



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยขนาดเล็กเรื่องยางพารา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี : คุณสมบัตการยัดติคของยางธรรมชาติ

โดย

ดร. ณัฐพงศ์ นิธิอุทัย และคณะ

31 พฤษภาคม 2549

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ คุณสมบัติการยึดติดของยางธรรมชาติ

คณะผู้วิจัย	สังกัด
1. ดร. ณัฐพงศ์ นิธิอุทัย	ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี
2. ทิฆัมพร สุทธิจุฑามณี	ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี
3. เกียรติศักดิ์ สังแก้ว	ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี

ชุดโครงการ โครงการวิจัยขนาดเล็กเรื่องยางพารา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเป็นด้วยเสมอไป)

บทสรุปรายงานสำหรับผู้บริหาร

คุณสมบัติการยึดติดของยางธรรมชาติ

Adhesion Properties of Natural Rubber

ดร. ณัฐพงศ์ นิธิอุทัย

ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี อ.เมือง จ. ปัตตานี 94000

โทรศัพท์ 073-313930-50 ext. 1863, โทรสาร 073-331099

E-mail: nattapong@nrfoam.org

นักศึกษาหรือนักวิจัย : ทิมมพร สุทธิจุฑามณี, เกียรติศักดิ์ สังแก้ว

ระยะเวลาดำเนินงาน 6 เดือน ตั้งแต่วันที่ 1 ธันวาคม 2548 ถึงวันที่ 31 พฤษภาคม 2549

ปัญหาที่ท้าวิจัยและความสำคัญ

ยางธรรมชาติเป็นทรัพยากรที่มีความผูกพันกับเกษตรกรในภาคต่าง ๆ ของประเทศ มากกว่า 1 ล้านครอบครัว และมีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศเป็นอย่างยิ่ง ผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติที่ได้รับความนิยมและผลัดกันเป็นอย่างมากอีกประเภทหนึ่งคือ การประยุกต์ใช้ในงานกาว, สารยึดติด และ ซีลเลอร์ ซึ่งทิศทางการวิจัยจะเน้นไปในทางพัฒนาผลิตภัณฑ์ หรือการประยุกต์ใช้ยางธรรมชาติเพื่อใช้ในการทดแทนวัสดุสังเคราะห์ การวิจัยขั้นพื้นฐานเกี่ยวกับคุณสมบัติการยึดติด และการใช้ประโยชน์ยางธรรมชาติที่มีอยู่ในรูปแบบที่หลากหลายให้เหมาะสมนั้นกลับถูกมองข้ามไป ผลิตภัณฑ์ที่ใช้สมบัติพื้นฐานด้านการยึดติดของยางที่น่าสนใจคือผลิตภัณฑ์กาวดินน้ำมัน ซึ่งอาศัยสมบัติการเหนียวติด (tack) ซึ่งเป็นสมบัติเด่นด้านหนึ่งของยางธรรมชาติ การเหนียวติดของยางก่อนการวัลคาไนซ์นั้นนอกจากจะเกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ประเภทกาวดินน้ำมันโดยตรงแล้วยังเกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายประเภท เช่น กระบวนการสร้างยาง เป็นต้น ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าความรู้พื้นฐานทางด้านคุณสมบัติการยึดติดของยางธรรมชาตินั้นจะเป็นความรู้สำคัญที่จะนำมาซึ่งการพัฒนาผลิตภัณฑ์ทางด้านกาว, สารยึดติด และการใช้งานผลิตภัณฑ์ ดังกล่าวได้อย่างถูกต้อง และเหมาะสมมากยิ่งขึ้น

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานเกี่ยวกับการยึดติดของยางธรรมชาติ โดยประยุกต์ความก้าวหน้าทางทฤษฎีโพลีเมอร์ และฟิสิกส์ของยาง มาใช้กับทฤษฎีการยึดติดของยางในแง่ของทฤษฎีการแพร่
2. เพื่อศึกษาหาแนวทางในการเพิ่มมูลค่าของยางเคเรป
3. เพื่อพัฒนาไปสู่ผลิตภัณฑ์กาวดินน้ำมัน หรือผลิตภัณฑ์คล้ายดินน้ำมันอื่น ๆ ที่สามารถถ่ายทอดสู่ชุมชนได้ง่ายเนื่องจากใช้เครื่องมือการเตรียมน้อย

ผลการดำเนินงาน

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเพื่อศึกษาสมบัติพื้นฐานการยึดติดของยางธรรมชาติก่อนการวัลคาไนซ์ หรือ สมบัติการเหนียวติด (tack) โดยใช้ยางธรรมชาติสกิมเป็นหลัก ส่วนประกอบพื้นฐานที่ศึกษาคือ ชนิดและปริมาณ ของน้ำมัน, ปริมาณแคลเซียมคาบอเนต และระยะเวลาในการบดยาง ต่อสมบัติพื้นฐานและสมบัติยึดติดบน ชัปสเตอร์ที่เป็นไม้และกระดาษ สมบัติพื้นฐานของยางจะวัดโดยค่าความเหนียวนี้ ในขณะที่สมบัติยึดติดจะวัด จากค่า Adhesion Strength และ Cold Flow ตามมาตรฐาน ASTM D816 นอกจากนี้ได้ทำการศึกษาการลื่นไหล ของกาวยางที่เป็นลักษณะ adhesive และ cohesive โดยแปรสูตรยาง และศึกษาผลของการเก็บรักษา และผลการ บ่มเร่งต่อสมบัติยึดติดของยาง สุดท้ายได้ทำการศึกษาการวัลคาไนซ์ยางเพื่อพัฒนาความเป็นไปได้สู่ผลิตภัณฑ์ใน รูปแบบต่าง ๆ

จากการวิจัยจะพบว่าความเหนียวนี้ของยางเป็นตัวแปรสำคัญต่อสมบัติยึดติด โดย ค่าความเหนียวนี้ที่สูงจะส่งผลให้มีค่า Adhesion Strength และค่า Cold Flow ที่สูง น้ำมัน Farolin oil จะให้ค่า Adhesion Strength ที่ สูงที่สุดในขณะที่น้ำมัน R15 Oil จะให้ผลการเปลี่ยนแปลงภายหลังการบ่มเร่งที่ต่ำที่สุด การเพิ่มน้ำมันในสูตรจะ ทำให้ค่าความเหนียวนี้ต่ำลง เช่นเดียวกันกับระยะเวลาการบดยางที่นานขึ้น ในทางตรงกันข้ามการเพิ่มปริมาณ แคลเซียมคาบอเนตจะทำให้ค่าความเหนียวนี้สูงขึ้น

ยางสามารถยึดติดกับชัปสเตอร์ไม้ได้ดีกว่ากระดาษ เมื่อมีการเก็บรักษายางจะส่งผลให้มีค่าความเหนียวนี้ที่เพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่การบ่มเร่งทำให้ค่าความเหนียวนี้ลดต่ำลง จากผลการวิจัยทำให้สามารถเข้าถึง สมบัติพื้นฐานของการยึดติดของยางธรรมชาติซึ่งในกรณีนี้จะขึ้นกับกลไก mechanical interlocking ที่พื้นผิวของ ชัปสเตอร์ และ cohesive strength ของตัวยางที่เป็นผลจากความเสียดทานระหว่างสายโซ่โมเลกุล ที่วัดโดย ทางอ้อมจากค่าความเหนียวนี้ ซึ่งจะเห็นได้ว่าชัปสเตอร์ไม้ที่มีพื้นผิวขรุขระมากกว่า และจะสามารถยืนยันได้ จากผลการทดลองที่แปรการลื่นไหลของกาวยางในลักษณะ adhesive และ cohesive โดยจะพบว่าเมื่อเกิดการ ลื่นไหลแบบ adhesive ค่าความแตกต่างระหว่าง Adhesion Strength บนทั้งสองชัปสเตอร์จะมีค่าสูง ในขณะที่เมื่อ เกิดความลื่นไหลแบบ cohesive ทั้งสองชัปสเตอร์ให้ค่า Adhesion Strength ใกล้เคียงกัน

นอกจากนี้นักวิจัยยังแสดงให้เห็นถึงปฏิสัมพันธ์ระหว่างโมเลกุลที่เกิด mechanical interlocking บนผิว ชัปสเตอร์ระหว่างพื้นผิวทั้งสองด้าน โดยการแปรค่าความหนาของชั้นยาง เมื่อเป็นการลื่นไหลแบบ adhesive ซึ่ง ค่า mechanical interlocking เป็นปัจจัยหลักในการกำหนดค่า Adhesion Strength ค่าดังกล่าวจะลดลงเมื่อชั้นยางมี ความหนามากขึ้นแสดงให้เห็นถึงปฏิสัมพันธ์ที่ลดลงตามระยะห่าง ในขณะที่เมื่อการลื่นไหลแบบ cohesive ที่ตัว แปรควบคุมการลื่นไหลกลับเป็น cohesion strength ของยางเองจะไม่มีค่าแตกต่างมากนักเมื่อเปลี่ยนแปลง ความหนาของชั้นยาง

สมบัติของยางที่มีการลื่นไหลแบบ adhesive นี้จะทำให้เหมาะสมในการพัฒนาเป็น gum based adhesive เช่นเดียวกับที่มีขายตามท้องตลาดโดยใช้เครื่องหมายการค้า Blu Tak และ UHU ได้ โดยที่ราคาขายของผลิตภัณฑ์ ตามท้องตลาดมีราคาสูงถึง 500 บาทต่อกิโลกรัม ต้นทุนการผลิตยางตามสูตรที่ได้วิจัยมีราคาเพียง 30-50 บาทต่อ กิโลกรัมเท่านั้น

สุดท้ายนี้เมื่อมีการทดลองการผสมสารวัลคาไนซ์เข้าในสูตรยางเพื่อพัฒนาสู่ผลิตภัณฑ์ในรูปแบบดินเผา จากยางธรรมชาตินั้น จะพบว่าสามารถอบสุกยางที่อุณหภูมิต่ำได้โดยสมบัติทางกายภาพของยางตกลงไม่มาก นกเมื่อเทียบกับการวัลคาไนซ์ยางด้วยการอัดเบ้า และเมื่อมีการเก็บยางที่ขึ้นรูปไว้ที่อุณหภูมิห้องจะเกิดการวัลคา ไนซ์ได้ และจะสามารถคงรูปได้ ซึ่งต่างจากการใช้ดินน้ำมัน ดังนั้นผลิตภัณฑ์ลักษณะดังกล่าวจะมีความสะดวกใน การใช้งานเช่นเดียวกับดินน้ำมัน ในขณะที่สามารถเก็บรักษาได้เป็นเวลานานเช่นเดียวกับการใช้ดินเผา

สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยพบว่าสมบัติการยึดติด (tack) ของกาวยางสกิมเครป หรือกาวดินน้ำมันที่เตรียมด้วยการผสมน้ำมัน และ CaCO_3 ที่ปริมาณต่าง ๆ กันแปรไปตามปริมาณสารตัวเติม โดยผลของปริมาณน้ำมันที่สูงขึ้นทำให้ส่งผลให้แนวโน้มของ adhesion strength ลดลงเล็กน้อย ซึ่งไม่สามารถอธิบายได้ทฤษฎีการแพร่ เนื่องจากน้ำมันควรจะเพิ่มความสามารถในการเคลื่อนที่ของสายโซ่โมเลกุล อย่างไรก็ตามผลการทดลองลักษณะเดียวกันนี้ได้ถูกนำเสนอมาแล้วในการผสมด้วย plasticizer และ processing oil [1] ซึ่งแสดงให้เห็นว่าไม่สามารถใช้ทฤษฎีการแพร่เพียงทฤษฎีเดียวในการศึกษาการยึดติด ข้างที่ใช้เวลาการบดผสมนานขึ้นส่งผลให้มีน้ำหนักโมเลกุล และ adhesion strength ที่ลดลงเนื่องจากกาวยางมี green strength ที่ลดลง แม้ว่าขนาดโมเลกุลที่สั้นจะส่งผลให้โมเลกุลเกิดการแพร่ได้มากขึ้น เช่นเดียวกันกับปริมาณ CaCO_3 ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ green strength ของยางสูงขึ้น และ adhesion strength สูงขึ้น แสดงว่ากาวยางที่ศึกษามีข้อจำกัดของความแข็งแรงของการยึดติดอยู่ที่ green strength ของยาง และการทฤษฎีการแพร่ที่ใช้ในการอธิบายการยึดติดของยางมีข้อจำกัดที่จะอธิบายในกรณีที่มีการยึดติดของยางเป็นไปในรูปแบบที่ความแข็งแรงถูกจำกัดด้วยการแพร่ของโมเลกุลเท่านั้น นอกจากนี้จากการแปรค่าความหนาของชั้นกาวยังทำให้พบว่าอิทธิพลของโมเลกุลของยางนั้นไม่เพียงจะส่งผลต่อหน้าสัมผัสที่เกิดการยึดติดเพียงเท่านั้นแต่ยังมีส่วนต่อการกระจายความเค้นภายในกาวและส่งผลต่อ adhesion strength ของกาวอีกด้วย

เมื่อศึกษาการเตรียมการใช้งานยางสกิมเครปในรูปแบบของกาวดินน้ำมันพบว่า ชนิดของน้ำมันมีผลต่อความสามารถในการจัดเก็บของผลิตภัณฑ์ โดยน้ำมัน R15 สามารถคงสมบัติได้ดีที่สุดในระยะเวลาการจัดเก็บ 42 วัน สมบัติจะเปลี่ยนในช่วง 14 วันแรก โดยค่า cold flow และ adhesion strength จะสูงขึ้นเล็กน้อยและจะค่อนข้างคงที่ไปจนถึงสิ้นสุดระยะเวลาการทดสอบ ยกเว้นตัวอย่างที่มีปริมาณ CaCO_3 สูง 380 phr เท่านั้นที่มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของสมบัติดังกล่าว เมื่อมีการวัดค่าในชั่งยางด้วยการอบอากาศร้อนโดยเปรียบเทียบกับการใช้เครื่องอัดพบว่ามีความแข็งแรง tensile strength และความแข็งแรงต่ำกว่าเล็กน้อย

จากการวิจัยนี้พบว่ายางสกิมเครปสามารถนำมาเตรียมเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทกาวดินน้ำมันที่มีการล้มเหลวของกาวในลักษณะ adhesive failure ได้โดยง่ายมีความสามารถในการเก็บที่ดี นอกจากนี้ยังสามารถเตรียมเป็นผลิตภัณฑ์ในลักษณะดินน้ำมันที่สามารถคงรูปได้หลังการอบอากาศร้อน ซึ่งผลิตภัณฑ์ทั้งสองรูปแบบนี้สามารถเตรียมได้ง่าย ใช้เครื่องมือ สารเคมีน้อย และทักษะค่อนข้างน้อย มีความเหมาะสมในการเผยแพร่ไปสู่ชุมชนได้ดี

ข้อเสนอแนะที่คาดว่าควรวิจัยเพิ่มเติม และวิธีการที่ควรพัฒนาต่อยอดสู่ภาคปฏิบัติจริง

ผลิตภัณฑ์ในทั้งสองลักษณะนี้น่าจะมีความเป็นไปได้ในการพัฒนาสู่ท้องตลาดโดยทั่วไปได้ และระบบการผลิตน่าจะสามารถถ่ายทอดสู่ท้องถิ่นได้โดยไม่ยากนัก เห็นควรที่จะมีการถ่ายทอดสู่กลุ่มเกษตรกรที่มีศักยภาพในการใช้เครื่องบดยางสองลูกกลิ้งขนาดไม่จำเป็นต้องใหญ่มากนักก็จะสามารถเตรียมผลิตภัณฑ์เข้าสู่ท้องตลาดได้โดยไม่ยากนัก

ผลงานทางวิชาการที่คาดว่าจะเกิดขึ้น

1. รางวัลชมเชย ในการประกวดรางวัลนวัตกรรมแห่งชาติ เขตภาคใต้ ปี 2548 ณ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขต หาดใหญ่ หัวข้อเรื่อง “กาวดินน้ำมันจากยางธรรมชาติ”
2. รางวัลชมเชย และ รางวัล popular vote ในการประกวดรางวัลนวัตกรรมแห่งชาติ เขตภาคใต้ ปี 2549 ณ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขต หาดใหญ่ หัวข้อเรื่อง “ดินเผายางธรรมชาติ”

3. เสนอผลงานแบบบรรยาย ในงานประชุมวิชาการเพื่อนำเสนอผลงานวิจัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี เรื่อง “การศึกษาการล้มเหลวแบบโคฮีซีฟในการตีประสานของยางธรรมชาติสกิม”

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมบัติการยึดติด (tack) ของกาวยางสกิมเครป หรือกาวดินน้ำมันที่เตรียมด้วยการผสมน้ำมัน และ CaCO_3 ที่ปริมาณต่าง ๆ กันแปรไปตามปริมาณสารตัวเติม โดยผลของปริมาณน้ำมันที่สูงขึ้นทำให้ส่งผลให้แนวโน้มของ adhesion strength ลดลงเล็กน้อย ซึ่งไม่สามารถอธิบายได้ทฤษฎีการแพร่ เนื่องจากน้ำมันควรจะเพิ่มความสามารถในการเคลื่อนที่ของสายโซ่โมเลกุล ข้างที่ใช้เวลาการบดผสมนานขึ้นส่งผลให้มีน้ำหนักโมเลกุล และ adhesion strength ที่ลดลงเนื่องจากกาวยางมี green strength ที่ลดลง แม้ว่าขนาดโมเลกุลที่สั้นจะส่งผลให้โมเลกุลเกิดการแพร่ได้มากขึ้น เช่นเดียวกันกับปริมาณ CaCO_3 ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ green strength ของยางสูงขึ้น และ adhesion strength สูงขึ้น แสดงว่ากาวยางที่ศึกษามีข้อจำกัดของความแข็งแรงของการยึดติดอยู่ที่ green strength ของยาง และการทฤษฎีการแพร่ที่ใช้ในการอธิบายการยึดติดของยางมีข้อจำกัดที่จะอธิบายในกรณีการยึดติดของยางเป็นไปในรูปแบบที่ความแข็งแรงถูกจำกัดด้วยการแพร่ของโมเลกุลเท่านั้น นอกจากนี้จากการแปรค่าความหนาของชั้นกาวยังทำให้พบว่าอิทธิพลของโมเลกุลของยางนั้นไม่เพียงจะส่งผลต่อหน้าสัมผัสที่เกิดการยึดติดเพียงเท่านั้นแต่ยังมีผลต่อการกระจายความเค้นภายในกาวและส่งผลต่อ adhesion strength ของกาวอีกด้วย เมื่อศึกษาการเตรียมการใช้งานยางสกิมเครปในรูปแบบของกาวดินน้ำมันพบว่า ชนิดของน้ำมันมีผลต่อความสามารถในการจับของผลิตภัณฑ์ โดยน้ำมัน R15 สามารถคงสมบัติได้ดีที่สุดในระยะเวลาการจับ 42 วัน สมบัติจะเปลี่ยนในช่วง 14 วันแรก โดยค่า cold flow และ adhesion strength จะสูงขึ้นเล็กน้อยและจะค่อนข้างคงที่ไปจนถึงสิ้นสุดระยะเวลาการทดสอบ ยกเว้นตัวอย่างที่มีปริมาณ CaCO_3 สูง 380 phr เท่านั้นที่มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของสมบัติดังกล่าว เมื่อมีการวัดค่าในชัวยางด้วยการอบอากาศร้อนโดยเปรียบเทียบกับการใช้เครื่องอัดพบว่าสมบัติ tensile strength และความแข็งแรงต่ำกว่าเล็กน้อย ยางสกิมเครปสามารถนำมาเตรียมเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทกาวดินน้ำมันที่มีการล้มเหลวของกาวในลักษณะ adhesive failure ได้โดยง่ายมีความสามารถในการเก็บที่ดี นอกจากนี้ยังสามารถเตรียมเป็นผลิตภัณฑ์ในลักษณะดินน้ำมันที่สามารถคงรูปได้หลังการอบอากาศร้อน ซึ่งผลิตภัณฑ์ทั้งสองรูปแบบนี้สามารถเตรียมได้ง่าย ใช้เครื่องมือ สารเคมีน้อย และทักษะค่อนข้างน้อย มีความเหมาะสมในการเผยแพร่ไปสู่ชุมชนได้ดี

Abstract

This research tack property of pliable adhesive made from natural rubber skim crepe was studied. Amount of calcium carbonate and various processing oils were varied. Increasing processing oils slightly reduced adhesion strength. This can not be explained by diffusion theory of adhesion since processing oil improves the chain mobility of the rubber. The longer the mixing time the lower molecular weight and adhesion strength. This is due to lower green strength of rubber even though shorter molecule can diffuse easier. Similarly, increasing calcium carbonate improved green strength hence adhesion strength. This concluded that pliable adhesive studied is green strength limited adhesive. Diffusion theory has limitation in explaining this type of adhesive and more appropriate for diffusion limited type of adhesive. By varying thickness of pliable adhesive, it was found that molecular affects were not only limited to adhesion surface but also stress distribution throughout adhesive effecting adhesion strength. In preparing pliable adhesive, R15 oil has best retention properties over 42 days. Adhesive properties changed during the first 14 days and stay relatively constant afterward except for high calcium carbonate at 380 phr. Vulcanizing adhesive using hot air gave lower properties compare to pressed vulcanized. Skim crepe can easily be prepared to be pliable adhesive with good storage properties. Product can be modified to be hot air curable adhesive or curable rubber dough. Both products can be easily prepared using little equipments, ingredients or skills appropriate for technology transfer to small rubber communities.

