดกับกาวยางที่ผสมสารเพิ่มการยึดติด พนว่าชนิดและปริมาณของสารเพิ่มการยึดติด ไม่มีผลต่อความหนืดและความเป็นกรด-ด่าง

#### 4.5 การทดสอบความต้านแรงลอก

การทดสอบความต้านแรงลอกเป็นการทดสอบการที่แข็งตัวอย่างสมบูรณ์ เพื่อประเมินแรงยึดเกาะของกาวกับไม้ยางพารา โดยการทดสอบจะใช้ชิ้นทดสอบ 5 ชิ้นต่อหนึ่งตัวอย่าง ซึ่งผลการทดสอบ และสัมปทานของชิ้นทดสอบภายหลังการทดสอบ แสดงดังภาพประกอบที่ 52 และ 53 ตามลำดับ



ภาพประกอบที่ 52 กราฟแสดงผลของชนิดกาวต่อความต้านแรงลอก

1. กาวยาง, กาว TOA, กาว UF
2. กาวยางผสมคิวมาโรอนอิมัลชัน 6 phr, 7 phr, 8 phr
3. กาวยางผสมแป้งข้าวเหนียวเจลลาตีไนซ์ 6 phr, 7 phr, 8 phr
4. กาวยางผสมแป้งข้าวเหนียวเจลลาตีไนซ์ : คิวมาโรอนอิมัลชัน 1.75 : 5.25, 3.5 : 3.5, 5.25 : 1.75 phr
5. กาวยางผสมแป้งข้าวเหนียวเจลลาตีไนซ์ : คิวมาโรอนอิมัลชัน 2 : 6, 4 : 4, 6 : 2 phr

หมายเหตุ - กาวยางแต่ละชุดเรียงลำดับข้อมูลจากซ้ายไปขวา



(1) กาว UF



(2) กาว TOA



(3) กาวยาง



(4) กาวยางสูตรต่างๆ



ภาพประกอบที่ 53 แสดงลักษณะชิ้นทดสอบภายหลังการทดสอบความต้านแรงลอก

จากภาพประกอบที่ 52 แสดงผลของชนิดการต่อความด้านแรงลอก และภาพประกอบที่ 50 แสดงลักษณะของชิ้นทดสอบภายหลังการทดสอบความด้านแรงลอก พบว่าจาก การทดสอบความด้านแรงลอกมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, SD) อยู่ในช่วง 0.05-0.23 ผลการทดสอบมีความถูกต้องอย่างมีนัยสำคัญ ชิ้นทดสอบที่ติดกาว TOA และกาว UF (ซึ่ง เป็นกาวที่ใช้ปัจจุบันในโรงงานที่ให้ความอนุเคราะห์) ภายหลังการดึงลอกมีส่วนของเศษไม้ของชิ้นทดสอบด้านหนึ่งติดอยู่กับชิ้นทดสอบอีกด้าน แสดงให้เห็นว่ากาว TOA และกาว UF มีการดูดซึม และซึมซาบของการไปตามรูพรุนในเนื้อไม้ได้ดีทำให้เกิดแรงยึดเกาะระหว่างกาวกับไม้สูง ส่งผลให้ ความด้านแรงลอกมีค่าสูงกว่ากาวยางที่ไม่ได้ผสมสารเพิ่มการยึดติด และกาวยางสูตรต่างๆ ที่ผสม สารเพิ่มการยึดติด ในขณะที่กาวยางที่ไม่ได้ผสมสารเพิ่มการ ยึดติด และกาวยางสูตรต่างๆ ที่ผสม สารเพิ่มการยึดติด ชิ้นไม้ทดสอบทั้งสองแยกออกจากกันโดยไม่มีเศษไม้ติดมาด้วยมีแต่คราบกาวยาง ที่แห้งติดอยู่บนชิ้นทดสอบทั้งสองด้าน ทั้งๆ ที่อนุภาคของกาวยางที่เตรียมได้ทุกชนิด มีขนาดอนุภาค เล็กกว่าขนาดรูพรุนของไม้ยางพารา (หัวข้อ 4.3.5) อนุภาคของกาวยางน่าจะซึมซาบเข้าไปในรูพรุน ของเนื้อไม้ได้ดีแต่ผลไม่เป็นอย่างที่กล่าวมาอาจเนื่องจากการเคลื่อนที่ของกาวยางผ่านเข้าไปในเนื้อ ไม้มีน้อย ส่วนใหญ่กาวอยู่เฉพาะบริเวณผิวน้ำทำให้แรงยึดเกาะระหว่างกาวกับไม้ต่ำ เมื่อ เปรียบเทียบระหว่างกาวยางที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดกับกาวยางที่ผสมสารเพิ่มการยึดติด พบว่า กาวยางที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดมีความด้านแรงลอกสูงสุด แต่ไม่สูงกว่ากาว TOA และกาว UF อาจเนื่องมาจากกาวยางที่ไม่ได้ผสมสารเพิ่มการยึดติดมีสมบัติความเป็นยาง (Elastomer) และมีความ เหนียวมากกว่า จึงทำให้ต้องใช้แรงในการดึงลอกมากกว่ากาวยางสูตรต่างๆ ที่ผสมสารเพิ่มการยึดติด อีกทั้งกาวยางที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดยังมีความเป็นเนื้อเดียวกันมากกว่ากาวยางที่ผสมสารเพิ่ม การยึดติด นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณสารเพิ่มการยึดติดทั้งแป้งข้าวเหนียวเจลลิตาติไนซ์ และคิวามะโน อินมัลชันในกาวยางทำให้ความด้านแรงลอกมีค่าลดลง และกาวยางที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวเหนียว เจลลิตาติไนซ์ ทุกอัตราส่วนมีความด้านแรงลอกสูงกว่ากาวยางที่ผสมคิวามะโนอินมัลชัน ทั้งนี้ เนื่องมาจากกาวยางที่ผสมแป้งข้าวเหนียวเจลลิตาติไนซ์มีความเป็นเนื้อเดียวกันมากกว่ากาวยางที่ผสม คิวามะโนอินมัลชัน และการรวมตัวเป็นกลุ่มเล็กๆ ของอนุภาคเมื่อแห้งมีน้อยกว่ากาวยางที่ผสม คิวามะโนอินมัลชัน จึงทำให้ต้องใช้แรงในการดึงลอกมากกว่า ดังภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะ พื้นผิวของกาวยางในหัวข้อ 4.3.6

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบกับงานวิจัยของอรสา ภัทรไพบูลย์ชัย และเรวดี แต่ง เกลี้ยง [34] ซึ่งใช้สูตรในการผลิตกาวไกลีเคียงกับงานวิจัยนี้โดยผลิตกาวจากน้ำยางข้น พบว่ากาวยาง ที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดมีค่าความด้านแรงลอกเท่ากับ  $1.75 \text{ kN/m}$  และงานวิจัยของ อารชีเซ่น แกกสมาน และคณะ [32] ศึกษาการเตรียมกาวจากยางธรรมชาติแบบแห้งโดยใช้โทกูอินและ

นำมันสปีนเดล อัตราส่วน 50 : 50 โดยนำหนัก เป็นตัวทำละลาย ผสมกับสารเพิ่มการยึดติดชนิด coumarone indene resin ทดสอบความต้านแรงลอกโดยการทากาวลงบนกระดาษที่มีผิวหยาบจำนวน 2 ชิ้นแล้วนำมาประกบกัน พบว่ากาวจากยางแห้งที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดมีค่าความต้านแรงลอกเท่ากับ  $1.90 \times 10^{-3}$  kN/m และการที่ผสม coumarone indene resin ที่ 10 phr ให้ค่าความต้านแรงลอกสูงสุดเท่ากับ  $3.53 \times 10^{-3}$  kN/m แต่ค่าที่ได้ยังน้อยกว่ากาวยางที่ผลิตจากน้ำยางธรรมชาติอี-พอกไซด์ที่ผสมคิวามาโนนอิมลัชันปริมาณ 6 phr มีค่าความต้านแรงลอกเท่ากับ  $1.89 \times 10^{-6}$  kN/m จากงานวิจัยทั้งสอง พบว่ากาวยางที่ผลิตจากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดให้ค่าความต้านแรงลอกเท่ากับ  $4.41 \times 10^{-6}$  kN/m ซึ่งค่าที่ได้สูงกว่ากาวที่ผลิตจากน้ำยางขันและการที่ผลิตจากยางแห้ง นอกจากนี้แล้วหากเปรียบเทียบกับงานวิจัยกาวยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่สามารถหาข้อมูลได้ในขณะนี้คืองานวิจัยของ นาฏยา แซ่ลิม [40] ซึ่งผลิตกาวชนิดทนนำมันอยู่ในรูปกาวยางธรรมชาติอีพอกไซด์ 50 โมลเปอร์เซ็น ที่ปริมาณ wood resin 50 phr ให้ค่าความต้านแรงลอก  $7.9 \times 10^{-6}$  kN/m และทนทานต่อการแข่น้ำทั้งรูปแบบอกร่องดึงทุกๆ วัน และรูปแบบที่ปล่อยให้หลุดออกแต่ไม่ได้ระบุค่าแรงที่สามารถถกนได้ จึงมีข้อเด่นคือทนต่อการแข่น้ำกว่ากาวที่ผลิตในงานวิจัยนี้ซึ่งเกิดการหลุดล่อนของการและไม่หลังการแข่น้ำ

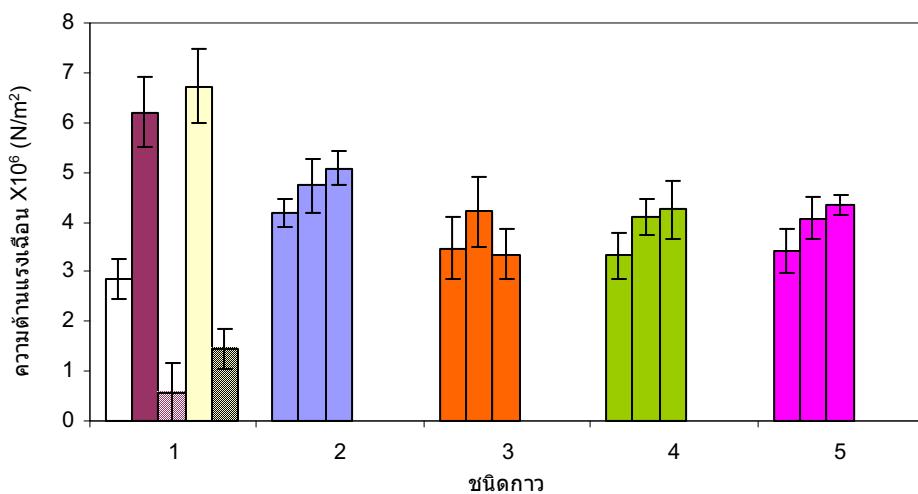
หากเปรียบเทียบกับความต้านแรงลอก (กรณีไม่แข่น้ำ) ของกาวยางตามมาตรฐาน มอก.521-2527 [22] และกาวโพลีไวนิลอะซิเตอิมลัชัน สำหรับงานไม้ มาตรฐานมอก.181-2530 [23] ซึ่งระบุค่าความต้านแรงลอกไม่ควรน้อยกว่า  $2 \times 10^{-6}$  kN/m พบว่ามีเพียงกาวยางผสมคิวมาโนนอิมลัชัน 6 phr, 7 phr, 8 phr และกาวยางผสมแป้งข้าวเหนียวเจลลาร์ที่ 8 phr เท่านั้นที่ไม่ผ่าน มาตรฐานดังกล่าว สำหรับกรณีหลังการแข่น้ำเฉพาะกาวยางตามมาตรฐาน มอก.521-2527 [22] เท่านั้นที่ระบุค่าความต้านแรงลอกไม่ควรน้อยกว่า  $2 \times 10^{-6}$  kN/m อย่างไรก็ตามงานวิจัยชิ้นนี้ไม่สามารถทดสอบความต้านแรงลอกหลังการแข่น้ำของกาวทุกชนิดได้เนื่องจากการเกิดการหลุดล่อนของกาวและไม่หลังการแข่น้ำ

#### 4.6 การทดสอบความต้านแรงเฉือน

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

จากภาพประกอบที่ 54 แสดงผลของชนิดกาวต่อความต้านแรงเฉือน และภาพ

ประกอบที่ 55 แสดงลักษณะของชิ้นทดสอบภายหลังการทดสอบความต้านแรงเฉือน พนบว่าชิ้นทดสอบที่ติดกาว TOA และกาว UF ภายหลังการดึงมีส่วนของเศษไม้ของชิ้นทดสอบด้านหนึ่งติดอยู่กับชิ้นทดสอบอีกด้าน แสดงให้เห็นว่า กาว TOA และกาว UF มีการคุณภาพและซึมซาบของไวน้ำตามรูปrun ในเนื้อไม้ได้ดีทำให้เกิดแรงยึดเกาะระหว่างกาวกับไม้สูง ส่งผลให้ความต้านแรงเฉือนมีค่าสูงกว่ากาวยางที่ไม่ได้ผสมสารเพิ่มการยึดติด และกาวยางสูตรต่างๆ ที่ผสมสารเพิ่มการยึดติดในขณะที่กาวยางที่ไม่ได้ใส่สารเพิ่มการยึดติด และกาวยางสูตรต่างๆ ที่ใส่สารเพิ่มการยึดติด ชิ้นไม้ทดสอบทั้งสองแยกออกจากกัน โดยไม่มีเศษไม้ติดมาด้วยมีแต่ร่องรอยของกาวที่แห้งติดอยู่บนชิ้นทดสอบทั้งสองด้าน เหตุผลเช่นเดียวกับการอธิบายผลของชนิดกาวต่อความต้านแรงลอก ทั้งๆ ที่อนุภาคของกาวยางน่าจะซึมซาบเข้าไปในรูปrun ของเนื้อไม้ได้ดีเด่นพอ เป็นอย่างที่กล่าวมาอาจเนื่องจากการเคลื่อนที่ของกาวยางผ่านเข้าไปในเนื้อไม้มีน้อย กาวส่วนใหญ่อยู่เฉพาะบริเวณผิวน้ำทำให้แรงยึดเกาะระหว่างกาวกับไม้ต่ำ จึงทำให้ความต้านแรงเฉือนที่ได้มีน้อยลงและลักษณะของชิ้นทดสอบของกาวยางภายหลังการดึงเกิดความเสียหายเฉพาะตรงจุดทากาวไม่ได้เกิดบริเวณเนื้อไม้