ความสำคัญและความเป็นมาของการวิจัย

ยางธรรมชาติเป็นทรัพยากรที่มีความผูกพันกับเกษตรกรในภาคต่าง ๆ ของประเทศ มากกว่า 1 ล้านครอบครัว และมีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศเป็นอย่างยิ่ง การค้นคว้าวิจัยเป็นปัจจัยสำคัญที่จะเป็นแนวทางนำไปสู่การพัฒนาอุตสาหกรรมยาง และก่อให้เกิดผลการเพิ่มมูลค่ายางธรรมชาติและเพิ่มปริมาณการใช้ยางพาราในประเทศ ทำให้เกษตรกรมีชีวิตความเป็นอยู่ดีขึ้น

ผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติที่ได้รับความนิยม และผลึกดันเป็นอย่างมากอีกประเภทหนึ่งคือ การประยุกต์ใช้ในงานกาว, สารยึดติด และ ซีลเลอร์ ซึ่งทิศทางการวิจัยจะเน้นไปในทางพัฒนาผลิตภัณฑ์ หรือการประยุกต์ใช้ยางธรรมชาติเพื่อใช้ในการทดแทนวัสดุสังเคราะห์ในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ การวิจัยขั้นพื้นฐานเกี่ยวกับคุณสมบัติการยึดติด และการใช้ประโยชน์ยางธรรมชาติที่มีอยู่ในรูปแบบที่หลากหลายให้เหมาะสมนั้นกลับถูกมองข้ามไป

ในทางทฤษฎีเกี่ยวกับการยึดติดของสารโมเลกุลสายยาวนั้นมีความซับซ้อนหลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นทฤษฎีทางเทอร์โมไดนามิกส์, ทฤษฎี adsorption, ทฤษฎีทางไฟฟ้า และทฤษฎีทางเคมี ซึ่งแต่ละทฤษฎีนั้นจะมีข้อดีเสีย จุดอ่อนและจุดแข็งแตกต่างกันออกไป อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีทฤษฎีใดที่สามารถอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติการยึดติดได้ [2] ในขณะที่ทฤษฎีทางรีโอโลยี และทฤษฎีทางฟิสิกส์ของยาง ที่อธิบายคุณสมบัติต่าง ๆ ของยางโดยอาศัยโมเดลของยางในรูปแบบโมเลกุลสายยาวนั้น มีความก้าวหน้าเป็นอย่างมาก ดังนั้นการศึกษาคุณสมบัติการยึดติดขั้นพื้นฐานเพื่อที่จะนำความก้าวหน้าทางทฤษฎีรีโอโลยี และฟิสิกส์ของยางเข้ามาปรับปรุงทฤษฎีการยึดติดของยางจึงเป็นเรื่องที่ท้าทาย และมีความสำคัญในการที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์ในด้านกาว, สารยึดติด และ ซีลเลอร์ เป็นอย่างยิ่ง

นอกจากนั้นการศึกษาคูสมบัติทางด้านนี้ยังควรที่จะมุ่งเน้นถึงจุดแข็งของยางประเภทต่าง ๆ ที่มีและรูปแบบการใช้งานที่แตกต่างกันไปของสารติดยึด Adderley [3] รายงานว่าการยึดติดด้วยการใช้กาวนั้นได้เปรียบการยึดติดประเภทอื่นในแง่ของการกระจายแรงยึดติดแทนที่จะเป็นจุด ๆ นอกจากนี้ยังลดความสูญเสียสภาพเนื่องจากการผ่านความร้อนอย่างเช่นการยึดติดด้วยการเชื่อมเป็นต้น นอกจากนี้ กาวที่ทำจากยางซึ่งไม่ใช่ structural adhesive นั้นมีข้อได้เปรียบ structural adhesive ในแง่ของ peel strength และ cleavage strength ดังนั้นในการออกแบบรอยต่อจึงควรคำนึงถึงจุดนี้ด้วย คุณสมบัติการยึดติดของยางธรรมชาติและโพลิบิวทาไดอินยังสามารถนำมาใช้ทำความเข้าใจถึงความแข็งแรง และความเข้ากันได้ของยางเบลนด์อีกด้วย โดย tensile strength, modulus และ elongation at break ของยางเบลนด์เพิ่มสูงขึ้นถ้า adhesion strength ระหว่างยางทั้งสองสูงขึ้น และ adhesion strength ระหว่างยางทั้งสองนั้นขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของยางที่มีความแข็งแรงที่ต่ำกว่า [4]

ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าความรู้พื้นฐานทางด้านคุณสมบัติการยึดติดของยางธรรมชาตินั้นจะเป็นความรู้สำคัญที่จะนำมาซึ่งการพัฒนาผลิตภัณฑ์ทางด้านกาว, สารยึดติด และ การใช้งานผลิตภัณฑ์ ดังกล่าวได้อย่างถูกต้อง และเหมาะสมมากยิ่งขึ้น

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาคูสมบัติพื้นฐานเกี่ยวกับการยึดติดของยางธรรมชาติ โดยประยุกต์ความก้าวหน้าทางทฤษฎีรีโอโลยี และฟิสิกส์ของยาง มาใช้กับทฤษฎีการยึดติดของยางในแง่ของทฤษฎีการแพร่
2. เพื่อศึกษาหาแนวทางในการเพิ่มมูลค่าของยางเคเรป

3. เพื่อพัฒนาไปสู่ผลิตภัณฑ์กาวดินน้ำมัน หรือผลิตภัณฑ์คล้ายดินน้ำมันอื่น ๆ ที่สามารถถ่ายทอดสู่ชุมชนได้ง่ายเนื่องจากใช้เครื่องมือการเตรียมน้อย

ทฤษฎี แนวคิดในการวิจัย และผลงานที่เกี่ยวข้อง

สารตัวเติมหลักที่จำเป็นในการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติการยึดติดของยางธรรมชาติ คือ น้ำมัน โดยน้ำมันจะเข้าไปหล่อลื่นระหว่างโมเลกุลของยางทำให้ความหนืดของยางลดลง ความเหนียวติดของยางมีค่าสูงขึ้น สารตัวเติม CaCO_3 สามารถช่วยในการปรับปรุงคุณสมบัติทางรีโอโลยี และความแข็งแรงของยางที่ได้ รวมไปถึงคุณสมบัติการเหนียวติดอีกด้วย ด้วยการดูดซึมน้ำมันบางส่วน และการยึดติดกับโมเลกุลของยางของ CaCO_3 [1] ดังนั้นในการศึกษาขั้นพื้นฐานเกี่ยวกับคุณสมบัติการยึดติด สารตัวเติมสองประเภทดังกล่าวจึงสามารถแปรคุณสมบัติของยางคอมพอนด์เพื่อนำมาซึ่งความเปลี่ยนแปลงของยางคอมพอนด์ให้มีคุณสมบัติการยึดติดในช่วงที่ต้องการได้ ยกตัวอย่างเช่น การแปรคุณสมบัติของกาวที่มีความล้มเหลวเป็น adhesive failure หรือ cohesive failure เป็นต้น

ในทฤษฎีการยึดติดด้วยการแพร่ นั้น [2] วัสดุที่จะมีคุณสมบัติการยึดติดที่ดีจะต้องมีความแข็งแรงที่สูงและความเข้ากันได้กับบริเวณผิวสัมผัสสูง ซึ่งโดยปกติแล้วพอลิเมอร์นั้นจะมีคุณสมบัติที่เหมาะสมอยู่แล้วด้วยลักษณะทางโมเลกุล และในขณะเดียวกันลักษณะของโมเลกุลของพอลิเมอร์จึงเป็นตัวแปรที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งในคุณสมบัติการยึดติด ดังนั้นทฤษฎีการแพร่ที่ส่งผลต่อคุณสมบัติการยึดติดนั้นจึงขึ้นอยู่กับลักษณะหลักของโมเลกุลของพอลิเมอร์ เช่น โครงสร้างหรือขนาดของโมเลกุล ความอ่อนตัวของโมเลกุล และความสามารถที่โมเลกุลจะเกิดการเคลื่อนที่แบบบราวเนียน

การทดสอบการยึดติดของวัสดุที่มีลักษณะที่จะใช้ในการวิจัยนี้จะยึดตามวิธีการทดสอบ shear strength ตามมาตรฐาน ASTM D816 และคุณสมบัติการไหลที่เป็นคุณสมบัติที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของคุณสมบัติการยึดติดตามทฤษฎีการแพร่จะทดสอบด้วยการวัด Cold Flow ตามมาตรฐาน ASTM D816 เช่นเดียวกัน และด้วยการทดสอบข้างต้น adhesive strength ขึ้นอยู่กับสองปัจจัยคือ cohesive strength ของยางคอมพอนด์ และ adhesive strength ระหว่างยางกับซับสเตรท เพื่อทำความเข้าใจความสัมพันธ์ของปัจจัยทั้งสอง ตัวแปรที่สามารถแปรได้ในการทดลองก็คือยางคอมพอนด์ และซับสเตรท สำหรับยางคอมพอนด์ปริมาณน้ำมัน และ CaCO_3 สามารถเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติการยึดติดผ่าน cohesive และ adhesive strength ในขณะที่การเปลี่ยนชนิดของซับสเตรทนั้นจะให้ผลของการแปร adhesive strength เพียงอย่างเดียว สำหรับคุณสมบัติ Cold Flow นั้นจะเป็นการศึกษาเกี่ยวกับ cohesive strength เพียงอย่างเดียว

วิธีการ

1 การศึกษาชนิดของน้ำมัน

1.1 วิธีการเตรียมกาว

ตารางที่ 1 สูตรที่ใช้ในการเตรียมกาวยางสกิมเครปโดยใช้น้ำมันชนิดต่างๆ

Ingredients	Quantity (phr)
Skim crepe	100
CaCO ₃	200
Ester Oil, Farolin Oil, R15 Oil, Spindle Oil	15
Wingstay L	3
TiO ₂	5