ภาพประกอบที่ 54 กราฟแสดงผลของชนิดกาวต่อความต้านแรงเฉือน

1. กาวยาง, กาว TOA, กาว TOA (แซ่น้ำ), กาว UF, กาว UF (แซ่น้ำ)
2. กาวยางผสมคิวามะโนนอิมลัชัน 6 phr, 7 phr, 8 phr
3. กาวยางผสมแป้งข้าวเหนียวเจลลาตีไนซ์ 6 phr, 7 phr, 8 phr
4. กาวยางผสมแป้งข้าวเหนียวเจลลาตีไนซ์ : คิวามะโนนอิมลัชัน 1.75 : 5.25, 3.5 : 3.5, 5.25 : 1.75 phr
5. กาวยางผสมแป้งข้าวเหนียวเจลลาตีไนซ์ : คิวามะโนนอิมลัชัน 2 : 6, 4 : 4, 6 : 2 phr

หมายเหตุ – กรณีแซ่น้ำชิ้นทดสอบที่ติดด้วยกาวยางทุกสูตรเกิดการหลุดร่อนออก

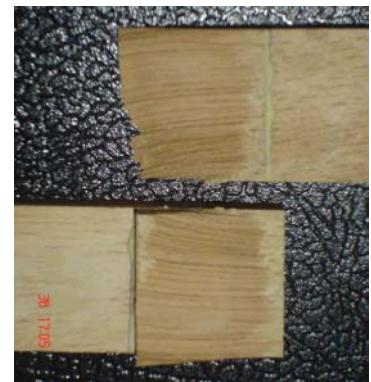
เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกาวยางที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดกับกาวยางที่ผสมสารเพิ่มการยึดติด พบว่าความต้านแรงเฉือนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารเพิ่มการยึดติด โดยกาวยางที่ผสมคิวามiron อัมมัลชัน 8 phr มีค่าความต้านแรงเฉือนสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับกาวยางสูตรอื่นๆ คือ  $5 \times 10^6 \text{ N/m}^2$  แต่ในกรณีของกาวยางที่ผสมแป้งข้าวเหนียวเจลลาร์ที่ในซึ่ครารใช้ไม่เกิน 7 phr เพราะการใช้ปริมาณแป้งข้าวเหนียวเจลลาร์ที่ 8 phr ทำให้ความต้านแรงเฉือนลดลง และเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของอรสา ภัทรไพบูลย์ชัย และเรวดี แต่งเกลี้ยง [34] ที่ผลิตกาวจากน้ำยางข้นพบว่าความต้านแรงเฉือนของกาวที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดมีค่าเท่ากับ  $0.69 \times 10^6 \text{ N/m}^2$  ซึ่งค่าที่ได้ในน้อยกว่ากาวที่ผลิตจากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดมีค่าแรงเฉือนเท่ากับ  $2.85 \times 10^6 \text{ N/m}^2$

นอกจากนี้แล้วหากเปรียบเทียบกับงานวิจัยกาวยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่สามารถหาข้อมูลได้ในขณะนี้คืองานวิจัยของ นาฎยา แซลลี่ [40] ซึ่งผลิตกาวชนิดทันน้ำมันอยู่ในรูป กาวยางธรรมชาติอีพอกไซด์ 50 โมลเปอร์เซ็นต์ ที่ปริมาณ wood resin 50 phr ให้ค่าความต้านแรงเฉือน  $5.5 \times 10^6 \text{ N/m}^2$  ซึ่งมีค่าความต้านแรงเฉือนใกล้เคียงกับกาวยางที่ผสมคิวามiron อัมมัลชัน 8 phr ในงานวิจัยนี้ แต่กาวของนาฎยา แซลลี่ [40] ทนทานต่อการแช่น้ำทั้งรูปแบบอุ่นแรงดึงทุกๆ วัน และรูปแบบที่ปล่อยให้หลุดรองแต่ไม่ได้ระบุค่าแรงที่สามารถทนได้ จึงมีข้อเด่นคือทนต่อการแช่น้ำกว่า กาวที่ผลิตในงานวิจัยนี้ซึ่งเกิดการหลุดล่อนของการและไม่หลังการแช่น้ำ

ในการเปรียบเทียบความต้านแรงเฉือนของการในงานวิจัยนี้ขอเปรียบเทียบกับ ความต้านแรงเฉือนตามมาตรฐานกาวยาง มอก.521-2527 [22] เพียงมาตรฐานเดียว เนื่องจากความต้านแรงเฉือนของกาวโพลีไวนิลอะซิเทตอัมมัลชัน สำหรับงานไม้ มาตรฐานมอก.181-2530 [23] นั้น แม้กาว UF ที่ใช้ในโรงงานปัจจุบันก็ไม่ผ่านตามมาตรฐานดังกล่าว ผลการเปรียบเทียบดังกล่าวพบว่า ค่าความต้านแรงเฉือนตามมาตรฐานกาวยาง มอก.521-2527 [22] ระบุค่าความต้านแรงเฉือนไม่น้อยกว่า  $0.22 \times 10^6 \text{ N/m}^2$  ทั้งกรณีก่อนแช่น้ำและหลังการแช่น้ำ กรณีก่อนแช่น้ำพบว่ากาวทุกชนิดในงานวิจัยสามารถผ่านมาตรฐานดังกล่าวได้ โดยมีค่าสูงกว่ามาตรฐานเฉลี่ยประมาณ 20 เท่า กรณีหลังการแช่น้ำ เมื่อทดสอบการโดยการนำชิ้นทดสอบไปแช่น้ำนาน 24 ชั่วโมง พบร่วาชิ้นทดสอบที่ติดด้วย กาวยางทุกสูตรเกิดการหลุดร่อนออก สำหรับชิ้นทดสอบที่ติดด้วยกาว TOA และกาว UF นั้น ไม่หลุดร่อนโดยมีค่าความต้านแรงเฉือนลดลงประมาณ 10 เท่า และ 5 เท่า ตามลำดับ แต่ค่าที่ได้ผ่าน มาตรฐานกาวยาง มอก.521-2527 [22]



(1) กาว UF



(2) กาว TOA



(3) กาวยาง



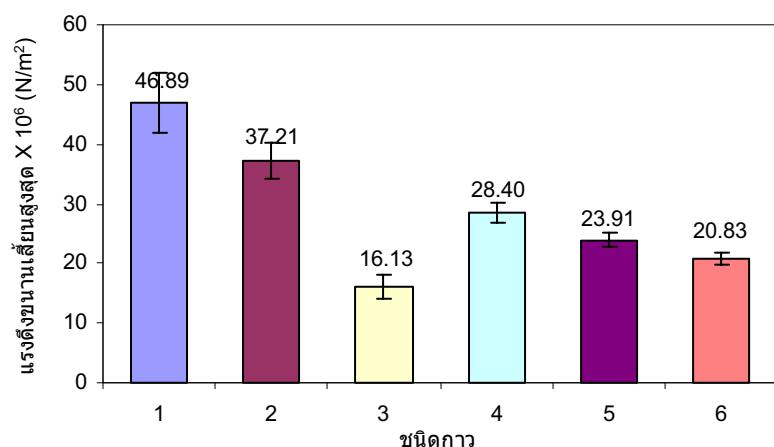
(4) กาวยางสูตรต่างๆ



ภาพประกอบที่ 55 แสดงลักษณะของชิ้นทดสอบภายหลังการทดสอบแรงเฉือน

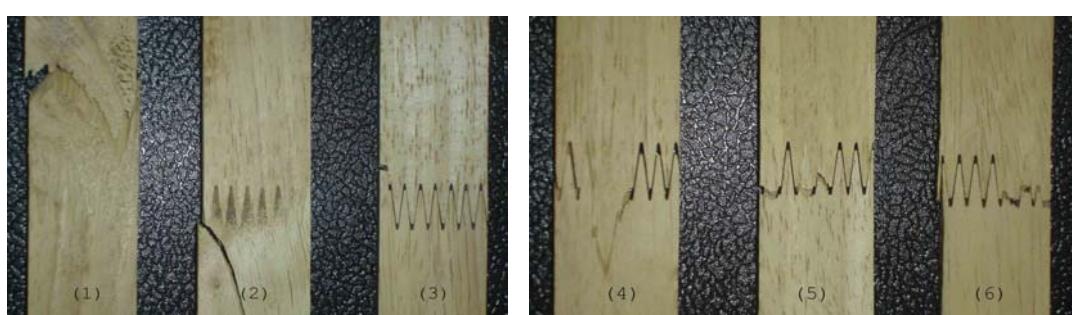
#### 4.7 การทดสอบความแข็งแรงของข้อต่อแบบนิ่วมือปราบงาน

ทำการทดสอบเฉพาะภาวะการยางสูตรที่ผสมสารเพิ่มการยึดติดแต่ละชนิดที่ให้ค่าความต้านแรงเนื่องสูงสุด โดยทำการทดสอบการดึงขนาดเส้นและ การดัด塑ต ซึ่งจะใช้ชิ้นทดสอบจำนวน 10 ชิ้นต่อหนึ่งตัวอย่าง



ภาพประกอบที่ 56 กราฟแสดงผลของชนิดการต่อแรงดึงขนาดเส้นสูงสุด

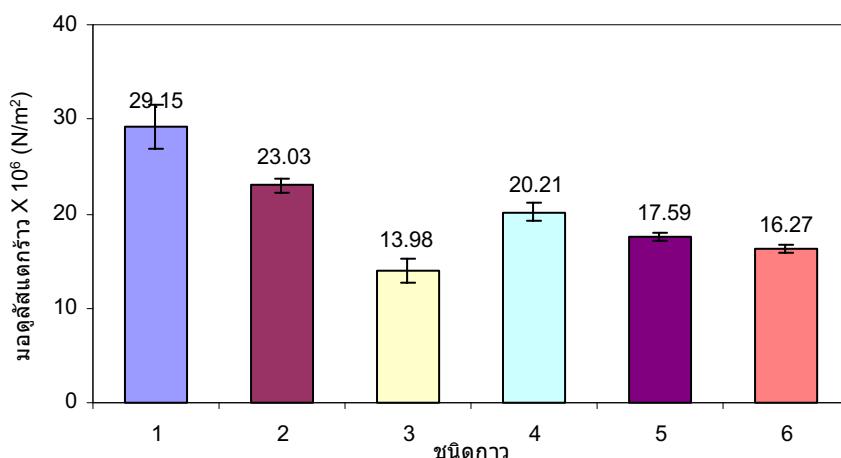
- |            |  |
|------------|--|
| 1. กาว UF  | 4. กาวยางพาราโวนอิมลัชัน 8 phr                                       |
| 2. กาว TOA | 5. กาวยางพาราปีกข้าวเหนียวเจลลาตีไนซ์ 7 phr                          |
| 3. กาวยาง  | 6. กาวยางพาราปีกข้าวเหนียวเจลลาตีไนซ์ 6 phr : คิวมาโวนอิมลัชัน 2 phr |



ภาพประกอบที่ 57 แสดงลักษณะของชิ้นทดสอบภายหลังการทดสอบแรงดึงขนาดเส้นสูงสุด

ภาพประกอบที่ 57 แสดงลักษณะของชิ้นทดสอบภายหลังการทดสอบแรงดึงขนาดเส้นสูงสุด พนบว่าชิ้นทดสอบที่ติดด้วยกาว UF มีลักษณะการฉีกขาดตามทิศทางการเรียงตัวของ

เสี่ยน และกาว TOA มีลักษณะการฉีกขาดของชิ้นทดสอบไกล์แนวน้อยต่อ กาวยางที่ผสมสารเพิ่ม การยึดติดทั้งเปลี่ยนเนื้อเยื่าและคิวามโนรอนอิมัลชัน ชิ้นทดสอบมีลักษณะการฉีกขาดของไม้ตัวนิ่วเมื่อประสาน ส่วนกาวยางที่ไม่ได้ผสมสารเพิ่มการยึดติด (3) ชิ้นทดสอบมีเพียงการแยกที่รอยต่อ ลักษณะการฉีกขาดของชิ้นทดสอบสอดคล้องกับค่าแรงดึงขنانเสี่ยนสูงสุด ดังแสดงในภาพประกอบที่ 56 พบว่าจากการทดสอบแรงดึงขنانเสี่ยนสูงสุดมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, SD) อยู่ในช่วง 0.9-4.9 ค่าแรงดึงขنانเสี่ยนที่ได้ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งชิ้นทดสอบที่ติดด้วยกาว UF และกาว TOA ให้ค่าแรงดึงขنانเสี่ยนสูงสุด  $46.89 \times 10^6 \text{ N/m}^2$  และ  $37.21 \times 10^6 \text{ N/m}^2$  ตามลำดับ เนื่องมาจากการทึบส่องชนิดสามารถซึมซาบเข้าไปในรูพรุนในเนื้อไม้ได้สูง ทำให้การยึดติดระหว่างกาวกับส่วนของข้อต่อไม่แข็งแรง จึงต้องใช้แรงในการดึงแยกส่วนของข้อต่อให้หลุดออกจากกันมาก ส่วนกาวยางที่ผสมสารเพิ่มการยึดติดเปลี่ยนเนื้อเยื่าและคิวามโนรอนอิมัลชันปริมาณ 8 phr ให้ค่าแรงดึงขنانเสี่ยนสูงสุดที่สุด แต่ค่าแรงดึงขنانเสี่ยนที่ได้ยังมีค่าน้อยกว่าแรงดึงขنانเสี่ยนของกาว UF และกาว TOA ประมาณ 1.6 และ 1.3 เท่า ตามลำดับ

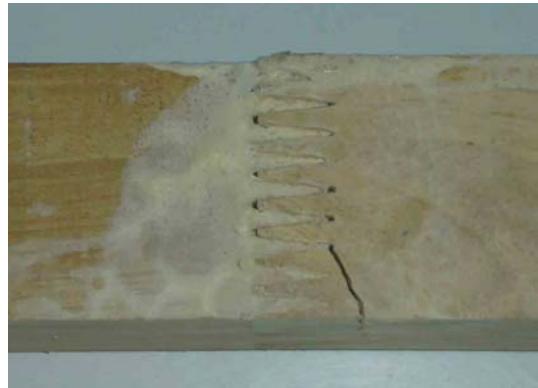


ภาพประกอบที่ 58 กราฟแสดงผลของชนิดกาวต่อค่ามอดูลัสแตกตัว

- |            |   |
|------------|---|
| 1. กาว UF  | 4. กาวยางผสมคิวามโนรอนอิมัลชัน 8 phr  |
| 2. กาว TOA | 5. กาวยางผสมเปลี่ยนเนื้อเยื่าและคิวามโนรอนอิมัลชัน 7 phr                            |
| 3. กาวยาง  | 6. กาวยางผสมเปลี่ยนเนื้อเยื่าและคิวามโนรอนอิมัลชัน 6 phr : คิวามโนรอนอิมัลชัน 2 phr |



(1)



(4)



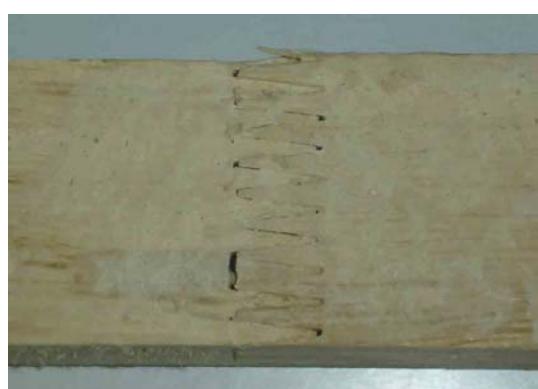
(2)