1.2 ขั้นตอนการทำกาว

- ผสมยางและสารเคมีตามสูตรดังตารางที่ 1 ด้วยเครื่องผสมยางสองลูกกลิ้งเป็นเวลา 30 นาที
- ตั้งยาง Compound ทิ้งไว้ 24 ชม. ทดสอบสมบัติทางด้าน Mooney Viscosity (ML1+4,100°C)
 - นำยาง Compound มา Aging ที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 7 วันด้วยคู่อบบ่มเร่ง
 - นำยาง Compound ส่วนที่ไม่ได้ทำการ Aging ไปติดบนชิ้นทดสอบ
- นำยาง Compound ส่วนที่ไม่ Aging และ Aging ไปติดบนชิ้นทดสอบให้มีพื้นที่ 1 in² ออกแรงกดด้วยปากจับให้กาวมีความหนา 1 mm. ตั้งทิ้งไว้ 1 คืนที่อุณหภูมิห้อง
- ทดสอบสมบัติทางด้าน Adhesion Strength และ Cold Flow

2 การศึกษาเวลาในการผสมกาวยางสกิมเครป

2.1 วิธีการเตรียมกาว

ตารางที่ 2 สูตรที่ใช้ในการเตรียมกาวยางสกิมเครปโดยใช้เวลาในการผสมที่ต่างกัน

Ingredients	Quantity (phr)
Skim crepe	100
CaCO ₃	200
R15 Oil	15
Wingstay L	3
TiO ₂	5

2.2 ขั้นตอนการทำกาว

- ผสมยางและสารเคมีตามสูตรดังตารางที่ 2 ด้วยเครื่องผสมยางสองลูกกลิ้งเป็นเวลา 30, 35 และ 40 นาที
- ตั้งยาง Compound ทิ้งไว้ 24 ชม. ทดสอบสมบัติทางด้าน Mooney Viscosity (ML1+4,100°C)

3. นำยาง compound ดิคบนชั้นทดสอบให้มีพื้นที่ 1 in^2 ออกแรงกดด้วยปากจับให้กาวมีความหนา 1 mm. ตั้งทิ้งไว้ 1 คืนที่อุณหภูมิห้อง

4. นำไปทดสอบสมบัติทางด้าน Adhesion Strength และ Cold Flow

3 การศึกษาปริมาณ CaCO_3

3.1 วิธีการเตรียมกาว

ตารางที่ 3 สูตรที่ใช้ในการเตรียมกาวยางสกินเครปโดยแปรปริมาณสารตัวเติม CaCO_3

Ingredients	Quantity (phr)
Skim crepe	100
CaCO_3	140, 200, 260, 320, 380
R15 Oil	15
Wingstay L	3
TiO_2	5

3.2 ขั้นตอนการทำกาว

- ผสมยางและสารเคมีตามสูตรดังตารางที่ 3 ด้วยเครื่องผสมยางสองลูกกลิ้งเป็นเวลา 30 นาที
- ตั้งยาง Compound ทิ้งไว้ 24 ชม. ทดสอบสมบัติทางด้าน Mooney Viscosity ($\text{ML1+4, 100}^\circ\text{C}$)
- นำยาง Compound ดิคบนชั้นทดสอบให้มีพื้นที่ 1 in^2 ออกแรงกดด้วยปากจับให้กาวมีความหนา 1 mm. ตั้งทิ้งไว้ 1 คืนที่อุณหภูมิห้อง
- นำไปทดสอบสมบัติทางด้าน Adhesion Strength และ Cold Flow
- นำยาง Compound ที่ตั้งทิ้งไว้ 1, 7, 14, 28 และ 42 วัน มาทดสอบสมบัติทางด้าน Mooney Viscosity ($\text{ML1+4, 100}^\circ\text{C}$) และทำตามขั้นตอนในข้อ 3 และ 4

4 การศึกษาปริมาณ R15 oil

4.1 วิธีการเตรียมกาว

ตารางที่ 4 สูตรที่ใช้ในการเตรียมกาวยางสกินเครปโดยแปรปริมาณ R15 oil

Ingredients	Quantity (phr)
Skim crepe	100
CaCO_3	320
R15 Oil	1, 2, 3
Wingstay L	3
TiO_2	5

4.2 ขั้นตอนการทำกาว

- ผสมยางและสารเคมีตามสูตรดังตารางที่ 4 ด้วยเครื่องผสมยางสองลูกกลิ้งเป็นเวลา 30 นาที

2. ตั้งยาง Compound ทิ้งไว้ 24 ชม. ทดสอบสมบัติทางด้าน Mooney Viscosity (ML1+4,100°C)
3. นำยาง Compound ดัดบนชิ้นทดสอบให้มีพื้นที่ 1 in² ออกแรงกดด้วยปากจับให้ยางมีความหนา 1 mm. ตั้งทิ้งไว้ 1 คืนที่อุณหภูมิห้อง
4. นำไปทดสอบสมบัติทางด้าน Adhesion Strength และ Cold Flow

5 การศึกษาความหนาของชั้นกาว

- ใช้สูตรกาวที่เกิดการล้มเหลวแบบ (1) Adhesive Failure : CaCO₃ 320 + R15 Oil 2 phr
(2) Cohesive Failure : CaCO₃ 140 + R15 Oil 15 phr

5.1 วิธีการเตรียมกาว

ตารางที่ 5 สูตรที่ใช้ในการเตรียมกาวยางสกินเครปโดยแปรความหนาของชั้นกาว

Ingredients	Quantity (phr)	
	1	2
Skim crepe	100	100
CaCO ₃	320	140
R15 Oil	2	15
Wingstay L	3	3
TiO ₂	5	5

5.2 ขั้นตอนการทำกาว

1. ผสมยางและสารเคมีตามสูตรดังตารางที่ 5 ด้วยเครื่องผสมยางสองลูกกลิ้งเป็นเวลา 30 นาที
2. ตั้งยาง Compound ทิ้งไว้ 24 ชม. ทดสอบสมบัติทางด้าน Mooney Viscosity (ML1+4,100°C)
3. นำยาง Compound ดัดบนชิ้นทดสอบให้มีพื้นที่ 1 in² ออกแรงกดด้วยปากจับให้ยางมีความหนา 1 mm. ตั้งทิ้งไว้ 1 คืนที่อุณหภูมิห้อง
4. นำไปทดสอบสมบัติทางด้าน Adhesion Strength และ Cold Flow

6 การศึกษาการวัลคาไนซ์กาวยางสกิมเครป

6.1 วิธีการเตรียมกาว

ตารางที่ 6 สูตรที่ใช้ในการวัลคาไนซ์กาวยางสกิมเครป

Ingredients	Quantity (phr)
Skim crepe	100
ZnO	5
Stearic acid	1
CaCO ₃	350
R15 Oil	35
Wingstay L	3
TiO ₂	5
Pigment	1
ZDEC	0.8
Sulphur	2.5

6.2 ขั้นตอนการทำกาว

- ผสมยางและสารเคมีตามสูตรดังตารางที่ 6 ด้วยเครื่องผสมยางสองลูกกลิ้งเป็นเวลา 40 นาที
- ตั้งยาง Compound ทิ้งไว้ 24 ชม.
- ทดสอบการวัลคาไนซ์ด้วยเครื่อง ODR (Oscillating Disk Rheometer) ที่อุณหภูมิ 120°C
- วัลคาไนซ์ยาง Compound
 - วัลคาไนซ์ด้วยตู้อบ โคยรีดยาง Compound ให้เป็นแผ่นเรียบด้วยแท่งเหล็กหนาประมาณ ~2 mm. (อุณหภูมิ 100°C)*
 - วัลคาไนซ์ด้วยเครื่องอัดเบ้า (อุณหภูมิ 100°C)*
- ทดสอบสมบัติทางด้าน Tensile Strength, Elongation at break และ Hardness
 - หมายเหตุ : ในหัวข้อ 6.2 ข้อที่ 3 จะทำการทดสอบการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 120°C แต่ในการวัลคาไนซ์ยางตามข้อที่ 4 จะใช้อุณหภูมิ 100°C เนื่องจากการหา cure time ด้วยเครื่อง ODR ที่อุณหภูมิ 100°C มีข้อจำกัดในเรื่องของเวลาที่ใช้ในการทดสอบการ cure จนสมบูรณ์

การทดสอบ

1 ค่า Mooney Viscosity

2 สมบัติด้าน Adhesion Strength (ตามมาตรฐาน ASTM D816)

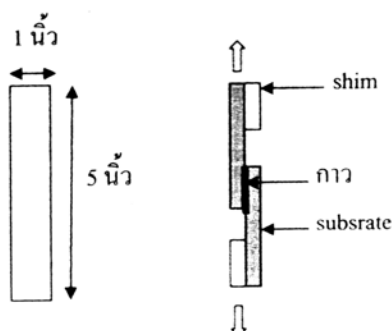
นำกาวยางสกิมที่เตรียมได้ติดบนชิ้นทดสอบ โดยออกแรงกดด้วยปากจับให้กาวมีความหนา 1 มม. ตั้งทิ้งไว้ 1 คืนที่อุณหภูมิห้อง ทดสอบการดึงแบบเนียนด้วย Tensile machine (ความเร็ว 48 mm/min) รายงานผลที่ได้ในหน่วย kPa

การรายงานผล

$$\text{Adhesion Stength} = F/A$$

โดย F คือ แรงดึงสูงสุดที่เกิดความลึ้มเหลว

A คือ พื้นที่ที่รับแรง

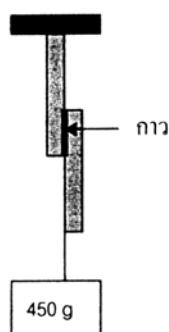


รูปที่ 1 แสดงขนาดของชิ้นทดสอบ (ซ้ายมือ) และแนวตั้งของการทดสอบสมบัติด้าน Adhesion Strength (shim เป็นแผ่นรองที่มีความหนาเท่าชิ้นทดสอบใช้เพื่อให้แนวแรงในการดึงทดสอบอยู่ในแนวเดียวกัน)

3 สมบัติด้าน Cold Flow (ตามมาตรฐาน ASTM D816)

เตรียมชิ้นทดสอบเช่นเดียวกับการทดสอบ Adhesion Strength โดยยึดปลายด้านหนึ่งของชิ้นทดสอบไว้ ส่วนอีกด้านหนึ่งให้น้ำตุ้มถ่วงหนัก 450 g บันทึกเวลาที่เกิดการลึ้มเหลว

ทำการเพิ่มตุ้มน้ำหนักอีก 220 g ถ้าหากชิ้นทดสอบทั้ง 2 ชิ้นไม่แยกออกจากกันเมื่อครบ 24 ชั่วโมง



รูปที่ 2 แสดงชิ้นทดสอบและลักษณะการแขวนตุ้มถ่วง 450 g

4 ค่าการเปลี่ยนแปลงของสมบัติ ; %Change (ตามมาตรฐาน ASTM D573)

$$P = [(A-O)/O]*100$$

โดย

P = เปอร์เซนต์การเปลี่ยนแปลงของสมบัติ

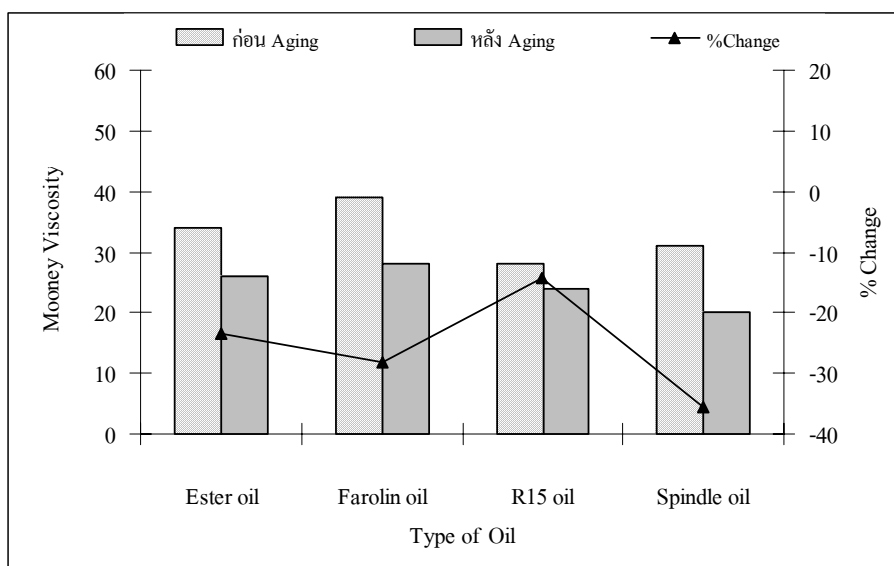
O = ค่าสมบัติเริ่มต้น

และ A = ค่าสมบัติหลัง Aging

ผลการวิจัย และวิจารณ์ผล

การศึกษาชนิดของน้ำมัน

ศึกษาชนิดของน้ำมัน (Ester Oil, Farolin Oil, R15 Oil และ Spindle Oil) โดยใส่สารตัวเติม CaCO_3 คงที่ ที่ 200 phr และใส่น้ำมันปริมาณ 15 phr นำมาเตรียมเป็นกาวตามตารางที่ 1 และขั้นตอนการทำกาวตามหัวข้อ 1.2 จากนั้นนำไปศึกษาสมบัติต่างๆ

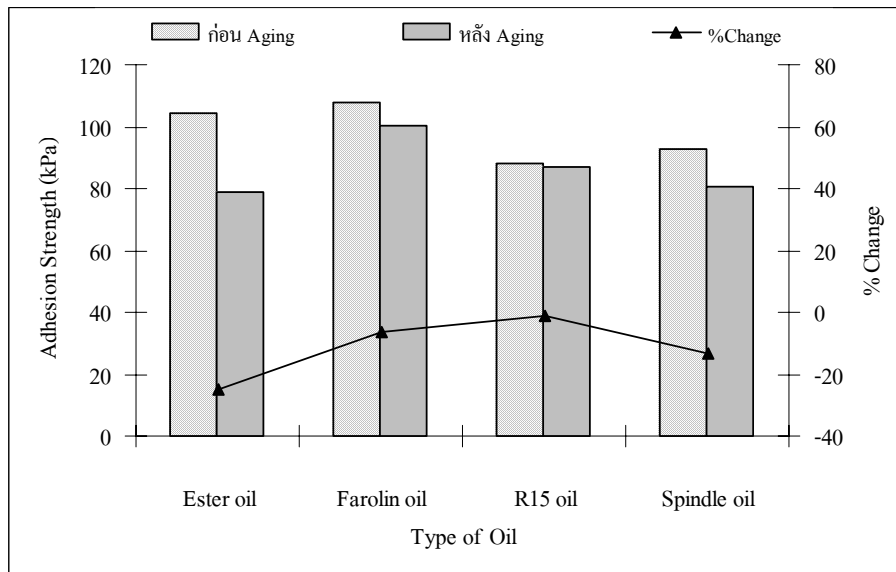


รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของน้ำมันกับ Mooney Viscosity (ML1+4, 100°C) ก่อน/หลัง Aging และ % Change

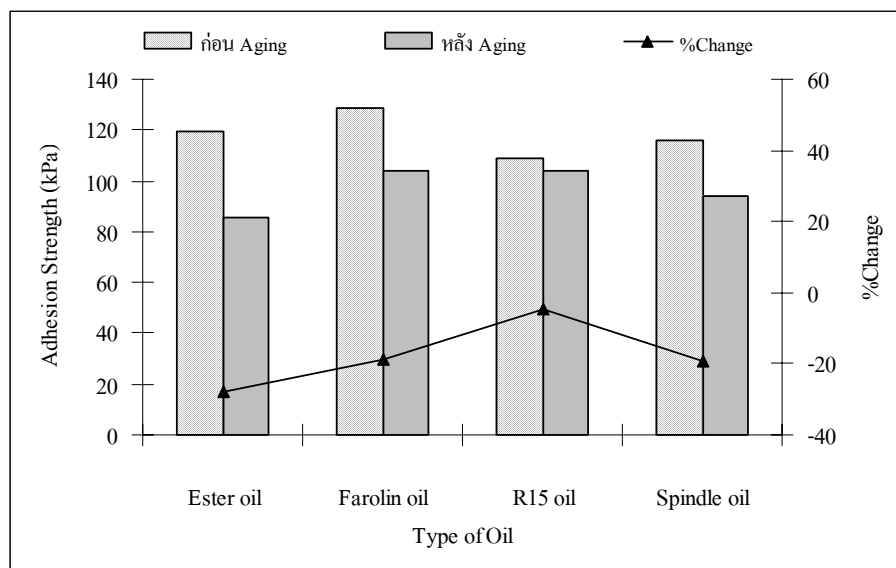
จากผลการทดลองในรูปที่ 3 พบว่าน้ำมันชนิดต่างๆ จะมีผลต่อค่า Mooney Viscosity ที่แตกต่างกัน เนื่องจากน้ำมันชนิดต่างๆ มีความสามารถที่จะแทรกเข้าไปอยู่ระหว่างสายโซ่โมเลกุลยาง รวมทั้งความสามารถในการเข้ากับยางหรือสารเคมีต่างๆ ในขั้นตอนการผสมที่ต่างกัน น้ำมันที่ผสมเข้ากับยางได้ง่ายก็จะทำให้ยางนั้นได้เร็ว การตัดยางบนลูกกลิ้งก็มีโอกาสมากขึ้นส่งผลให้สายโซ่โมเลกุลถูกตัดมากกว่าการใส่น้ำมันชนิดอื่นๆ ที่เกิดการผสมกับยางหรือสารเคมีได้ยาก

ก่อนทำการ Aging น้ำมัน R15 oil ที่ผสมในกาวยางสกิมเครปมีค่า Mooney Viscosity ต่ำที่สุดส่วนน้ำมัน Spindle oil, Ester oil และ Farolin oil จะมีค่า Mooney Viscosity ที่สูงขึ้นตามลำดับแต่เมื่อกาวยางสกิมเครปผ่านการ Aging แล้วพบว่าน้ำมันทุกชนิดจะให้ค่า Mooney Viscosity ที่ลดลงเนื่องจากสายโซ่โมเลกุลยางนั้นเกิด Chain Scission จากความร้อนของสภาวะในตู้ Gear Oven ส่งผลให้สายโซ่โมเลกุลยางสั้นลง ประกอบกับในยาง compound มีน้ำมันเป็นส่วนประกอบอยู่แล้ว การเคลื่อนที่ของสายโซ่จึงเกิดได้ง่ายขึ้น ค่า Mooney Viscosity กาวยางสกิมเครปหลังการ Aging จึงต่ำกว่าก่อน Aging

% Change ของสมบัติทางด้าน Mooney Viscosity ในกาวยางสกิมเครปที่ใช้ น้ำมัน R15 oil จะมี ค่าน้อยกว่าน้ำมัน Ester oil, Farolin oil และ Spindle oil แสดงว่ากาวยางสกิมเครปที่ใช้ น้ำมัน R15 oil จะมีอัตราของการเปลี่ยนแปลงทางด้านความหนืดที่น้อยกว่าน้ำมันชนิดอื่นๆ



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของน้ำมันกับ Adhesion Strength ก่อน/หลัง Aging และ % Change (ชิ้นทดสอบกระดาษ)



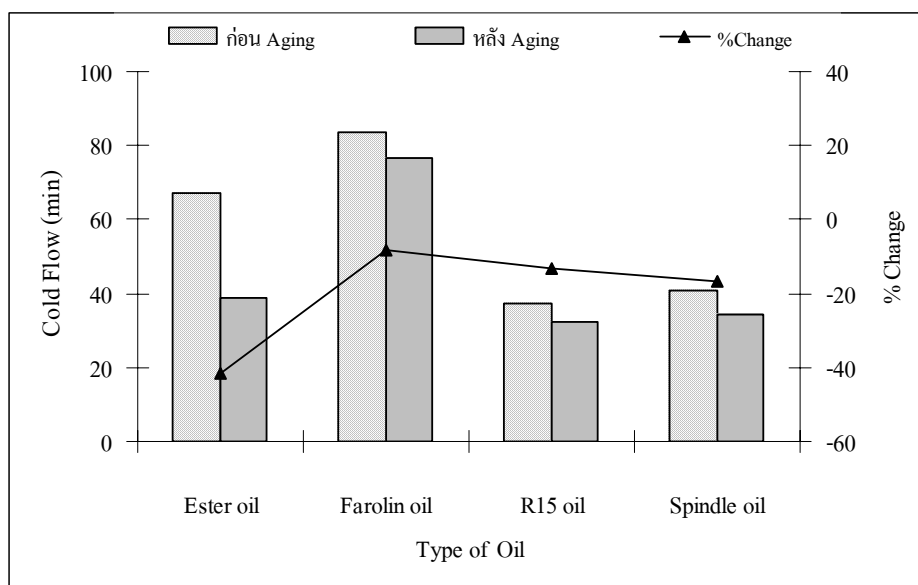
รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของน้ำมันกับ Adhesion Strength ก่อน/หลัง Aging และ % Change (ชิ้นทดสอบไม้)