(5)



(3)



(6)

ภาพประกอบที่ 59 แสดงลักษณะของชิ้นทดสอบภายในหลังการทดสอบการดัดสติก

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

ภาพประกอบที่ 59 แสดงลักษณะของชิ้นทดสอบภายในห้องการดัดสติช์ พบร่วมกับชิ้นทดสอบที่ติดด้วยกาว UF มีลักษณะการแตกหักที่แนวรอยต่อไม่ย่างเห็นได้ชัด ส่วนกาว TOA กาวยางที่ผสมสารเพิ่มการยึดติดทั้งแบ่งข้าวเหนียวเจลลาร์ที่น้ำซึ่งแสดงถึงความต้านทานของกาวยางที่ไม่ได้ผสมสารเพิ่มการยึดติดชิ้นทดสอบมีลักษณะแยกที่รอยต่อแต่เห็นรอยแตกหักไม่ชัดเจน ชิ้นทดสอบโกร่งอุบลร้อยต่อเนื่องมาจากแรงที่กดลงบนชิ้นทดสอบ กลสมบัติที่คำนวณได้จากการทดสอบการดัดสติช์ คือ โมดูลัสแตกร้าว (Modulus of rupture, MOR) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 58 พบร่วมกับการทดสอบการดัดสติช์มีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, SD) อยู่ในช่วง 0.4-2.3 ค่าโมดูลัสแตกร้าวที่ได้ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญ ชิ้นทดสอบที่ยึดติดด้วยกาว UF ให้ค่าโมดูลัสแตกร้าวสูงที่สุดที่  $29.15 \times 10^6 \text{ N/m}^2$  อาจเนื่องมาจากการสามารถซึมซาบเข้าไปในรูพรุนในเนื้อไม้ได้สูง เนื่องจากขนาดอนุภาคของกาวมีขนาดเล็กกว่าขนาดของรูพรุนของไม้ย่างพรา ทำให้การยึดติดระหว่างกาวกับส่วนของข้อต่อไม้แข็งแรง จึงต้องใช้แรงกดเพื่อข้อต่อให้หลุดออกจากกันมาก ส่วนกาวยางที่ผสมกิวามาโนนอิมลัชันปริมาณ 8 phr ให้ค่าโมดูลัสแตกร้าวสูงที่สุดที่  $20.21 \times 10^6 \text{ N/m}^2$  เมื่อเทียบกับกาวยางสูตรอื่นๆ

#### 4.8 การประเมินต้นทุนในการเตรียมกาวยาง

ในการคำนวณต้นทุนการเตรียม 20% โดยนำหนักของน้ำยาหงษ์รองชาติอิพอกไซด์ แสดงดังตารางที่ 16 โดยคำนวณจากราคาของ 60% โดยนำหนักของน้ำยาหงษ์รอง คิดเทียบจากปริมาณเนื้อยางแห้งที่ต้องใช้ในการเตรียมซึ่งเท่ากับ 115.6 กรัม โดยไม่คำนึงถึงต้นทุนในขั้นตอนการปรับความเข้มข้นของ 20% โดยนำหนักของน้ำยาหงษ์รองชาติอิพอกไซด์ ให้เป็น 60% โดยนำหนัก ก่อนนำไปเตรียมกาวยาง สำหรับการคำนวณต้นทุนในการเตรียม 22% คิวามาโนนอิมลัชัน และต้นทุนในการเตรียมกาวยางผสมกิวามาโนนอิมลัชัน 8 phr แสดงดังตารางที่ 17 และ 18 ตามลำดับ

จากการประเมินต้นทุนในการเตรียมกาวยาง โดยคำนวณค่าใช้จ่ายเฉพาะในส่วนของวัตถุดิบที่ใช้ในการเตรียมเท่านั้น ไม่คำนึงถึงค่าไฟฟ้าและค่าแรงงาน ราคากาวยางที่เตรียมได้ประมาณ 219 บาทต่อกิโลกรัม

ตารางที่ 16 แสดงต้นทุนในการเตรียมนำ Yang ชาร์มชาติอีพอกไซด์

รายการ	มูลค่า (บาท/กิโลกรัม)	ปริมาณ (กรัม)	มูลค่ารวม (บาท)
60% นำ Yang ขัน	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 เพิ่มขึ้น 98-100% ความหนาแน่น 1.22 g/mL

\*\* ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เพิ่มขึ้น 50% ความหนาแน่น 1.11 g/mL

\*\*\* คำนวณราคา Teric N30 โดยคิดเทียบจากน้ำหนักแห้ง

ตารางที่ 17 แสดงต้นทุนในการเตรียม 22% คิวมาโนนอิมลชัน

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

\* โกลูอีน ความหนาแน่น 0.87 kg/L

\*\* คำนวณราคา โพปเตสเซี่ยม ไฮดรอกไซด์ และ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ โดยคิดเทียบจากน้ำหนักแห้ง

ตารางที่ 18 แสดงต้นทุนในการเตรียมกาวยางพสมคิวมาโรอนอีมลชัน 8 phr

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

\* คำนวณราคาโพಡेटสเซี่ยมไ媳ครอกไซด์ และ CMC โดยคิดเทียบจากน้ำหนักเหลือง

## ผลการทดลองและวิจารณ์

ส่วนที่ 2 การรายงานผลการศึกษาเพิ่มเติมของขอบเขตงานวิจัยโดยใช้ Petroleum resin, Terpene phenolic resin, และ ชัน (Dammar) เป็นส่วนผสมร่วมในการน้ำยางชรรมชาติอีพอกไซด์

### 4.9 สมบัติของน้ำยางชรรมชาติอีพอกไซด์ต่อระยะเวลาการเก็บ

สมบัติของน้ำยางชรرمชาติอีพอกไซด์ที่ทำการทดสอบต่อระยะเวลาการเก็บ 10 สัปดาห์ คือ ปริมาณหมู่อีพอกไซด์ อุณหภูมิคล้ายแก้ว ความหนืด และความเป็นกรด-ด่าง ดังตารางที่ 19 พบว่าเมื่อเวลาเปลี่ยนไปสมบัติของน้ำยางชรرمชาติอีพอกไซด์ที่กล่าวมาทุกตัวมีค่าคงเดิม ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา แสดงให้เห็นว่าน้ำยางชรرمชาติอีพอกไซด์ที่ใช้ในการเตรียมความมีความเสถียรค่อนข้างสูง

ตารางที่ 19 แสดงสมบัติของน้ำยางชรرمชาติอีพอกไซด์ต่อระยะเวลาการเก็บ

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 มีลักษณะเป็นอนุภาชนะของแข็งขนาดเล็กสีเหลืองปนน้ำตาล มีความสามารถในการยึดติดที่ดี เป็นสารที่ช่วยเพิ่มความสามารถในการยึดติดของ Adhesives ประเภทต่างๆ ทัน กรดและสามารถผสมกับน้ำยาหั่นธรรมชาติได้เป็นอย่างดี ดังแสดงในภาพประกอบที่ 60



ภาพประกอบที่ 60 Petroleum resin

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



ภาพประกอบที่ 61 Terpene phenolic resin

ชัน (Dammar) ลักษณะทางกายภาพของชันมีลักษณะเป็นผงละเอียด สีน้ำตาลเทา เมื่อนำมาวิเคราะห์ทางนาคอนุภาคด้วยเครื่องวัดขนาดอนุภาค (Laser Particle Size Analyzer) พบว่า มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 0.275 ถึง 2.5 ไมโครเมตร แต่เมื่อนำมาทำการบดพร้อมเติมสารช่วยกระจายให้อยู่ในรูป 20 เปอร์เซ็นต์ดิสเพลสชั่นเป็นเวลา 4 วัน พบว่าขนาดอนุภาคเฉลี่ยส่วนใหญ่มีค่า 1.42 ไมโครเมตร มีสูตรโครงสร้างที่มีหมุ่ฟังก์ชันเป็นหมุ่ไฮดรอกซิล (OH) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 62 ซึ่งเป็นหมุ่ที่แสดงสมบัติความเป็นขี้ของสาร โดยหมุ่ฟังก์ชันดังกล่าวจะทำหน้าที่ในการเชื่อมพันธะกับหมุ่อีพอกไซด์ของยางธรรมชาติอีพอกไซด์



ภาพประกอบที่ 62 ชัน (Dammar)

#### 4.11 การยางธรรมชาติอีพอกไซด์

ในการเตรียมการยางเช่นเดียวกับการทดลองส่วนที่ 1 คือใช้ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ 44 ไมล์เปอร์เซ็นต์อีพอกไซด์และใช้สูตรปรับปรุง โดยมีการเตรียมการตามปริมาณและชนิดของสารเพิ่มการยึดติด ดังแสดงในตารางที่ 20

ตารางที่ 20 แสดงการยางสูตรปรับปรุงโดยปรับเปลี่ยนชนิด และปริมาณของสารเพิ่มการยึดติด

สูตรกาว	การและสารเพิ่มการยึดติด	ปริมาณสารเพิ่มการยึดติด phr (น้ำหนักแห้ง)
1	กาวยางไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติด	
2	TOA (กาวโพลีไวนิลอะซีเทตอัมลัชัน)	
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 พบว่ากาวยางทุกสูตรมีลักษณะเป็นคริมข้นมีสีเหลืองอ่อนๆ กลิ่นเคียงกัน ยกเว้นกาวยางผสม Petroleum resin 60 phr มีการจับตัวเป็นก้อนสีเหลืองอ่อน ไม่สามารถนำไปใช้เป็นกาวได้ ดังนั้น ปริมาณของ Petroleum resin สูงสุดที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือ 45 phr



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



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



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

ภาพประกอบที่ 63 แสดงกาวยาง โดยมีสารเพิ่มการยึดติด คือ Terpene phenolic resin และ Petroleum resin ที่ปริมาณต่างๆ

#### 4.11.2 กาวยางพสมสารเพิ่มการยึดติดกีอ ชัน (Dammar)

กาวยางที่เตรียมได้จากการใช้ชันเป็นสารเพิ่มการยึดติด โดยมีการแปรปริมาณของชันดังนี้คือ 5, 10, 15 และ 20 phr พบว่ากาวยางทุกสูตรมีลักษณะเป็นครีมข้นมีสีน้ำตาลอ่อน ยกเว้นกาวยางพสมชัน 20 phr มีลักษณะเป็นครีมค่อนข้างแห้งสีน้ำตาลอ่อน สามารถนำไปใช้เป็นการได้ดังนั้นปริมาณของชันสูงสุดที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือ 20 phr



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



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

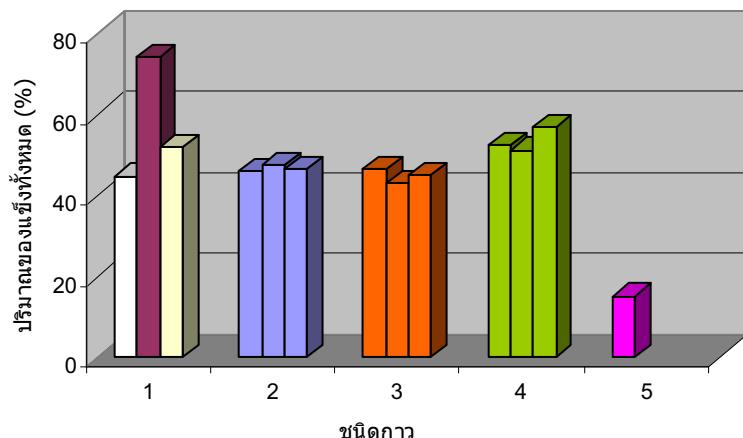
ภาพประกอบที่ 64 แสดงกาวยางโดยมีสารเพิ่มการยึดติดกีอ ชัน ที่ปริมาณต่างๆ

#### 4.12 การทดสอบคุณสมบัติของกาวยาง

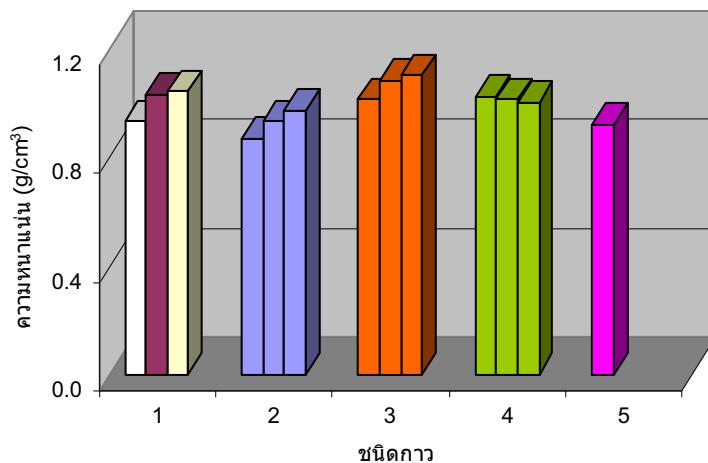
จากการยางที่เตรียมได้นำมาทดสอบคุณสมบัติของกาวยางตามมาตรฐานอุตสาหกรรมกาวยาง มอก. 521-2527 [22] ได้แก่ การหาปริมาณของเชิงทั้งหมด (เนื้อกาว) ความหนาแน่น ความหนืด และมาตรฐานอุตสาหกรรมกาวพอลีไวนิลอะซิเทตอมลชัน มอก. 181-2530 [23] ได้แก่ การทดสอบความเป็นกรด-ด่าง ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบแสดงดังภาพประกอบที่ 65-68 ตามลำดับ โดยมีหมายเลขสัญลักษณ์แทนการแต่ละชนิด โดยเรียงลำดับจากซ้ายไปขวาตามรายการดังต่อไปนี้

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	กาวยางผสมชัน 10, 15 และ 20 phr
5	กาวยางตามมอก. 521-2527 (ใช้อ้างอิงการทดสอบปริมาณเนื้อกาว ความหนาแน่น และความหนืด) และมอก. 181-2530 (ใช้อ้างอิง การทดสอบความเป็นกรด-ด่าง)