จากผลการทดลองในรูปที่ 4 และ 5 พบว่าก่อนทำการ Aging กาวยางสกิมเครปที่ใช้ น้ำมัน R15 Oil จะให้ค่า Adhesion Strength ที่ต่ำกว่าการใช้ น้ำมัน Spindle oil, Ester oil และ Farolin oil ตามลำดับ และเมื่อกาวยางสกิมเครปผ่านการ Aging แล้วจะทำให้ค่า Adhesion Strength ลดลงโดยกาวยางสกิมเครปที่ใช้ น้ำมัน Ester oil จะมีค่าที่ต่ำกว่ากาวยางสกิมเครปที่ใช้ น้ำมัน Spindle oil, R15 oil และ Farolin oil ตามลำดับ ผลของค่า Adhesion Strength ทั้งก่อนและหลัง Aging จะมีแนวโน้มเดียวกันทั้งชิ้นทดสอบไม้และกระดาษ

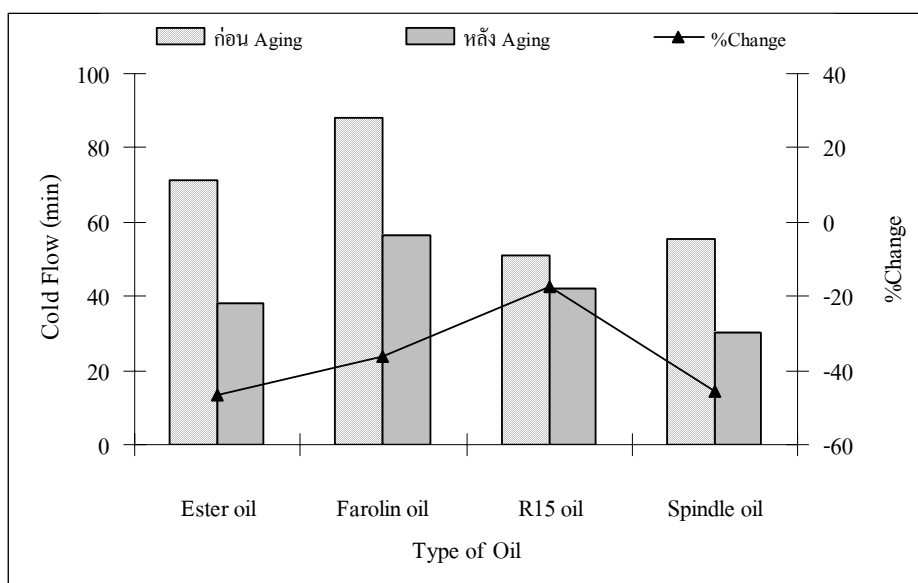
ค่า Adhesion Strength จะแสดงถึงความแข็งแรงของกาวยางสกิมเครปกับวัสดุที่ใช้ทดสอบ โดยจะเห็นว่าเมื่อทำการ Aging แล้วกาวยางสกิมเครปจะมีค่าความแข็งแรงลดลง ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่า Mooney Viscosity ที่ลดลงด้วย (ดังรูปที่ 3) สิ่งนี้ชี้ให้เห็นว่าเมื่อความหนืด Mooney Viscosity ลดลง ก็แสดงว่าการเกี่ยวพันที่เกิดขึ้นระหว่างสายโซ่โมเลกุลของยางด้วยกันเองเกิดขึ้นน้อย และพันธะระหว่างสายโซ่โมเลกุลยากกับอนุภาคของสารตัวเติม CaCO_3 เกิดแรงยึดอ่อนๆ ส่งผลให้ความแข็งแรงที่เกิดขึ้นนั้นลดลงตามไปด้วย

เมื่อพิจารณา %Change พบว่ากาวยางสกิมเครปที่ใช้น้ำมัน R15 Oil จะมีค่าการเปลี่ยนแปลงของสมบัติทางด้าน Adhesion Strength น้อยที่สุดและการใช้น้ำมัน Farolin Oil, Spindle oil และ Ester Oil มีค่า %Change ที่สูงขึ้นตามลำดับ ทั้งนี้เป็นเพราะว่าส่วนประกอบของน้ำมันแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันทางด้านโครงสร้างของโมเลกุล ส่งผลให้ %Change ของสมบัติทางด้าน Adhesion Strength มีความแตกต่างกันตามชนิดของน้ำมันเมื่อกาวผ่านการ Aging

การใช้ชิ้นทดสอบที่ต่างกัน ก็จะมีค่า %Change ก่อนและหลัง Aging ที่ต่างกันด้วย จากรูปที่ 4 และ 5 พบว่าการใช้ชิ้นทดสอบกระดาษจะมีค่า %Change ที่น้อยกว่าการใช้ชิ้นทดสอบที่เป็นไม้ แสดงว่ากาวยางสกิมเครปที่ผ่านการ Aging มีความสามารถในการยึดเกาะกับพื้นผิวที่เป็นกระดาษที่ไม่ต่างกับกาวยางสกิมเครปก่อนการ Aging มากนักเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นผิวที่เป็นไม้



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของน้ำมันกับ Cold Flow ก่อน/หลัง Aging และ %Change (ชิ้นทดสอบกระดาษ)



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของน้ำมันกับ Cold Flow ก่อน/หลัง Aging และ % Change (ขึ้นทดสอบไม้)

จากผลการทดลองในรูปที่ 6 และ 7 เป็นค่า Cold Flow ของกาวยางสกิมเครปที่ใช้ขึ้นทดสอบกระดาษและไม้ตามลำดับ พบว่ามีค่า Cold Flow ที่ต่างกันนั่นคือ การใช้ขึ้นทดสอบกระดาษจะมีค่าที่ต่ำกว่าไม้ในน้ำมันทุกชนิด การที่ค่า Cold Flow ต่างกันแสดงว่าความสามารถในการเปียกผิวหรือการแทรกซึมของกาวบนพื้นผิวนั้นต่างกัน โดยขึ้นทดสอบไม้จะมีพื้นผิวที่มีความเป็นรูพรุน รอยแตกหรือรอยแยกต่างๆ ทำให้กาวสามารถมีพื้นที่สัมผัสและเกิดการแทรกซึมได้ดีกว่าขึ้นทดสอบกระดาษซึ่งมีลักษณะทางพื้นผิวที่ได้กล่าวมาข้างต้นนี้น้อยกว่าขึ้นทดสอบไม้

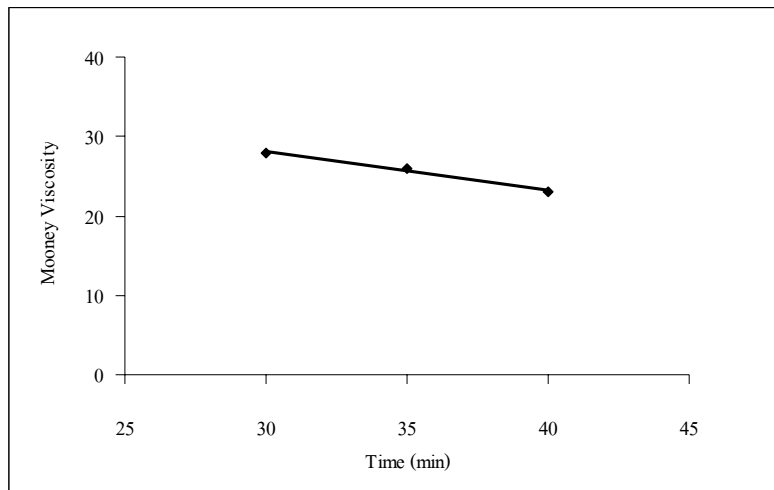
ก่อนทำการ Aging แนวโน้มของค่า Cold Flow ที่ใช้น้ำมันชนิดต่างๆ นั้นจะเป็นไปในทิศทางเดียวกันทั้งขึ้นทดสอบที่เป็นกระดาษและไม้ นั่นคือน้ำมัน R15 Oil จะมีค่า Cold Flow ต่ำสุดส่วนน้ำมัน Spindle Oil, Ester oil และ Farolin Oil จะมีค่าที่สูงขึ้นตามลำดับ

แต่เมื่อกาวยางสกิมเครปผ่านการ Aging ค่า Cold Flow ก็จะลดลงแต่น้ำมันบางชนิดจะมีแนวโน้มของการลดลงที่แตกต่างเมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างการใช้ขึ้นทดสอบกระดาษและไม้ เนื่องจากพฤติกรรมของน้ำมันแต่ละชนิดจะไม่เหมือนกัน โดยอาจจะเกิดการเคลื่อนที่มาอยู่ที่บริเวณผิวของกาวยางสกิมเครปหรือเกิดการกระจายไปสู่บริเวณต่างๆ ได้ไม่เท่ากัน

จาก % Change ของสมบัติทางด้าน Cold Flow ที่ใช้ขึ้นทดสอบกระดาษและไม้พบว่ากาวยางสกิมเครปที่ใช้น้ำมัน R15 oil จะมีค่า % Change น้อยที่สุด โดยอยู่ในช่วง 10-20 % ส่วนกาวยางสกิมเครปที่ใช้น้ำมัน Ester oil จะมีค่า % Change สูงที่สุดโดยอยู่ในช่วง 40-50 %

การศึกษาเวลาในการผสมกาวยางสกิมเครป

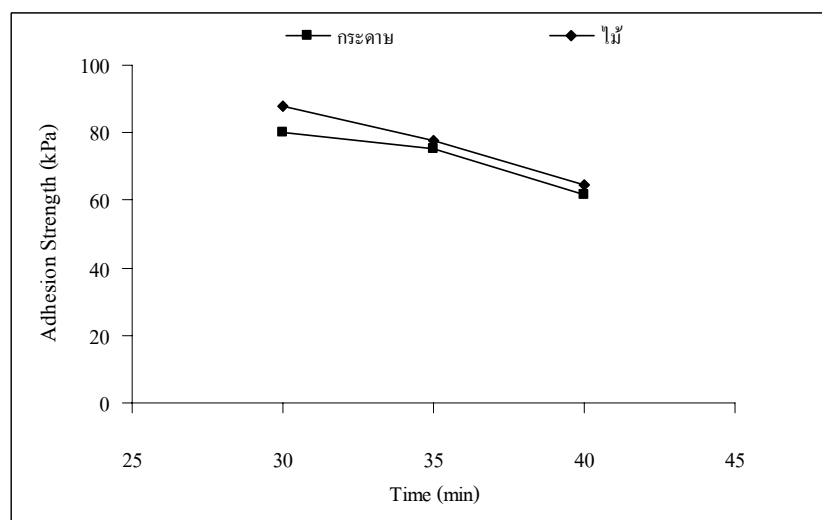
ศึกษาเวลาในการผสมกาวยางสกิมเครปที่เวลา 30, 35 และ 40 นาที โดยใส่สารตัวเติม CaCO_3 คงที่ที่ 200 phr และใส่น้ำมัน R15 Oil ปริมาณ 15 phr นำมาเตรียมเป็นกาวตามตารางที่ 2 และขั้นตอนการทำกาวตามหัวข้อ 2.2 จากนั้นนำไปศึกษาสมบัติต่างๆ