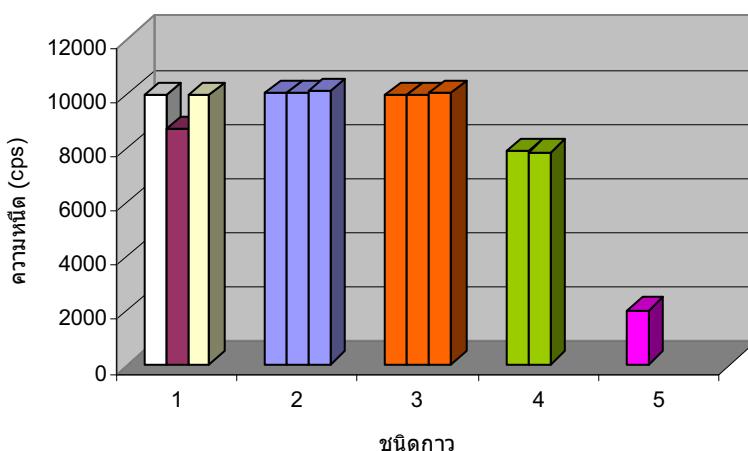


ภาพประกอบที่ 65 กราฟแสดงผลของชนิดกาวต่อปริมาณเนื้อกาว



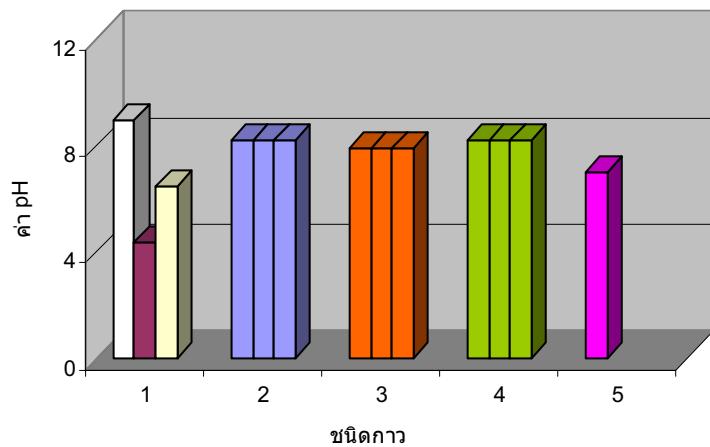
ภาพประกอบที่ 66 กราฟแสดงผลของชนิดการต่อความหนาแน่น

จากภาพประกอบที่ 65 และ 66 พบว่าปริมาณเนื้อกาวทุกสูตรผ่านมาตรฐาน พลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกาวยาง มอก.521-2527 [22] ซึ่งกำหนดว่าในการใช้งานทั่วไปต้องมีปริมาณเนื้อกาวไม่น้อยกว่าร้อยละ 15 สำหรับความหนาแน่น กาวทุกสูตรผ่านมาตรฐาน พลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกาวยาง มอก.521-2527 [23] ซึ่งค่าความหนาแน่นมีค่าอยู่ในช่วง 0.93 ถึง 1.08 กรัมต่อลูกบาศเซนติเมตร ยกเว้นกาวยางพลาสติก Petroleum resin 15 phr ที่ไม่ผ่านมาตรฐาน พลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกาวยาง ซึ่งมีค่าความหนาแน่นประมาณ 0.87 กรัมต่อลูกบาศเซนติเมตร



ภาพประกอบที่ 67 กราฟแสดงผลของชนิดการต่อความหนืด

จากภาพประกอบที่ 67 พบว่าการทุกสูตรผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กาวยาง มอก.521-2527 [22] ที่กำหนดไม่น้อยกว่า 1500 เซนติพอยส์ และมาตรฐาน ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมการโพลีไวนิโลอะซิเทตอิมัลชันสำหรับไม้ มอก.181-2530 [23] ที่กำหนดไว้ที่ 2000 เซนติพอยส์ นอกจากนี้พบว่ากาวยางผสม Petroleum resin และกาวยางผสม Terpene phenolic resin ทุกสูตรมีความหนืดใกล้เคียงความหนืดของกาวyuเรียฟอร์มอลดีไฮด์ซึ่งมีค่าประมาณ 9900 เซนติพอยส์ กาวยางผสมชั้น 10 และ 15 phr มีค่าความหนืดประมาณ 7800 เซนติพอยส์ สำหรับกาวยางผสมชั้น 20 phr เมื่อทำการใส่โป๊ปแตลเซย์มโอลีเอตลงไปใหม่ๆ พบว่ากาวชนิดดังกล่าวมีลักษณะขึ้นเหนียวติดดีแต่มีอัตโนมัติมากกว่า 1 ชั่วโมงพบว่าความมีลักษณะแห้งคล้ายฟองน้ำผิวน้ำเรียบลื่นแวงคล้ายพลาสติก ไม่มีสมบัติความเป็นกาวจึงไม่สามารถทำการทดสอบหาความหนืดได้

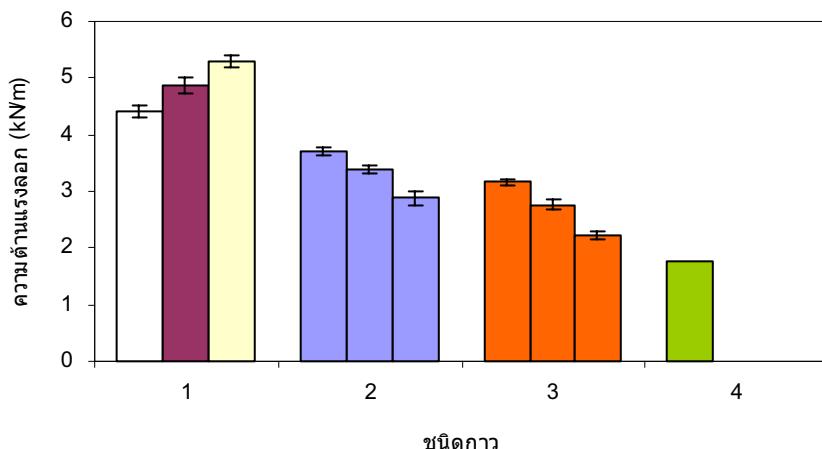


ภาพประกอบที่ 68 กราฟแสดงผลของชนิดกาวต่อความเป็นกรด-ด่าง

จากภาพประกอบที่ 68 พบว่าการทุกสูตรมีค่าความเป็นกรด-ด่างใกล้เคียงกันโดย มีความเป็นค่างอ่อนๆ ซึ่งต่างจากการ TOA และกาวyuเรียฟอร์มอลดีไฮด์ที่มีความเป็นกรดอ่อนๆ การที่ผลิตได้มีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมโพลีไวนิโลอะซิเทต อิมัลชันสำหรับไม้ มอก.181-2530 [23] ซึ่งกำหนดไว้อยู่ในช่วง 4 ถึง 7 เนื่องจากลักษณะของสูตรกาว ในช่วงดังกล่าวพบว่ากาวที่ได้จะจับตัวกันเป็นก้อนจึงจำเป็นต้องปรับให้ค่าความเป็นกรด-ด่างมี ความใกล้เคียงกับสารเคมีที่ใช้ในการออกสูตรกาว

#### 4.13 การทดสอบความต้านแรงลอก

การทดสอบความต้านแรงลอกเป็นการทดสอบการที่แข็งตัวอย่างสมบูรณ์ เพื่อประเมินแรงยึดเกาะของกาวกับไม้ยางพารา โดยการทดสอบจะใช้ชิ้นทดสอบ 5 ชิ้นต่อหนึ่งตัวอย่าง ซึ่งผลการทดสอบ แสดงดังภาพประกอบที่ 69



ภาพประกอบที่ 69 ภาพที่แสดงผลของชนิดกาวต่อความต้านแรงลอก

หมายเลข	ชนิดของกาว
1	กาวยางที่ไม่ใส่สารตัวเติม, กาว TOA, กาวyuเรียฟอร์มานาลเดี้ยด
2	กาวยางพสม Petroleum resin 15, 30, และ 45 phr
3	กาวยางพสม Terpene phenolic resin 30, 45 และ 60 phr
4	กาวยางงานวิจัยของอรสา ก้าว ไฟนูลย์ชัย และเรวดี แต่งเกลี่ยง [44]

จากภาพประกอบที่ 69 แสดงผลของชนิดกาวต่อความต้านแรงลอกของกาวยาง พสม Petroleum resin และกาวยางพสม 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 และกาวยาง สูตรต่างๆ ที่ผสมสารเพิ่มการยึดติด ชิ้นไม้ทดสอบห้องสองแยกออกจากกัน โดยไม่มีเศษไม้ติดมาด้วย มีแต่ครานกาวยางที่แห้งติดอยู่บนชิ้นทดสอบห้องสองด้าน ส่วนใหญ่กาวอยู่เฉพาะบริเวณผิวน้ำทำให้แรงยึดเกาะระหว่างกาวกับไม้ต่อ อย่างไรก็ตามยังไม่ได้มีการวัดขนาดของอนุภาคของกาวยาง ผสม Petroleum resin 15, 30, และ 45 phr และกาวยางผสม Terpene phenolic resin 30, 45 และ 60 phr เพื่อยืนยันผลว่าขนาดของอนุภาคกาวไม่มีผลต่อซึมซาบของการไปตามรูพรุนในเนื้อไม้

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกาวยางที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดกับกาวยางที่ผสมสารเพิ่มการยึดติด ความต้านแรงลอกแสดงผลเช่นเดียวกับส่วนที่ 1 คือกาวยางที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดมีความต้านแรงลอกสูงสุดคือ  $4.41 \text{ kN/m}$  แต่ไม่สูงกว่ากาว TOA และกาว UF อาจเนื่องมาจาก กาวยางที่ไม่ได้ผสมสารเพิ่มการยึดติดมีสมบัติความเป็นยาง (Elastomer) และมีความเหนียวมากกว่า จึงทำให้ต้องใช้แรงในการดึงลอกมากกว่ากาวยางสูตรต่างๆ ที่ผสมสารเพิ่มการยึดติด อีกทั้งกาวยางที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดยังมีความเป็นเนื้อเดียวกันมากกว่ากาวยางที่ผสมสารเพิ่มการยึดติด นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณสารเพิ่มการยึดติดทั้ง Petroleum resin และ Terpene phenolic resin ใน กาวยางทำให้ความต้านแรงลอกมีค่าลดลง กาวยางที่มีส่วนผสมของ Petroleum resin ที่อัตราส่วน 15 phr และคงค่าความต้านแรงลอกสูงสุดเท่ากับ  $3.70 \text{ kN/m}$

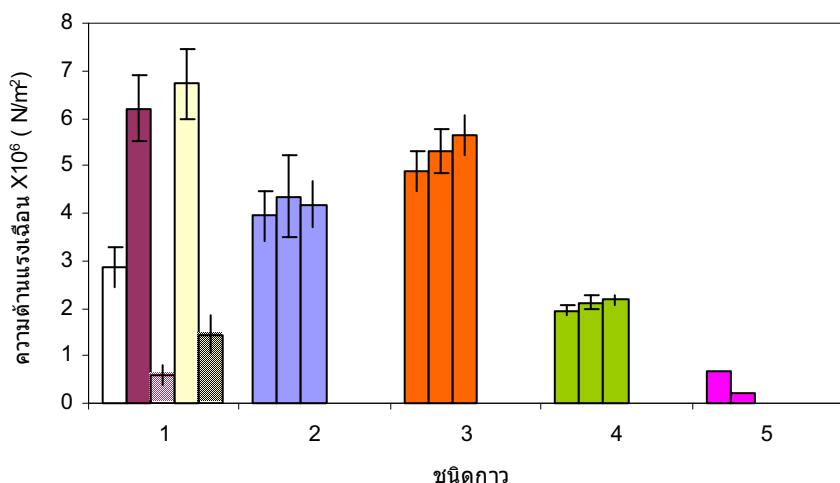
เมื่อเปรียบเทียบกับกาวยางที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวเหนียวเจลลารีโนเซ็ต และกาวยางที่มีส่วนผสมของคิวามะโนนอิมัลชัน พบว่าความต้านแรงลอกของกาวยางที่มีส่วนผสม Petroleum resin และ กาวยางที่มีส่วนผสม Terpene phenolic resin ให้ค่าความต้านแรงลอกสูงกว่า แต่หากเปรียบเทียบกับความต้านแรงลอกของกาวยางที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวเหนียวเจลลารีโนเซ็ต ร่วมกับคิวามะโนนอิมัลชัน พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับความต้านแรงลอกของกาวยางที่มีส่วนผสม Petroleum resin และ กาวยางที่มีส่วนผสม Terpene phenolic resin

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองกับงานวิจัยของอรสา ภัทร ไพบูลย์ชัย และเรวดี แต่งเกลี้ยง (2544) ซึ่งใช้สูตรในการผลิตกาวไกล์เคียงกับงานวิจัยนี้โดยผลิตกาวจากน้ำยาางข้น พบว่า กาวยางที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดมีค่าความต้านแรงลอกเท่ากับ  $1.75 \text{ kN/m}$  และงานวิจัยของ อารชีชัน แกสман และคณะ [32] พบว่ากาวจากยางแห้งที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดมีค่าความต้านแรงลอกเท่ากับ  $1.90 \times 10^{-3} \text{ kN/m}$  และกาวที่ผสม coumarone indene resin ที่ 10 phr ให้ค่าความต้านแรงลอกสูงสุดเท่ากับ  $3.53 \times 10^{-3} \text{ kN/m}$  จากงานวิจัยห้องสอง พบว่ากาวยางที่ผลิตจากน้ำยาางธรรมชาติ อีพอกไซด์ที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดให้ค่าความต้านแรงลอกเท่ากับ  $4.4 \text{ kN/m}$  ซึ่งค่าที่ได้สูงกว่า กาวที่ผลิตจากน้ำยาางข้นและการที่ผลิตจากยางแห้ง อย่างไรก็ตามงานวิจัยชิ้นนี้ไม่สามารถทดสอบ

ความต้านแรงลอกหลังการ เช่น น้ำของกาวทุกชนิด ได้เนื่องจากการเกิดการหลุดล่อนของกาวและไม่หลังการ เช่น น้ำ

#### 4.14 การทดสอบความต้านแรงเฉือน

การทดสอบความต้านแรงเฉือนเป็นการทดสอบการที่แข็งตัวอย่างสมบูรณ์ เพื่อประเมินแรงยึดเกาะของกาวกับไม้ยางพารา เช่นเดียวกับการทดสอบความต้านแรงลอก แต่จะใช้ชิ้นทดสอบ 10 ชิ้นต่อหนึ่งตัวอย่าง ซึ่งผลการทดสอบ แสดงดังภาพประกอบที่ 70



ภาพประกอบที่ 70 กราฟแสดงผลของชนิดกาวต่อความต้านแรงเฉือน

หมายเลข	ชนิดของกาว
1	กาวยางที่ไม่ใส่สารตัวเติม, กาว TOA, กาว TOA ( เช่น น้ำ ), กาว UF, กาว UF ( เช่น น้ำ )
2	กาวยางผสม Petroleum resin 15, 30, และ 45 phr
3	กาวยางผสม Terpene phenolic resin 30, 45 และ 60 phr
4	กาวยางผสมชัน 10, 15 และ 20 phr
5	กาวยางงานวิจัยของอรสา ภัทร ไพบูลย์ชัย และเรวดี แต่งเกลี้ยง [44], มาตรฐาน พลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมโพลิไวนิลอะซิเทตอิมัลชันสำหรับไม้ มอก.181-2530 [23]

จากภาพประกอบที่ 70 แสดงผลของชนิดการต่อความต้านแรงเฉือน พบร่วมกับชิ้นทดสอบที่ติดกาว TOA และกาว UF ภายหลังการดึงมีส่วนของเศษไม้ของชิ้นทดสอบด้านหนึ่งติดอยู่กับชิ้นทดสอบอีกด้าน แสดงให้เห็นว่า กาว TOA และกาว UF มีการดูดซึมและซึมซาบของไบโภคทรูพรูนในเนื้อไม้ได้ดีทำให้เกิดแรงยึดเกาะระหว่างกาวกับไม้สูง ส่งผลให้ความต้านแรงเฉือนมีค่าสูงกว่ากาวยางที่ไม่ได้ผสมสารเพิ่มการยึดติด และกาวยางสูตรต่างๆ ที่ผสมสารเพิ่มการยึดติด ในขณะที่กาวยางที่ไม่ได้ใส่สารเพิ่มการยึดติด และกาวยางสูตรต่างๆ ที่ใส่สารเพิ่มการยึดติดชิ้นไม้ทดสอบทั้งสองแยกออกจากกัน โดยไม่มีเศษไม้ติดมาด้วยมีแต่รากกาวยางที่แห้งติดอยู่บนชิ้นทดสอบทั้งสองด้าน เหตุผลเช่นเดียวกับการอธิบายผลของชนิดการต่อความต้านแรงลอก เนื่องจากส่วนใหญ่ของพาราเบนเรวนิวหน้าทำให้แรงยึดเกาะระหว่างกาวกับไม้ต่ำ จึงทำให้ค่าความต้านแรงเฉือนที่ได้มีน้อยลงและลักษณะของชิ้นทดสอบของกาวยางภายหลังการดึงเกิดความเสียหายเฉพาะตรงจุดทากาวไม้ได้เกิดบริเวณเนื้อไม้

ความต้านทานแรงเฉือนของกาวยางที่ใส่สารเพิ่มการยึดติดมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารเพิ่มการยึดติดที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณสารเพิ่มการยึดติดที่เพิ่มมากขึ้นทำให้แนวโน้มที่วงแหวนโมเลกุลของ Terpene phenolic resin และ Petroleum resin แตกออกแล้วเกิดเป็นหมู่ไฮดรอกซิลทำให้สามารถเกิดเป็นพันธะไฮโดรเจนได้สูงมาก เพราะ Terpene phenolic resin และ Petroleum resin เป็นสารที่มีไฮโดรเจนและออกซิเจนเป็นองค์ประกอบสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับเนื้อไม้ที่เป็นเซลลูโลสได้และถ้ามีปริมาณมากขึ้นก็จะสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนได้มากขึ้น ส่งผลให้ความแข็งแรงของการติดประสานเพิ่มขึ้นด้วย แต่การใส่สารเพิ่มการยึดติดสามารถใส่ได้ในปริมาณที่จำกัด เพราะจะทำให้กาวที่เตรียมได้เสียสภาพ โดย Petroleum resin สามารถใส่ได้ในปริมาณสูงสุด 45 phr ในขณะที่ Terpene phenolic resin ใส่ได้ถึง 60 phr และยังมีแนวโน้มที่สามารถใส่เพิ่มได้อีก จากการทดลองกาวยางที่ใส่ Terpene phenolic resin 60 phr ให้ค่าความต้านแรงเฉือนสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับกาวยางสูตรอื่นๆ ซึ่งรวมถึงกาวยางที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวเหนียวเจลาตินซ์ และกาวยางที่มีส่วนผสมของคิวามะโนรอนอิมัลชัน

เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของอรสา ภัทร ไฟบูลย์ชัย และเรวดี แต่งเกลี้ยง [44]

ที่ผลิตกาวจากน้ำยางข้น พบร่วมกับความต้านแรงเฉือนของกาวที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดมีค่าเท่ากับ  $0.69 \times 10^6 \text{ N/m}^2$  ซึ่งค่าที่ได้นี้น้อยกว่ากาวที่ผลิตจากน้ำยางธรรมชาติอีกอย่างไรที่ไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดมีค่าแรงเฉือนเท่ากับ  $2.85 \times 10^6 \text{ N/m}^2$  ซึ่งจะเห็นได้ว่าการผลิตกาวโดยเลือกใช้น้ำยางพาราเป็นวัตถุดินจะดีกว่าการใช้ยางแห้ง เนื่องจากกาวที่ผลิตได้จะมีสมบัติด้านการยึดติดที่ดีกว่า อย่างไรก็ตามงานวิจัยชิ้นนี้ไม่สามารถทดสอบความต้านแรงลอกหลังการแซ่นนำของกาวทุกชนิดได้เนื่องจากการเกิดการหลุดล่อนของกาวและไม่หลังการแซ่นนำ

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

#### ส่วนที่ 1 สรุปผลตามขอบเขตงานวิจัยโดยใช้ Coumarone resin และแป้งข้าวเหนียว เจลلاتอไนซ์ เป็นส่วนผสมร่วมในการน้ำยาางธรรมชาติอีพอกไซด์

1. การเตรียมยางธรรมชาติอีพอกไซด์จากการทำปฏิกิริยาอิพอกซิเดชัน พบว่า ปริมาณหมู่อีพอกไซด์ที่เกิดขึ้นบนโนเมเลกุลยางธรรมชาติเพิ่มขึ้นตามเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา และค่า Tg ของยางธรรมชาติอีพอกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณหมู่อีพอกไซด์

2. สารเพิ่มการยึดติดคิวามโนรน เรชินที่ใช้ควรเตรียมในรูปอิมัลชัน และจำเป็นต้องมีการปรับความเป็นกรด-ค่างของน้ำยาางเท่ากัน 8.6 โดยใช้ KOH 10% โดยน้ำหนัก เพื่อป้องกันน้ำยาางจับตัวเป็นก้อนและเสียสภาพ

3. การศึกษาผลของเปอร์เซ็นต์โนมอลอีพอกไซด์ต่อความด้านแรงเฉือนเพื่อใช้ในการเลือกเปอร์เซ็นต์โนมอลอีพอกไซด์ที่เหมาะสมในการเตรียมกาวยาง พบว่าเปอร์เซ็นต์โนมอลอีพอกไซด์ที่เหมาะสมมีค่าเท่ากัน 44% โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาอิพอกซิเดชัน 6 ชั่วโมง ซึ่งที่สภาวะดังกล่าวเป็นสภาวะในการทดลองเพื่อให้ได้น้ำยาางธรรมชาติที่มีคุณสมบัติในการนำมาออกสูตรกาวยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่ให้สมบัติความเป็นกาวดีที่สุดในงานวิจัยชิ้นนี้

4. การศึกษาหมู่ฟังก์ชันของการยาางด้วยเทคนิค FT-IR พบว่ากาวยางที่ผสมแป้งข้าวเหนียวเจลلاتอไนซ์ปรากฏหมู่ฟังก์ชันของ C-O-C ที่อยู่บนโนเมเลกุลของอะไมเลสและอะไมโล-เพกตินในแป้งข้าวเหนียวเจลلاتอไนซ์ และกาวยางที่ผสมคิวมาโนรนอิมัลชันปรากฏวงแหวนเบนซินที่อยู่บนโนเมเลกุลของคิวมาโนรนเรชิน นอกจากนี้ยังปรากฏหมู่ฟังก์ชันของ C=O เพิ่มขึ้นมาใน กาวยางที่ผสมสารเพิ่มการยึดติดทั้งสองชนิดโดยเฉพาะกาวยางที่ผสมคิวมาโนรนอิมัลชัน ซึ่งหมู่ C=O สามารถพบได้ในโนเมเลกุลของกาวยา TOA และกาวยา UF เช่นเดียวกัน

5. อนุภาคของการยาางที่เตรียมได้ทุกชนิด สามารถแทรกตัวเข้าไปในรูพรุนของไม้ยาางพาราได้เนื่องจากมีขนาดอนุภาคเล็กกว่าขนาดรูพรุนของไม้ยาางพารา โดยกาวยาง และกาวยางที่ผสมสารตัวเตินที่เตรียมได้ทุกชนิดมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยใกล้เคียงกันประมาณ 1.1 ไมโครเมตร และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, SD) อยู่ในช่วง 0.5-0.7 โดยขนาดอนุภาคใหญ่สุดที่วัดได้มีขนาด 5.8 ไมโครเมตร ขนาดรูพรุนเฉลี่ยของไม้ยาางพารามีค่าประมาณ 20 ไมโครเมตร

6. การทดสอบเพิ่มการยึดติดทั้ง 2 ชนิดคือ แป้งข้าวเหนียวเจลลาราตีไนซ์และคิวมาโรมอิมลัชันลงในภาวะยาง ส่งผลให้ความต้านแรงลอกของมวลลดลงเนื่องจากการรวมตัวเป็นกลุ่มเล็กๆ ของอนุภาคในการเมื่อยแห้ง จึงทำให้ความเป็นยาง (Elastomer) และความเป็นเนื้อเดียวกันของมวลน้อยลง ตรงกันข้ามกับความต้านแรงเฉือนการทดสอบเพิ่มการยึดติดทั้ง 2 ชนิดคือ แป้งข้าวเหนียวเจลลาราตีไนซ์และคิวมาโรมอิมลัชันลงในภาวะยาง ส่งผลให้ความต้านแรงเฉือนของภาวะเพิ่มขึ้น โดยคิวมาโรมอิมลัชันส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของความต้านแรงเฉือนมากกว่าแป้งข้าวเหนียวเจลลาราตีไนซ์

7. การศึกษาผลของชนิดและปริมาณสารเพิ่มการยึดติด พบว่าภาวะยางที่ทดสอบคิวมาโรมอิมลัชันสามารถยึดติดไม่ได้ดีกว่าภาวะยางที่ทดสอบแป้งข้าวเหนียวเจลลาราตีไนซ์กับคิวมาโรมอิมลัชัน และภาวะยางที่ทดสอบแป้งข้าวเหนียวเจลลาราตีไนซ์ ตามลำดับ และภาวะยางสามารถยึดติดได้ดีมากขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณคิวมาโรมอิมลัชัน ซึ่งปริมาณสูงสุดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ 8 phr สำหรับภาวะยางที่ทดสอบแป้งข้าวเหนียวเจลลาราตีไนซ์สามารถยึดติดไม่ได้ดีที่สุดเมื่อใช้ปริมาณแป้งข้าวเหนียว-เจลลาราตีไนซ์ไม่เกิน 7 phr

8. ภาวะยางที่ทดสอบคิวมาโรมอิมลัชันปริมาณ 8 phr เป็นสูตรรากวัตถุที่ดีที่สุด เนื่องจากมีเนื้อการ ความหนืด และความหนาแน่นผ่านตามมอก. 521-2527 แต่ค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ที่ 9.5 ซึ่งสูงกว่ามอก. 181-2530 เพราะต้องมีการปรับความเป็นกรด-ด่าง เพื่อไม่ให้ภาวะยางจับตัวเป็นก้อน สำหรับความต้านแรงลอก ความต้านแรงเฉือน แรงดึงขนาดเสียงสูงสุด และค่ามอคูลัสแทกร้าวที่ได้เท่ากับ  $0.88 \times 10^6$  kN/m,  $5.08 \times 10^6$  N/m<sup>2</sup>,  $28.40 \times 10^6$  N/m<sup>2</sup> และ  $20.21 \times 10^6$  N/m<sup>2</sup> ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการ TOA ซึ่งเป็นการที่ใช้สำหรับคิดไม่ จึงมีความเป็นไปได้สูงในการพัฒนาภาวะชนิดนี้ให้ใช้งานในอุตสาหกรรม นอกจากนี้ภาวะยางที่เตรียมได้ร้อยละข้อดีตรงที่ไม่เป็นอันตรายกับผู้ใช้และไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม เนื่องจากภาวะยางมีน้ำเป็นส่วนประกอบหลักแต่มีข้อด้อยคือ ไม่ทนต่อการแช่น้ำเนื่องจากการเกิดการหลุดล่อนของภาวะและไม่หลังการแช่น้ำ

## ส่วนที่ 2 การรายงานผลการศึกษาเพิ่มเติมนอกขอบเขตงานวิจัยโดยใช้ Petroleum resin, Terpene phenolic resin, และ ขัน (Dammar) เป็นส่วนผสมร่วมในการน้ำยาหัตกรรมชาติอีพอกไซด์

1. น้ำยาหัตกรรมชาติอีพอกไซด์มีความเสถียรค่อนข้างสูง ในระยะเวลา 10 สัปดาห์ สมบัติต้าน ปริมาณหมูอิพอกไซด์ ความหนืด ค่าความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิกล้ายแก้ว มีค่าคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา
2. การศึกษาผลของชนิดและปริมาณสารเพิ่มการยึดติด พบว่าภาวะยางที่

ผสม Terpene phenolic resin สามารถยึดติดไม่ได้ก็ว่ากาวยางที่ผสม Petroleum resin และกาวยางที่ผสมชัน ตามลำดับ และกาวยางสามารถยึดติดได้มากขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณ Terpene phenolic resin ซึ่งปริมาณสูงสุดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ 60 phr และมีแนวโน้มที่สามารถใส่เพิ่มได้

3. กาวยางที่ผสม Terpene phenolic resin เป็นสารเพิ่มการยึดติดในปริมาณ 60 phr เป็นสูตรกาวที่ดีที่สุด เนื่องจากมีเนื้อกาว ความหนืด และความหนาแน่นผ่านมาตรฐาน ในส่วนความต้านแรงลอก และความต้านแรงเฉือนมีค่า  $2.23 \times 10^6$  kN/m,  $5.64 \times 10^6$  N/m<sup>2</sup> ตามลำดับซึ่งสูงกว่าความต้านแรงลอก และความต้านแรงเฉือนของกาวยางที่ผสมคิวามะโนนอิมลัชันปริมาณ 8 phr ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $0.88 \times 10^6$  kN/m,  $5.08 \times 10^6$  N/m<sup>2</sup> ตามลำดับ และที่สำคัญค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับความต้านแรงเฉือนของกาว UF แต่ค่าความต้านแรงลอกมีค่าเพียงครึ่งหนึ่งของกาว UF ซึ่งเป็นกาวที่ใช้สำหรับติดไม้ที่ใช้ในอุตสาหกรรม

### ข้อเสนอแนะ

จากการทำงานวิจัยเรื่องนี้ พบร่วมกับนักศึกษา ที่น่าสนใจที่จะได้รับการศึกษาเพื่อให้เกิดประโยชน์มากขึ้น ดังนี้