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการผสมกาวยางสกิมเครปกับ Mooney Viscosity (ML1+4,100°C)

จากผลการทดลองในรูปที่ 8 พบว่าเมื่อใช้เวลาในการผสมกาวยางสกิมเครปมากขึ้นจะทำให้ค่า Mooney Viscosity ลดลงเนื่องมาจากการผสมที่นานขึ้นก็จะทำให้โอกาสของการตัดสายโซ่จากแรงเฉือนและความร้อนมากขึ้นด้วย ส่งผลให้สายโซ่โมเลกุลส่วนใหญ่สั้นลง ทำให้เกิดการไหลได้ง่ายขึ้น เมื่อนำไปวัดความหนืดจะให้ค่า Mooney Viscosity ที่ลดลง

การใช้เวลาในการผสมเพิ่มขึ้น 5 นาทีก็จะทำให้ค่า Mooney Viscosity ลดลงประมาณ 2 หน่วยโดยที่เวลาผสม 30 นาทีมีค่า Mooney Viscosity เท่ากับ 28 และจะมีค่าเท่ากับ 26 และ 23 เมื่อเวลาในการผสมเพิ่มขึ้นเป็น 35 และ 40 นาทีตามลำดับ

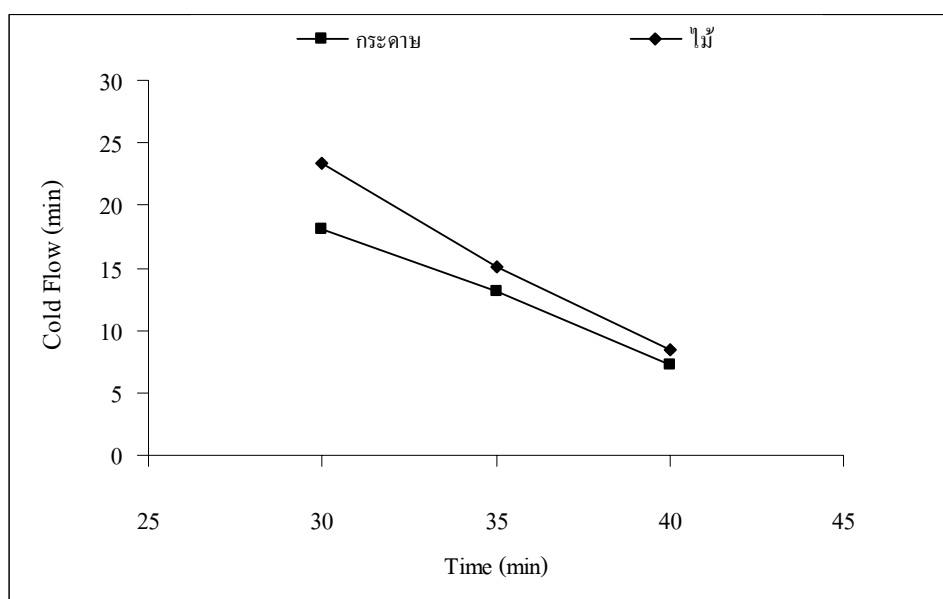


รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการผสมกาวยางสกิมเครปกับ Adhesion Strength

จากผลการทดลองในรูปที่ 9 พบว่าการเพิ่มเวลาในการผสมจะมีผลทำให้ค่า Adhesion Strength ลดลง และมีความสอดคล้องกับค่า Mooney Viscosity ที่ลดลง โดยจะเกิดขึ้นในลักษณะเดียวกันทั้งขึ้นทดสอบที่เป็น

กระดาษและไม้ เนื่องจากสายโซ่โมเลกุลที่สั้นลง การเกี่ยวพันของสายโซ่โมเลกุลเกิดขึ้นน้อยลง แรงที่ใช้ในการดึงชั้นทดสอบนั้นมีค่าต่ำลงส่งผลให้ค่า Adhesion Strength ลดลงตามไปด้วย

ชั้นทดสอบที่เป็นไม้จะมีกลไกเบื้องต้นในการยึดติดของกาวกับโครงสร้างที่เป็นรูพรุนของไม้ก็คือ mechanical interlocking ถ้ากาวเกิดการแทรกซึมไปสู่ microstructure ของไม้ก็จะเป็นการเพิ่มพื้นที่สัมผัสระหว่างกาวและไม้และจะส่งผลให้เกิด mechanical interlocking ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ส่วนชั้นทดสอบกระดาษก็สามารถเกิดกลไกการยึดติดแบบ mechanical interlocking ได้เช่นกันเพียงแต่ว่ามีลักษณะพื้นผิวที่ละเอียดกว่าไม้



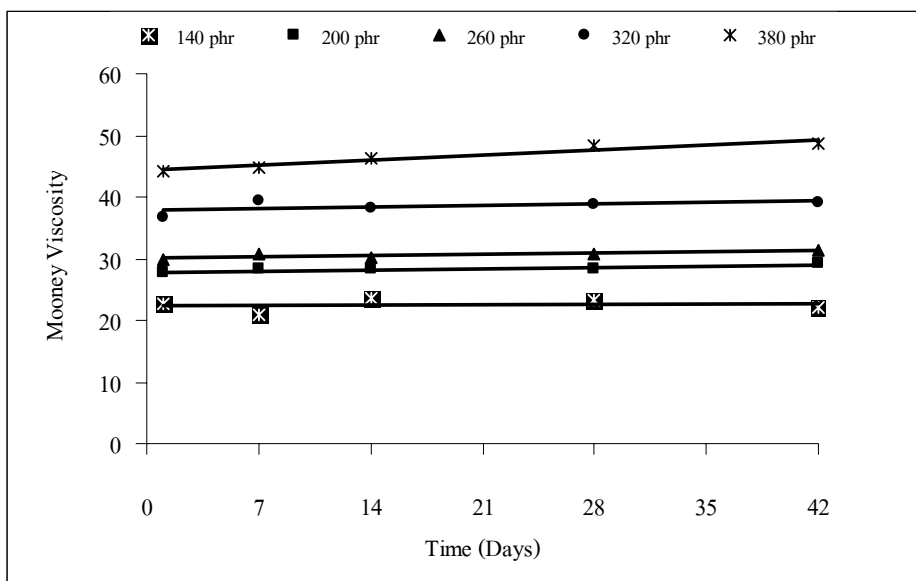
รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการผสมกาวยางสกิมเครปกับ Cold Flow

จากผลการทดลองในรูปที่ 10 พบว่าค่า Cold Flow ของกาวยางสกิมเครปจะลดลงทั้งในชั้นทดสอบที่เป็นกระดาษและไม้เมื่อใช้เวลาในการผสมเพิ่มขึ้น ซึ่งมีเหตุผลเกี่ยวกับการอธิบายสมบัติทางด้าน Mooney Viscosity และ Adhesion Strength ในการศึกษาเวลาของการผสมกาวยางสกิมเครป

การเพิ่มเวลาในการผสมจะทำให้ปริมาณของโมเลกุลสายโซ่สั้นมีมากขึ้น สมบัติทางด้านความยืดหยุ่นลดลงและสามารถเกิดการไหลได้ง่ายขึ้น เวลาจากการทดสอบสมบัติทางด้าน Cold Flow จึงลดลงไป

การศึกษาปริมาณ CaCO_3

ศึกษาผลของปริมาณสารตัวเติม CaCO_3 ที่ 140, 200, 260, 320 และ 380 phr โดยใส่ปริมาณน้ำมัน R15 Oil คงที่ที่ 15 phr ในขณะเดียวกันก็ศึกษาเวลาของการจัดเก็บกาวยางสกิมเครปที่ 1, 7, 14, 28 และ 42 วัน นำมาเตรียมเป็นกาวตามตารางที่ 3 และขั้นตอนการทำกาวตามหัวข้อ 3.2 จากนั้นนำไปศึกษาสมบัติต่างๆ

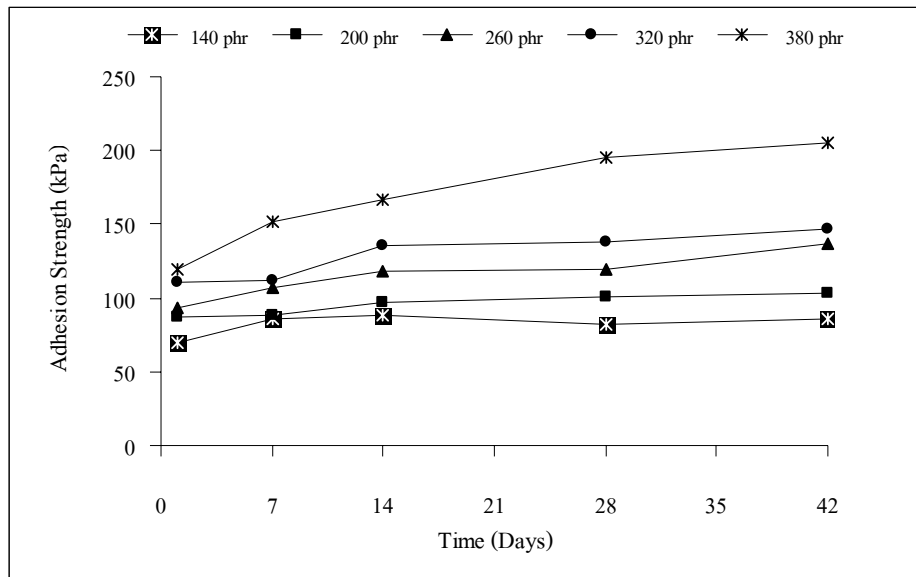


รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการจัดเก็บกาวยางสกิมเครปกับ Mooney Viscosity (ML1+4,100°C) โดยมีปริมาณสารตัวเติม CaCO_3 ที่แตกต่างกัน