1. ศึกษาแรงดึงขนาดเส้นสูงสุด และค่ามอคูลัตแตกร้าวของกาวยางที่ผสม Terpene phenolic resin 60 phr หรือปริมาณมากกว่า เนื่องจากกาวชนิดนี้มีศักยภาพในการใช้เป็นกาวสำหรับติดไม้ในอุตสาหกรรม จึงควรพัฒนาการชนิดนี้ต่อไป เช่นเดียวกับกาวยางผสมคิวามะโนนอิมลัชันปริมาณ 8 phr

2. ศึกษาอثرการเก็บกาวที่ผลิตได้กับความสามารถในการยึดติด

3. ศึกษาสารPlasticizer ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเพื่อให้กาวสามารถซึมซาบเข้าไปในเนื้อไม้ย่างพาราได้ดีรวมถึงการเติมสาร Plasticizer ลงไปในสูตรกาวเพื่อช่วยทำให้สภาพการซึมมีมากขึ้น ส่งผลต่อการยึดติดที่ดี

4. ควรปรับปรุงชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมยางธรรมชาติอีกด้วย ให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น เช่น การเปลี่ยนใบพัดที่ใช้สำหรับกวนให้มีขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อความเข้ากันได้ของสารเคมีที่ใช้ และการกระจายขนาดอนุภาคของน้ำยาง

5. ศึกษาเกี่ยวกับความต้านทานต่อเชื้อรากของกาว

6. ศึกษาเกี่ยวกับความสามารถในการยึดติดกับวัสดุชนิดอื่นๆ เช่น หนัง โลหะ พลาสติก เป็นต้น

## เอกสารอ้างอิง

- [1] ปรีชา เกียรติกรະجائ. 2533. การและการยึดติดไม้. โครงการเผยแพร่ความรู้ทางผลิตภัณฑ์, คณะวนศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- [2] กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. 2541. ฟอร์มแบบประเมิน. พิมพ์ครั้งที่ 2
- [3] เสาระน่าช่วยจุลจิตต์, เทคโนโลยีของยาง, ภาควิชาวัสดุศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, หน้า 1-29
- [4] Hofmann, w., 1989, Rubber Technology Handbook, New York, Carl Hanser Verlag., p.50
- [5] พิชชา ลิ่วชิรากรณ์. 2543. การปรับปรุงและพัฒนาน้ำยาหารมชาติเพื่อใช้เป็นวัสดุกาว. สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ, คณะพัฒางานและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลเกล้าฯ ชนบุรี
- [6] วรากรณ์ ใจไชยกุล. 2525. น้ำยาหาร. เอกสารทางวิชาการเลขที่ 109 งานอุตสาหกรรมยาง ศูนย์วิจัยยางหาดใหญ่: 199-205.
- [7] วัชรินทร์ สายนำ花. 2544. การศึกษาเรื่องเบลนด์ระหว่างยางหารมชาติอีพอกไซด์กับแป้งมันสำปะหลัง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- [8] ไฟโรมัน กลินพิทักษ์, ยินดี ศรียา และชาลีเมาะ ดีอราโอะ. 2540. การเตรียมผลิตภัณฑ์ยางเหลวจากยางหารมชาติอีพอกไซด์เหลวและกรด 2,4-ไดคลอโรฟินออกซีอะเซติก. ทุนอุดหนุนจากบประมาณแผ่นดินประจำปี 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 และสมบัติการไหลของยางหารมชาติ 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*. 1<sup>st</sup> ed. New York, Chapman & Hall: 1-100.
- [16] Skeist, I. 1990. *Handbook of Adhesives*. 3<sup>rd</sup> ed. New York, Van Nostrand Reinhold: 3-55.
- [17] วราภรณ์ ใจชัยกุล. 2530. กระบวนการผลิตกัมที่ยาง. เอกสารวิชาการเลขที่ 135 ศูนย์วิจัยยางส่งข้าม กรมวิชาการเกษตร
- [18] วราภรณ์ ใจชัยกุล และวิภา เศวตgnนิษฐ์. 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] วราภรณ์ ใจชัยกุล และคณะ. 2541. การผลิตกาวยางจากยางแห้งเพื่อใช้ในงานทั่วไป. ส่วนอุตสาหกรรมยาง สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร
- [21] วราภรณ์ ใจชัยกุล และวิภา เศวตgnนิษฐ์. 2537. ศึกษาการเสริมแรงกาวน้ำยาง. ศูนย์วิจัยและพัฒนาผลิตกัมที่ยาง สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร
- [22] กระทรวงอุตสาหกรรม. 2527. มาตรฐานผลิตกัมที่อุตสาหกรรมกาวยาง มอก.521-2527. โรงพิมพ์สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กทม.
- [23] กระทรวงอุตสาหกรรม. 2530. มาตรฐานผลิตกัมที่อุตสาหกรรมกาวโพลีไวนิลอะซิเทต-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 “Inspecton 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 แซ่เล้า และอุเทน พุทธรักษ์. 2543. การทดสอบความแข็งแรงของ  
ข้อต่อไม้ยางพารา. สาขาวิชาเทคโนโลยีศิลป์อุตสาหกรรม, ภาควิชาగํอสร้างและงานไม้,  
วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- [29] ทนงศักดิ์ เกษตรธรรม. 2534. ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของรอยต่อนิวมีอประสาของ  
ไม้ยางและไม้สัก. สาขาวนผลิตภัณฑ์, ภาควิชานผลิตภัณฑ์, คณะวิศวศาสตร์,  
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 อดิศัย รุ่งวิชานิวัฒน์ และจรัส โพธิ์สีสด. 2540. การผลิตการดักแมลงจาก  
ยางธรรมชาติ. ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- [33] พรพรรณ นิธิอุทัย. 2528. สารเคมีสำหรับยาง. ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์, คณะ  
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์: 270-286.
- [34] อรสา ภัทร ไพบูลย์ชัย และเรวดี แต่งเกลี้ยง. 2544. อายุการเก็บและการปรับปรุงการเชื้อเพลิง  
ของก้านนำยาง. รายงานการเสนอผลงานวิจัยในการประชุมวิชาการเพื่อเผยแพร่  
ผลงานวิจัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี: 181-191.
- [35] กมลรัตน์ ชนพประภัศร์. 2542. วัสดุอุปกรณ์จากเปลือมน้ำมันสำปะหลังกับการใช้งานการเพาะเลี้ยง  
เนื้อเยื่อ. วารสารเพื่อการพัฒนาเทคโนโลยีวัสดุ. 14. หน้า 44-49.
- [36] วรารณ์ ขาวไชยกุล และวิภา เศวตgnนิษฐ์. 2537. ศึกษาการเสริมแรงก้านนำยาง. ศูนย์วิจัยและ  
พัฒนาผลิตภัณฑ์ยาง สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร
- [37] วรรณรัตน์ อุ่นจิตติชัย และจรัส ชมชาลุ. 2542. การศึกษาเบื้องต้นค่านคุณภาพการยึดเหนี่ยวของ  
การอิมัลชัน-โพลิเมอร์-ไอโซไซยาเนต กับไม้ทางการค้า: แรงเฉือนดึงของรอยต่อเกย.  
ส่วนวิจัยและพัฒนาผลิตผลป่าไม้ 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] นาฏญา แซ่ลี่ม. 2545. กิจกรรมชัตติชนิดทันน้ำมัน. โครงการนักศึกษาปริญญาตรี ภาควิชา  
เทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ 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 ผู้ตระ进取์ นันทวงศ์, สุกฤทธิรา รัตนวิไล, ธนาศรัตนวิไล 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 อภิญญาห่วงการตอบรับสำหรับดีพินพ์ในวารสารทางวิชาการ  
“จุฬินธิ์ จิตต์ต่างวงศ์”, สุกฤทธิรา รัตนวิไล, ธนาศรัตนวิไล และ วิริยะ ทองเรือง “ผลกระทบของสารตัวเติมที่มีต่อการน้ำยาหดรูปอีพอกไซด์สำหรับงานข้อต่อเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา”

##### **2. กิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการนำเสนอโครงการไปใช้ประโยชน์:**

2.1 นำเสนอผลงานโดยจัด Booth หัวข้อ ผลงานสารตัวเติมที่มีต่อการน้ำยาหดรูปอีพอกไซด์ ในงานมอ. วิชาการ คณวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 2550

2.2 นำเสนอผลงานโดยจัด Booth หัวข้อ การน้ำยาหดรูปอีพอกไซด์ ในงานมอ. วิชาการ คณวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 2548 พร้อมแผ่นพับประชาสัมพันธ์

2.3 ให้คำอธิบายพร้อมข้อมูลประกอบต่อผู้สนใจทางโทรศัพท์ในหัวข้อ การน้ำยาหดรูปอีพอกไซด์ จำนวน 2 ราย

## ภาคผนวก ฯ

### ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์	กิจกรรมที่วางแผน	กิจกรรมที่ดำเนินการ	ผลที่ได้รับจากการวิจัย
<p>1. ให้ได้ผลิตภัณฑ์น้ำยาหงารมชาติอีพอกไซด์สำหรับใช้ในงานติดไม้ยางพาราที่มีคุณสมบัติเชิงเคมี พลิกส์ และเชิงกลตามมาตรฐานอุตสาหกรรมการ โดยใช้สารเพิ่มความเหนียว Coumarone resin และ แป้งข้าวเหนียวเจลลดีโนซ์ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ กาว</p> <p>2. ทดสอบคุณภาพเชิงเบรียบเทียบของ รอยต่อไม้ยางพาราด้วยการที่ผลิตได้จากน้ำยาหงารมชาติอีพอกไซด์กับการที่ใช้ในโรงงานเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา</p>	<p>1. ติดตั้งและทดสอบอุปกรณ์และเครื่องมือ ถังปฏิกรณ์ที่ใช้ในการผลิตน้ำยาหงารมชาติอีพอกไซด์</p> <p>2. ผลิตน้ำยาหงารมชาติอีพอกไซด์ให้ได้ ปริมาณหนึ่งอีพอกไซด์ที่ต่างกัน 2 ค่า โดย การปรับเปลี่ยนเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา</p> <p>3. วิเคราะห์หาปริมาณหนึ่งอีพอกไซด์ด้วย เทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี</p> <p>4. วิเคราะห์และสรุปผลการผลิตน้ำยาหงารมชาติอีพอกไซด์</p>	<p>1. นำอุปกรณ์และเครื่องมือถังปฏิกรณ์ที่ ภาควิชามีมาปรับปรุงใช้โดยไม่ต้องจัดซื้อ ครุภัณฑ์ใหม่</p> <p>2. สามารถผลิตน้ำยาหงารมชาติอีพอกไซด์ให้ ได้ ปริมาณหนึ่งอีพอกไซด์ที่ต่างกัน 2 ค่า</p> <p>3. สามารถวิเคราะห์ปริมาณหนึ่งอีพอกไซด์ 2 เทคนิคคือเทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี และเทคนิค H-NMR</p> <p>4. วิเคราะห์และสรุปผลการผลิตน้ำยาหงารมชาติอีพอกไซด์</p>	<p>1. ประทับดงประมวล</p> <p>2. ผลิตน้ำยาหงารมชาติอีพอกไซด์ให้ได้ ปริมาณหนึ่งอีพอกไซด์ที่ต่างกันเกิน 2 ค่า นำมายังเคราะห์ผลน้ำยาหงารมชาติอีพอกไซด์ ที่ให้ผลเดียวกัน 44 % โมล อีพอกไซด์</p> <p>3. การวิเคราะห์ปริมาณหนึ่งอีพอกไซด์ด้วย เทคนิค H-NMR ให้ผลแม่นยำจึงเลือกใช้วิธีนี้ ตลอดงานวิจัย</p> <p>4. ยางหงารมชาติอีพอกไซด์ในการทำ ปฏิกิริยาอีพอกไซด์เด็นพบว่าปริมาณหนึ่ง อีพอกไซด์ที่เกิดขึ้นบนไม้เลกุลยางหงารมชาติ เพิ่มขึ้นตามเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา และ ค่า Tg ของยางหงารมชาติอีพอกไซด์มีค่า เพิ่มขึ้นตามปริมาณหนึ่งอีพอกไซด์</p>

วัตถุประสงค์	กิจกรรมที่วางแผน	กิจกรรมที่ดำเนินการ	ผลที่ได้รับจากงานวิจัย
<p>1.ให้ได้ผลิตภัณฑ์น้ำยาหง蓉ชาติอีพอกไซด์สำหรับใช้ในงานติดไม้ยางพาราที่มีคุณสมบัติเชิงเคมี พิสิกส์ และเชิงกลตามมาตรฐานอุตสาหกรรมการ โดยใช้สารเพิ่มความเหนียว Coumarone resin และ เป็นข้าวเหนียวเจลلاتิไนซ์ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ กาว</p> <p>2.ทดสอบคุณภาพเชิงเบรียบเทียบของ รอยต่อไม้ยางพาราด้วยการที่ผลิตได้จากน้ำยาหง蓉ชาติอีพอกไซด์กับการที่ใช้ใน โรงงานเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา</p>	<p>5.ทดสอบคุณสมบัติเชิงเคมี และ คุณภาพของรอยต่อด้วยการหลุดล่อนและ ความแข็งแรงสูงสุดของแรงเหือนด้วยแรง กัดของกาวyuเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ และการ ไอโซไซยาเนต</p> <p>6.ผลิตกาวน้ำยาหง蓉ชาติอีพอกไซด์</p>	<p>5.ทดสอบคุณสมบัติเชิงเคมีและ คุณภาพของรอยต่อด้วย ความด้านแรงเหือน ความด้านแรงลอก การทดสอบความแข็งแรง ของรอยต่อไม้แบบนี้มีอีประสาณในรูปแรง ดึงขนาดเส้นสูงสุด และการทดสอบการดัด สถิติของนี้ ไม่รอยต่อแบบนี้มีอีประสาณ และคงผลด้วยค่ามอคูลัสแทกร้าว ของกาวyu เรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ และการ TOA (กาวโพลีไวนิลอะซีเทต) แทน</p> <p>6.ผลิตกาวน้ำยาหง蓉ชาติอีพอกไซด์ด้วย สูตรที่มีการปรับปรุงจากสูตรพื้นฐานเพื่อ ประสิทธิภาพที่ดีขึ้น โดยมีการโดยการเติม CMC เพื่อเพิ่มความหนืด Potassium oleate เพื่อเพิ่มความเสถียร Salicylic acid สำหรับ การป้องกันเชื้อรา นอกจากนี้ได้ปรับกาว เพื่อให้ได้ pH ที่เหมาะสมและไม่ให้กาวเกิด การแข็งตัว และทำการปรับ % ของเป็นข้าว เหนียวเจลلاتิไนซ์จนได้ % ที่เหมาะสม</p>	<p>5.ทราบค่าต่างๆของการyuเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ และกาว TOA (กาวโพลีไวนิลอะซีเทต) ดัง แสดงในบทที่ 4 ส่วนที่ 1 เพื่อนำไป เปรียบเทียบกับผลต่างๆของการที่เตรียมได้</p> <p>6. กาวจากน้ำยาหง蓉ชาติอีพอกไซด์โดยใช้ น้ำยาหง蓉ชาติอีพอกไซด์ 44 % ด้วยสูตรที่ ดีขึ้นจากสูตรพื้นฐานโดยผสมเป็นข้าวเหนียว เจลلاتิไนซ์ ผสมคิวามโน้มลัซชันและการ ผสมเป็นข้าวเหนียวเจลلاتิไนซ์ร่วมกับคิว โนโนเอมลัซชัน โดยเพิ่มอัตราส่วนของการ มากขึ้นจากอย่างเด็กการวิจัยเดิม และการ การศึกษาการใช้ Petroleum resin, Terpene phenolic resin, และ ชัน (Dammar) เป็น ส่วนผสมร่วมในการน้ำยาหง蓉ชาติอีพอกไซด์เพิ่มอีกด้วย</p>

วัตถุประสงค์	กิจกรรมที่วางแผน	กิจกรรมที่ดำเนินการ	ผลที่ได้รับจากงานวิจัย
<p>1.ให้ได้ผลิตภัณฑ์การจากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์สำหรับใช้ในงานติดไม้ยางพาราที่มีคุณสมบัติเชิงเคมี พิสิกส์ และเชิงกลตามมาตรฐานอุตสาหกรรมการ โดยใช้สารเพิ่มความเหนียว Coumarone resin และ แป้งข้าวเหนียวเจลล่าติไนซ์ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ กาว</p> <p>2.ทดสอบคุณภาพเชิงเบรียบที่ยืนของรอยต่อไม้ยางพาราด้วยการที่ผลิตได้จากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์กับการที่ใช้ในโรงงานเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา</p>	<p>7.ทดสอบคุณสมบัติเชิงเคมี พิสิกส์ ของการที่ผลิตได้ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมการ สำหรับไม้ 4 คุณสมบัติตามที่ระบุ ยกเว้นกรณีค่าความด้านแรงลอกและค่าความด้านแรงดึงหลังการแห้งน้ำ เมื่อทดสอบโดยการ นำชิ้นทดสอบไปแห้งนาน 24 ชั่วโมง พนวจชิ้นทดสอบที่ติดด้วยกาวยางทุกสูตรเกิดการหลุดร่อนออก จึงไม่สามารถทดสอบได้</p> <p>1. กรณี Coumarone เนื่องจากกาวหลุดเป็นแผ่นตลอดทั้งแนวเมื่อแห้งน้ำดังนั้นความยาวของการหลุดล่อนของแนวกาวมีค่าเท่ากับความยาวของระยะทางกาวทั้งชิ้นทดสอบสรุป เปอร์เซนต์การหลุดล่อนของกาวมีค่า 100% จึงไม่ขอทดสอบต่อไป</p> <p>2.กรณีแป้งข้าวเหนียวเจลล่าติไนซ์ ไม่สามารถมองเห็นแนวกาว คล้ายเกิดการเปลี่ยนรูปเป็นของไหหลนดี</p>	<p>7.ทดสอบคุณสมบัติเชิงเคมี พิสิกส์ ของการที่ผลิตได้ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมการ สำหรับไม้ 4 คุณสมบัติตามที่ระบุ ยกเว้นกรณีค่าความด้านแรงลอกและค่าความด้านแรงดึงหลังการแห้งน้ำ เมื่อทดสอบโดยการ นำชิ้นทดสอบไปแห้งนาน 24 ชั่วโมง พนวจชิ้นทดสอบที่ติดด้วยกาวยางทุกสูตรเกิดการหลุดร่อนออก จึงไม่สามารถทดสอบได้</p> <p>1. กรณี Coumarone เนื่องจากกาวหลุดเป็นแผ่นตลอดทั้งแนวเมื่อแห้งน้ำดังนั้นความยาวของการหลุดล่อนของแนวกาวมีค่าเท่ากับความยาวของระยะทางกาวทั้งชิ้นทดสอบสรุป เปอร์เซนต์การหลุดล่อนของกาวมีค่า 100% จึงไม่ขอทดสอบต่อไป</p> <p>2.กรณีแป้งข้าวเหนียวเจลล่าติไนซ์ ไม่สามารถมองเห็นแนวกาว คล้ายเกิดการเปลี่ยนรูปเป็นของไหหลนดี</p>	<p>7. กาวยางที่ผสมความironอิมลัชันปริมาณ 8 phr เป็นสูตรกาวที่ดีที่สุด เนื่องจากมีเนื้อกาว ความหนืด และความหนาแน่นผ่านตามมอก. 521-2527 แต่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 9.5 ซึ่งสูงกว่ามอก.181-2530 เพราะต้องมีการปรับน้ำ เป็นกรด-ด่าง เพื่อไม่ให้กาวยางจับตัว เป็นก้อน สำหรับความด้านแรงลอก ความด้านแรงเฉือน แรงดึงขนาดเล็กสูงสุด ค่ามอดูลัสแทรกซิร้า คือ <math>0.88 \times 10^6</math> kN/m, <math>5.08 \times 10^6</math> N/m<sup>2</sup>, <math>28.40 \times 10^6</math> N/m<sup>2</sup>, <math>20.21 \times 10^6</math> N/m<sup>2</sup> ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับกาว TOA ซึ่งเป็นกาวที่ใช้สำหรับติดไม้จึงมีความเป็นไปได้สูงในการพัฒนาการชนิดนี้ให้ใช้งานในอุตสาหกรรม นอกจากนี้กาวยางที่เตรียมได้ยังมีข้อดีตรงที่ไม่เป็นอันตรายกับผู้ใช้ และไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม เนื่องจากการยังมีน้ำเป็นส่วนประกอบหลัก และกาวยางที่ผสม Terpene phenolic resin เป็นสารเพิ่มการยึดติดในปริมาณ 60 phr เป็นสูตรกาวที่ดีเช่นกัน</p>

วัตถุประสงค์	กิจกรรมที่วางแผน	กิจกรรมที่ดำเนินการ	ผลที่ได้รับจากงานวิจัย
<p>1. ให้ได้ผลิตภัณฑ์การจากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์สำหรับใช้ในงานติดไม้ยางพาราที่มีคุณสมบัติเชิงเคมี พิสิกส์ และเชิงกลตามมาตรฐานอุตสาหกรรมการ โดยใช้สารเพิ่มความเหนียว Coumarone resin และ แป้งข้าวเหนียวเจลล่าติไนซ์ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ กาว</p> <p>2. ทดสอบคุณภาพเชิงเบรียบเที่ยบของ รอยต่อไม้ยางพาราด้วยการที่ผลิตได้จากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์กับการที่ใช้ใน โรงงานเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา</p>	<p>8. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของอิทธิพลต่างๆ ที่มีผลต่อกุณสมบัติของกาว</p> <p>9. ทดสอบคุณภาพรอยต่อของกาวที่ผลิตได้ จากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์กับรอยต่อไม้ยางพารา</p>	<p>8. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของอิทธิพลต่างๆ ที่มีผลต่อกุณสมบัติของกาว</p> <p>9. ทดสอบคุณภาพรอยต่อของกาวที่ผลิตได้ จากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์กับรอยต่อไม้ยางพาราทดสอบ โดยทดสอบความแข็งแรงของรอยต่อเพียง 1 รูปแบบคือการต่อแบบ Finger joint ด้วยการทดสอบ 2 อย่างคือ</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>การดึงนานาเสี้ยน (Tension parallel to grain) (AITC Test 106. 1967)</li> <li>การดัดสติกกี้ (Static bending) (ASTM 1989a)</li> </ol>	<p>8. การทดสอบเพิ่มการยืดติดทั้ง 2 ชนิดคือ แป้งข้าวเหนียวเจลล่าติไนซ์และคิวามารอน อิมัลชันลงในกาวยาง ส่งผลให้ความต้านแรงลดลงของการคล่องเนื่องจากการรวมตัวเป็นกลุ่มเล็กๆ ของอนุภาคในกาวเมื่อแห้ง จึงทำให้ความเป็นยาง (Elastomer) และความเป็นเนื้อดีขึ้นของกาวลดลงโดยคิวามารอน อิมัลชันส่งผลต่อการลดลงของความต้านแรงลดลงมากกว่า ตรงกันข้ามกับความต้านแรง เมื่อการทดสอบเพิ่มการยืดติดทั้ง 2 ชนิดคือ แป้งข้าวเหนียวเจลล่าติไนซ์และคิวามารอน อิมัลชันลงในกาวยาง ส่งผลให้ความต้านแรงเพิ่มขึ้น โดยคิวามารอน อิมัลชันส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของความต้านแรงเล็กน้อยกว่าแป้งข้าวเหนียวเจลล่าติไนซ์ นอกจานนี้มีการศึกษาการศึกษาหมู่ฟังก์ชัน ของกาวยางด้วยเทคนิค FT-IR พบว่ากาวยางที่ผสมแป้งข้าวเหนียวเจลล่าติไนซ์ปรากฎหมู่ฟังก์ชันของ C-O-C ที่อยู่บนโน้ตกลุ่มของ</p>

วัตถุประสงค์	กิจกรรมที่วางแผน	กิจกรรมที่ดำเนินการ	ผลที่ได้รับจากงานวิจัย
<p>1. ให้ได้ผลิตภัณฑ์การจากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์สำหรับใช้ในงานติดไม้ยางพาราที่มีคุณสมบัติเชิงเคมี พิสิกส์ และเชิงกลตามมาตรฐานอุตสาหกรรมการ โดยใช้สารเพิ่มความเหนียว Coumarone resin และ แป้งข้าวเหนียวเจลلاتอินซ์ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ กาว</p> <p>2. ทดสอบคุณภาพเชิงเบรียบเที่ยบของรอยต่อไม้ยางพาราด้วยการที่ผลิตได้จากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์กับการที่ใช้ในโรงงานเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา</p>	<p>8. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของอิทธิพลต่างๆ ที่มีผลต่อกุณสมบัติของกาว</p> <p>9. ทดสอบคุณภาพรอยต่อของกาวที่ผลิตได้จากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์กับรอยต่อไม้ยางพารา</p>	<p>8. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของอิทธิพลต่างๆ ที่มีผลต่อกุณสมบัติของกาว</p> <p>9. ทดสอบคุณภาพรอยต่อของกาวที่ผลิตได้จากน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์กับรอยต่อไม้ยางพาราทดสอบ โดยทดสอบความแข็งแรงของรอยต่อเพียง 1 รูปแบบคือการต่อแบบ Finger joint ด้วยการทดสอบ 2 อย่างคือ</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>การดึงนานาเสี้ยน (Tension parallel to grain) (AITC Test 106. 1967)</li> <li>การดัดสติกกี้ (Static bending) (ASTM 1989a)</li> </ol>	<p>อะไเมเลสและอะไโนโล-เพกตินในแป้งข้าวเหนียวเจลلاتอินซ์ และกาวยางที่ผสมคิวนาโรมอิมัลชันปรากวุวงแหวนbenzeneที่อยู่บนโมเลกุลของคิวนาโรมเรซิน นอกจากนี้ยังปรากวุวงฟังก์ชันของ C=O เพิ่มขึ้นมาในกาวยางที่ผสมสารเพิ่มการยึดติดทั้งสองชนิด และพมมากในการทดสอบคิวนาโรมเรซิน ชั่งหมู่ C=O สามารถพบได้ในโมเลกุลของ กาว TOA และกาว UF เช่นเดียวกัน</p> <p>9. ดั้งผลแสดงในบทที่ 4 และ 5 อนุภาคของ กาวยางที่เตรียมได้ทุกชนิด สามารถแทรกตัวเข้าไปในรูปrunของไม้ยางพาราได้เนื่องจากมีขนาดอนุภาคเล็กกว่าขนาดรูปrunของไม้ยางพารา โดยกาวยาง และกาวยางที่ผสมสารตัวเติมที่เตรียมได้ทุกชนิดมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยใกล้เคียงกันประมาณ 1.1 ไมโครเมตร และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, SD) อยู่ในช่วง 0.5-0.7 โดยขนาดอนุภาคใหญ่สุดที่วัดได้ประมาณ 5.8</p>

วัตถุประสงค์	กิจกรรมที่วางแผน	กิจกรรมที่ดำเนินการ	ผลที่ได้รับจากการวิจัย
<p>1. ให้ได้ผลิตภัณฑ์จากน้ำยาห้องชุดอีพอกไซด์สำหรับใช้ในงานติดไม้ย่างพาราที่มีคุณสมบัติเชิงเคมี พิสิกส์ และเชิงกลตามมาตรฐานอุตสาหกรรมการ โดยใช้สารเพิ่มความเหนียว Coumarone resin และ แป้งข้าวเหนียวเจลล่าติไนซ์ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ กาว</p> <p>2. ทดสอบคุณภาพเชิงเบรียบเทียบของรอยต่อไม้ย่างพาราด้วยการที่ผลิตได้จากน้ำยาห้องชุดอีพอกไซด์กับการที่ใช้ในโรงงานเฟอร์นิเจอร์ไม้ย่างพารา</p>	<p>9. ทดสอบคุณภาพรอยต่อของกาวที่ผลิตได้จากน้ำยาห้องชุดอีพอกไซด์กับรอยต่อไม้ย่างพารา</p> <p>10. เปรียบเทียบประสิทธิภาพ และคุณสมบัติต่างๆ กาวyuเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ และกาวไออกไซด์ ใช้yanen กับกาวจากน้ำยาห้องชุดอีพอกไซด์</p>	<p>9. ทดสอบคุณภาพรอยต่อของกาวที่ผลิตได้จากน้ำยาห้องชุดอีพอกไซด์กับรอยต่อไม้ย่างพาราทดสอบ โดยทดสอบความแข็งแรงของรอยต่อเพียง 1 รูปแบบคือการต่อแบบ Finger joint ด้วยการทดสอบ 2 อย่างคือ</p> <p>1. การดึงขนาดเส้น (Tension parallel to grain) (AITC Test 106. 1967)</p> <p>2. การดัดสติทิย (Static bending) (ASTM 1989a)</p>	<p>ไมโครเมตร ขนาดครูพรุนเฉลี่ยของไม้ย่างพารามีค่าประมาณ 20 ไมโครเมตร กาวยางที่ผสมคุณภาพอนอมลัชันสามารถขึ้นติดไม้ได้ดีกวากาวยางที่ผสมแป้งข้าวเหนียวเจลล่าติไนซ์กับคุณภาพอนอมลัชัน และกาวยางที่ผสมแป้งข้าวเหนียวเจลล่าติไนซ์ ตามลำดับ และกาวยางสามารถขึ้นติดได้มากขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณคุณภาพอนอมลัชัน ซึ่งปริมาณสูงสุดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ 8 phr โดยมีความต้านแรงงอก ความต้านแรงเฉือน แรงดึงขนาดเส้นสูงสุด ค่ามอคูลัสแตกร้าว คือ <math>0.88 \times 10^6</math> kN/m, <math>5.08 \times 10^6</math> N/m<sup>2</sup>, <math>28.40 \times 10^6</math> N/m<sup>2</sup>, <math>20.21 \times 10^6</math> N/m<sup>2</sup> ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการ TOA ซึ่งเป็นการที่ใช้สำหรับติดไม้ จึงมีความเป็นไปได้สูงในการพัฒนาการชนิดนี้ให้ใช้งานในอุตสาหกรรม</p>

วัตถุประสงค์	กิจกรรมที่วางแผน	กิจกรรมที่ดำเนินการ	ผลที่ได้รับจากงานวิจัย
<p>1.ให้ได้ผลิตภัณฑ์กาวจากน้ำยางชรรมชาติอีพอกไซด์สำหรับใช้ในงานติดไม้ยางพาราที่มีคุณสมบัติเชิงเคมี พลิกก์ และเชิงกลตามมาตรฐานอุตสาหกรรมการ โดยใช้สารเพิ่มความเหนียว Coumarone resin และ แป้งข้าวเหนียวเจลอะติไนซ์ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ กาว</p> <p>2.ทดสอบคุณภาพเชิงเบรียบเทียบของ รอยต่อไม้ยางพาราด้วยการที่ผลิตได้จากน้ำยางชรรมชาติอีพอกไซด์กับกาวที่ใช้ใน โรงงานเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา</p>	<p>10. เปรียบเทียบประสิทธิภาพ และคุณสมบัติต่างๆ กาวyuเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ และกาวไโอลไซด์ กับกาวจากน้ำยางชรรมชาติอีพอกไซด์</p>	<p>10. เปรียบเทียบประสิทธิภาพ และคุณสมบัติต่างๆ กาวyuเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ และ TOA (กาวโพลีไวนิโลอะซีเทต) กับกาวจากน้ำยางชรرمชาติอีพอกไซด์</p>	<p>10. มีค่าใกล้เคียงกับกาว TOA ซึ่งเป็นกาวที่ใช้สำหรับติดไม้ จึงมีความเป็นไปได้สูงในการพัฒนาการชนิดนี้ให้ใช้งานในอุตสาหกรรมแต่ยังมีประสิทธิภาพด้อยกวากาวyuเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ แต่ยังไรงี้ก็ตามกาวที่เตรียมได้ไม่สามารถวัดค่าความต้านแรงลอกและค่าความต้านแรงเฉือนหลังการแข่น้ำตามมาตรฐานได้เนื่องจากเมื่อนำชิ้นทดสอบไปแข่นนาน 24 ชั่วโมง พบร่วมกันทดสอบที่ติดด้วยกาวยางทุกสูตรเกิดการหลุดร่อนออก</p>





### ภาคผนวก ค

#### **คุณลักษณะทางฟิสิกส์ของการชนิดต่างๆ**

ตารางที่ 22 คุณลักษณะทางฟิสิกส์ของการยาง (ตามมอก.521-2527)

คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด	
	ใช้ทั่วไป	ทนนำมัน
1. เนื้อการ 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  grammต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ไม่น้อยกว่า	0.72 ถึง 0.92	0.72 ถึง 0.92
4. ความต้านแรงลอก นิวตันต่อความกว้าง 25 มิลลิเมตร ไม่น้อยกว่า		
- ไม่ได้ เช่น น้ำหรือน้ำมัน	50	50
- ภายนอก เช่น น้ำ	50	50
- ภายนอก เช่น น้ำมัน	-	50
5. ความต้านแรงเฉือน กิโลพาสคัล ไม่น้อยกว่า		
- ไม่ได้ เช่น น้ำหรือน้ำมัน	220	550
- ภายนอก เช่น น้ำ	220	330
- ภายนอก เช่น น้ำมัน	-	330

ตารางที่ 23 คุณลักษณะที่ต้องการของภาวะเรซินสังเคราะห์ (ฟีโนลิกและอะมิโนปลาสติก) สำหรับผลิตภัณฑ์ไม้อื่นๆ (ตามมอก.360-2523)

คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด ใช้กับรอยต่อแบบสนิท		
	ประเภท ภายนอก	ประเภท ภายใน	ประเภท ชั้วครัว
1. ความต้านทานต่อน้ำเย็น วัดเป็นค่าความแข็งแรงของรอยต่อของการ เมกาป้าสกาล (กิโลกรัมแรงต่อตาราง เซนติเมตร) ไม่น้อยกว่า	3.5 (35)	3.5 (35)	3.5 (35)
2. ความต้านทานต่อน้ำร้อน วัดเป็นค่าความแข็งแรงของรอยต่อของการ เมกาป้าสกาล (กิโลกรัมแรงต่อตาราง เซนติเมตร) ไม่น้อยกว่า	2.2 (22)	2.1 (21)	-
3. ความต้านทานต่ำลินทรี วัดเป็นค่าความแข็งแรงของรอยต่อของการ เมกาป้าสกาล (กิโลกรัมแรงต่อตาราง เซนติเมตร) ไม่น้อยกว่า	2.8 (28)	2.8 (28)	-

ตารางที่ 24 คุณลักษณะทางฟิสิกส์ของกาวโพลีไวนิลอะซิเทตอิมัลชัน (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-ค่าคง	4 ถึง 7	4 ถึง 7
5. ความต้านแรงตอก นิวตันต่อความกว้าง 25 มิลลิเมตร ไม่น้อยกว่า	50	50
6. ความต้านแรงเฉือน กิโลพาสคัล ไม่น้อยกว่า - ไม่ได้แข่น้ำ - ภายนอกการแข่น้ำ	10,000 5,000	10,000 5,000

**ภาคผนวก ง**  
**ผลการทดสอบคุณสมบัติของกาว**

ตารางที่ 25 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติของกาวก่อนใช้งาน

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

ตารางที่ 25 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติการก่ออุ่นใช้งาน (ต่อ)

สูตรกาว	ผลการทดสอบ			
	เนื้อกาว (ร้อยละ)	ความหนืด (cps)	ความเป็น กรด-ด่าง	ความหนาแน่น (g/cm <sup>3</sup> )
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

สูตรกาว	ผลการทดสอบ				
	ความต้าน แรงลอก $\times 10^6$ (kN/m)	ความต้านแรงเฉือน $\times 10^6$ (N/m <sup>2</sup> )		tensile $\times 10^6$ (N/m <sup>2</sup> )	compress $\times 10^6$ (N/m <sup>2</sup> )
		ไม่แซ่น้ำ	แซ่น้ำ		
กาวยาง	4.4	2.85	-	16.13	13.98
กาว + คิวมาโรนอิมลชัน 6 phr	1.9	4.18	-	-	-
กาว + คิวมาโรนอิมลชัน 7 phr	1.5	4.72	-	-	-
กาว + คิวมาโรนอิมลชัน 8 phr	0.9	5.08	-	28.40	20.21
กาว + แป้งข้าวเหนียวเจลลาติ-ไนซ์ 6 phr	2.5	3.47	-	-	-
กาว + แป้งข้าวเหนียวเจลลาติ-ไนซ์ 7 phr	2.2	4.21	-	20.83	16.27
กาว + แป้งข้าวเหนียวเจลลาติ-ไนซ์ 8 phr	1.2	3.34	-	-	-
กาว + แป้งข้าวเหนียวเจลลาติ-ไนซ์ 5.25 phr : คิวมาโรน อิมลชัน 1.75 phr	2.0	4.24	-	-	-

ตารางที่ 26 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติการหลังใช้งาน (ต่อ)

สูตรการ หลอม	ผลการทดสอบ				
	ความต้าน แรงลอก X10 <sup>6</sup> (kN/m)	ความต้านแรงเฉือน X10 <sup>6</sup> (N/m <sup>2</sup> )		tensile X10 <sup>6</sup> (N/m <sup>2</sup> )	compress X10 <sup>6</sup> (N/m <sup>2</sup> )
		ไม่น้ำ แข็ง	น้ำ แข็ง		
กาว + แป้งข้าวเหนียวเจลล่าติ-ไนซ์ 3.5 phr : คิวมาiron อิมลัชัน 3.5 phr		4.09	-	-	-
กาว + แป้งข้าวเหนียวเจลล่าติ-ไนซ์ 1.75 phr : คิวมาiron อิมลัชัน 5.25 phr	3.4	3.33	-	-	-
กาว + แป้งข้าวเหนียวเจลล่าติ-ไนซ์ 6 phr : คิวมาiron อิมลัชัน 2 phr	2.6	4.34	-	23.91	17.59
กาว + แป้งข้าวเหนียวเจลล่าติ-ไนซ์ 4 phr : คิวมาiron อิมลัชัน 4 phr	3.1	4.06	-	-	-
กาว + แป้งข้าวเหนียวเจลล่าติ-ไนซ์ 2 phr : คิวมาiron อิมลัชัน 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 “การพัฒนาการสำหรับใช้ในงานติดไม้ยางพาราจากน้ำยางธรรมชาติอิพอกไซด์”**

ความเห็นผู้ทรงคุณวุฒิและ สปว.ยางพารา	คำชี้แจงของนักวิจัย
1. ขาดการทดสอบการแข็ง化 ตามมาตรฐาน มอก. 360-2523	1. เพิ่มเติมตามคำแนะนำในหน้าที่ 88, 106, 108
2. อภิปรายผลการทดลองเบรียบเทียบกับการที่ใช้ในโรงงานและมาตรฐาน มอก. 360-2523	2. เพิ่มเติมตามคำแนะนำในหน้าที่ 86-88
3. อธิบายวิธีการเตรียมตัวอย่างการวิเคราะห์ FTIR ของยาง	3. เพิ่มเติมตามคำแนะนำในหน้าที่ 74
4. กรณีเคราะห์ข้อมูลควรพิจารณาการ wetting ของวัสดุ	4. ไม่ขอเพิ่มเติมในส่วนนี้เนื่องจากไม่อยู่ในกิจกรรมที่ตั้งไว้ถึงแม้ว่าเป็นสิ่งที่น่าสนใจศึกษา เนื่องจากระยะเวลาและงบประมาณที่ถูกกำหนด นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ทำงานในส่วนต่างๆ เพิ่มเติมจากข้อกำหนดไว้มาก เพื่อตอบโจทย์คำถามต่างๆ ของผู้ทรงคุณวุฒิ
5. ควรเพิ่มข้อมูลของ ภาษา ENR	5. เพิ่มเติมตามคำแนะนำในหน้าที่ 85-88
6. ทบทวนคำสรุปในหน้าที่ 109 ข้อ 3	6. แก้ไขเพิ่มเติมตามคำแนะนำในหน้าดังกล่าว
7. คุณภาพของการตามเวลา ควรตรวจสอบการวิเคราะห์ FTIR เพื่อดูโครงสร้างทางเคมีว่าเหมือนเดิมหรือไม่	7. การศึกษาคุณภาพของการตามเวลา กับความสามารถในการยึดติดนั้นไม่ได้อยู่ในขอบเขตของงานวิจัย แต่ผู้วิจัยเห็นด้วยในการศึกษาหัวข้อนี้ จึงได้ระบุไว้ในข้อเสนอแนะดังต่อไปนี้ ฉบับสมบูรณ์
8. ทบทวนการวิจารณ์การซึมผ่านเนื้อไม้ของกาวยาง	8. ได้ปรับการอธิบายเรื่องการซึมผ่านเนื้อไม้ของกาวยางบางส่วนตามรายละเอียดข้อที่ 14 แต่ไม่สามารถทำการทดลองเพิ่มเติมเพื่อยืนยันผลการซึมของอนุภาคในเนื้อไม้ได้
9. นักวิจัยกำหนดการทางการให้ได้ปริมาณเนื้อกาวเท่ากันอย่างไร	9. ชี้แจงตามคำแนะนำในหน้าที่ 32 (ทางการให้ได้ปริมาณเนื้อกาวตามมาตรฐานที่กำหนดคือ ประมาณ 150 g/m <sup>2</sup> )

ความเห็นผู้ทรงคุณวุฒิและ สปว.ধ.พ.ฯ	คำชี้แจงของนักวิจัย
10. น่าจะมีการทดลองเพิ่มเพื่อดูว่ากาว TOA และ UF ซึ่งเข้าเนื้อไม่ได้ดีกว่ากาวยางหรือไม่	10. ไม่ขอเพิ่มเติมการทดลองในส่วนนี้เนื่องจาก ระยะเวลาและงบประมาณที่ถูกกำหนด นอกจากรายงานนี้ ผู้วิจัยได้ทำงานในส่วนต่างๆ เพิ่มเติมจากข้อกำหนด ไว้มาก (ดังเห็นได้จากการความเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ 4 ท่านจาก 5 ท่าน) เพื่อตอบโจทย์คำถามต่างๆ ของ ผู้ทรงคุณวุฒิ
11. ทำไม่ให้กาวยางที่ผสมคิวามiron อิมลัชัน มีการแยก เฟสหังที่มีแป้งและไม่มีแป้งยังคงให้ความแข็งแรงสูง กว่า	11. เนื่องจากผล SEM หน้าที่ 79 ไม่ได้ระบุรูปให้ชัดเจนทำให้เกิดความสับสนนิดหน่อยของการยางและ รูปได้ซึ่งผลแสดงว่ากาวยางที่ผสมคิวามiron อิมลัชัน ไม่ปรากฏการแยกเฟส เนพาะกาวยางที่ผสมแป้ง เท่านั้นที่สังเกตเห็นการแยกเฟส ด้านความแข็งแรง ของการยึดติดขึ้นกับการไม่แยกเฟสและความ แข็งแรงของกาว ซึ่งทำให้เกิด Mechanical Interlocking
12. ควรหา Tg ยางธรรมชาติ เพื่อนำมาเปรียบเทียบ กับอิพโอลิซีด	12. เพิ่มเติมตามคำแนะนำในหน้าที่ 64
13. ให้เหตุผลเพิ่มเติมว่าทำไม่เจิงเติม TiO <sub>2</sub>	13. เพิ่มเติมตามคำแนะนำในหน้าที่ 54
14. การอธิบายหน้า 77 ไม่ค่อยชัดเจน	14. ได้ปรับเปลี่ยนการอธิบายใหม่ เนื่องจากผลการ ทดลองในส่วนนี้ทำขึ้นตามคำแนะนำของ ผู้ทรงคุณวุฒิก่อนหน้า ต้องการยืนยันว่าขนาด อนุภาคของกาวยางมีขนาดเล็กกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของรูปฐานของไม้ยางพารา ดังนั้นขนาด อนุภาคกาวยางไม่เป็นอุปสรรคในการผ่านรูปฐานของ ไม้ยางพารา
15. ขึ้นๆ ข่ำๆ ให้ดูเอกสารที่แนบมาประกอบ	15. ได้แก้ไขไว้ในแต่ละหัวข้อตามข้อแนะนำของ ผู้ทรงคุณวุฒิตามความเหมาะสมเป็นที่เรียบร้อย