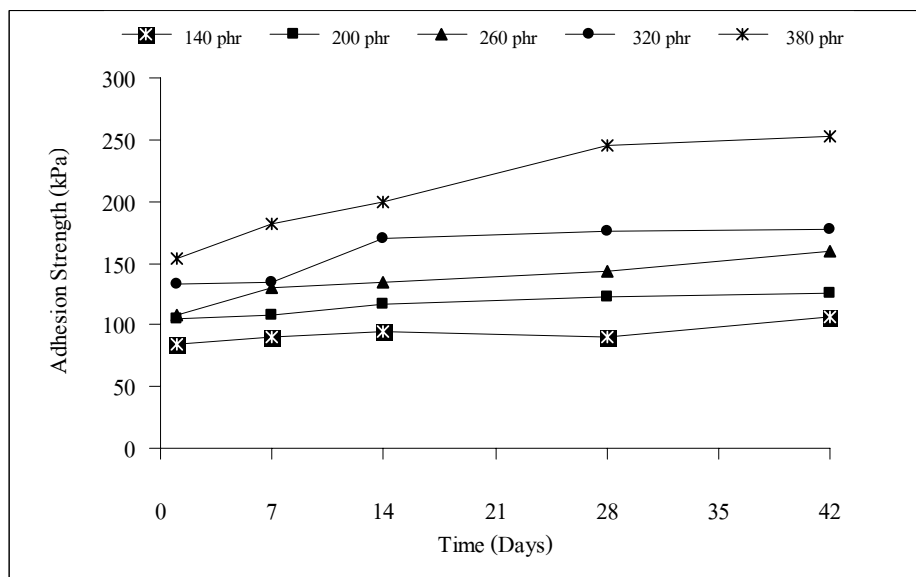
จากผลการทดลองในรูปที่ 11 พบว่าเมื่อปริมาณสารตัวเติม CaCO_3 เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า Mooney Viscosity เพิ่มขึ้นตามไปด้วย นั่นคือที่ปริมาณ CaCO_3 140 phr จะมีค่า Mooney Viscosity ต่ำที่สุด และที่ปริมาณ 380 phr จะมีค่า Mooney Viscosity สูงที่สุดเป็นเพราะเมื่อปริมาณสารตัวเติม CaCO_3 มากขึ้น ปริมาณน้ำมันที่ใส่ในยาง compound นั้นไม่สามารถที่จะไปปกคลุมอนุภาคของสารตัวเติมและเกิดการแทรกตัวอยู่ระหว่างสายโซ่โมเลกุลที่เพียงพอ ส่งผลให้การเคลื่อนที่ทั้งส่วนที่เป็นสายโซ่โมเลกุลของยางและอนุภาคของสารตัวเติมเกิดได้ยากขึ้น

และนอกจากนี้ความเป็นออสติกของยางก็จะลดน้อยลงเมื่อปริมาณสารตัวเติม CaCO_3 เพิ่มขึ้น โอกาสที่อนุภาคของสารตัวเติมซึ่งมีขนาดค่อนข้างใหญ่สามารถที่จะอยู่ใกล้กันมากขึ้น แต่การใส่สารตัวเติม CaCO_3 ปริมาณมากก็จะทำให้ความแข็งแรงของยางเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย

เมื่ออายุการเก็บกาวเพิ่มขึ้นพบว่าค่า Mooney Viscosity ก็จะเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้อาจจะเป็นผลมาจากกาวที่ตั้งทิ้งไว้นานๆ ความหนืดจะเพิ่มสูงขึ้นโดยเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างการผลิตและการเก็บรักษา โดยมีการตั้งสมมติฐานว่าการเพิ่มความหนืดของยางเกิดการเชื่อมโยงของหมู่ Aldehyde ที่กระจัดกระจายอยู่ในสายโซ่โมเลกุลของยาง รวมทั้งการเก็บกาวไว้เป็นเวลานานๆก็จะทำให้น้ำมันซึ่งเป็นส่วนประกอบในกาวยางสกิมเครปเกิดการระเหยส่งผลให้ค่า Mooney Viscosity เพิ่มสูงขึ้น



รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการจัดเก็บกาวยางสกิมเมอร์กับ Adhesion Strength โดยมีปริมาณสารตัวเติม CaCO_3 ที่แตกต่างกัน (ชั้นทดสอบกระดาษ)



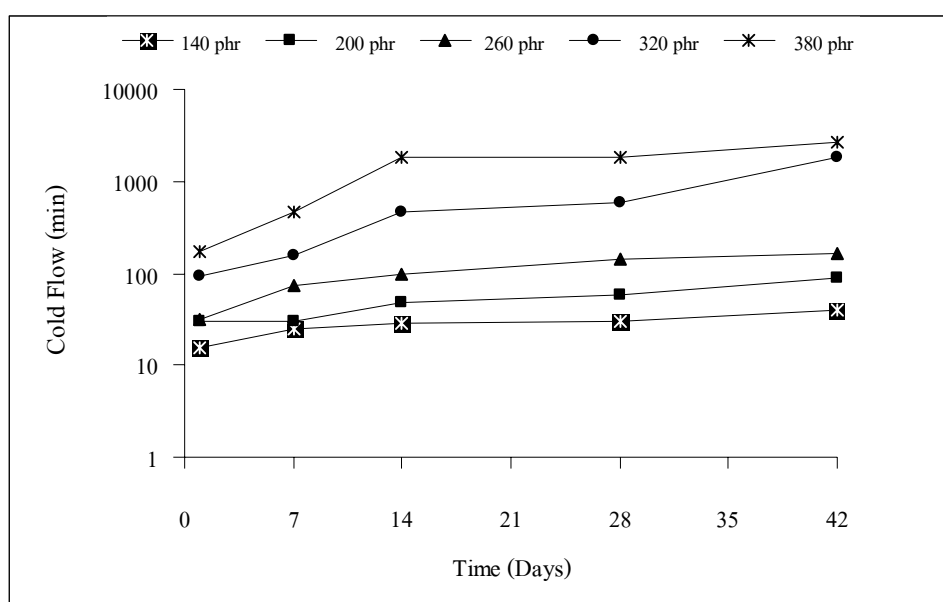
รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการจัดเก็บกาวยางสกิมเมอร์กับ Adhesion Strength โดยมีปริมาณสารตัวเติม CaCO_3 ที่แตกต่างกัน (ชั้นทดสอบไม้)

จากผลการทดลองในรูปที่ 12 และ 13 พบว่าเมื่อปริมาณสารตัวเติม CaCO_3 เพิ่มขึ้นค่า Adhesion Strength ก็จะเพิ่มสูงขึ้น เป็นผลมาจาก CaCO_3 ที่ใส่เข้าไปเกิดการแทรกตัวอยู่ภายในช่องว่างระหว่างสายโซ่โมเลกุลที่หนาแน่นขึ้น ความแข็งแรงของพันธะโดยรวมที่เกิดขึ้นระหว่างโมเลกุลของ CaCO_3 กับสายโซ่โมเลกุลของยางหรือแม้แต่การเกิดพันธะของสารตัวเติม/สายโซ่โมเลกุลยางกับพื้นผิวของวัสดุก็มีมากขึ้น ส่งผลให้แรงดึง

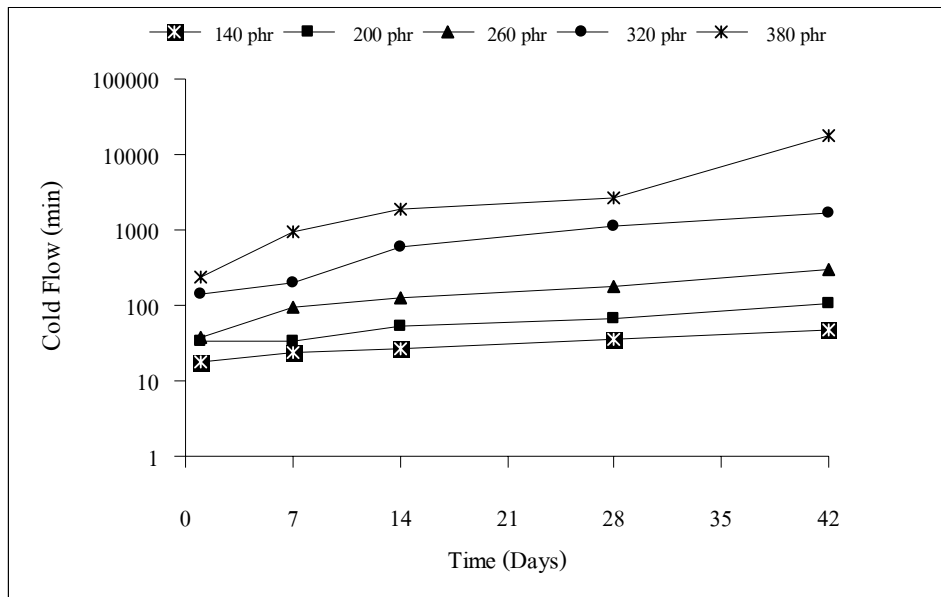
ที่จะทำให้กาวเกิดความล้าเหลวจึงมีค่าสูงขึ้น โดยแรงดึงจะส่งผลต่อ Adhesion Strength นั้นคือมีค่าที่สูงตามไปด้วย

โดยช่วงการเก็บกาว 2 อาทิตย์แรกจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า Adhesion Strength ที่ค่อนข้างชัดเจนทั้งการใช้น้ำทดสอบที่เป็นกระดาษและไม่ หลังจากนั้นการเปลี่ยนแปลงของค่า Adhesion Strength ก็มีการเพิ่มขึ้นในสัดส่วนที่น้อยลง

แต่จากการสังเกตกาวยางสกิมเครปที่ใช้ปริมาณสารตัวเติม CaCO_3 ปริมาณ 380 phr จะมีค่าของสมบัติทางด้าน Adhesion Strength ที่เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจนแม้ว่าจะมีความเป็นยางน้อยลง น่าจะเป็นไปได้ว่า นอกจากความเป็นยางที่มีผลต่อค่า Adhesion Strength ทางด้านการเปลี่ยนแปลงของค่าความหนืดแล้ว สารตัวเติม CaCO_3 ก็น่าจะมีพฤติกรรมที่เปลี่ยนไปโดยมีผลทำให้ความแข็งแรงของการติดประสานเพิ่มขึ้นด้วย



รูปที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการจัดเก็บกาวยางสกิมเครปกับ Cold Flow โดยมีปริมาณสารตัวเติม CaCO_3 ที่แตกต่างกัน (น้ำทดสอบกระดาษ)



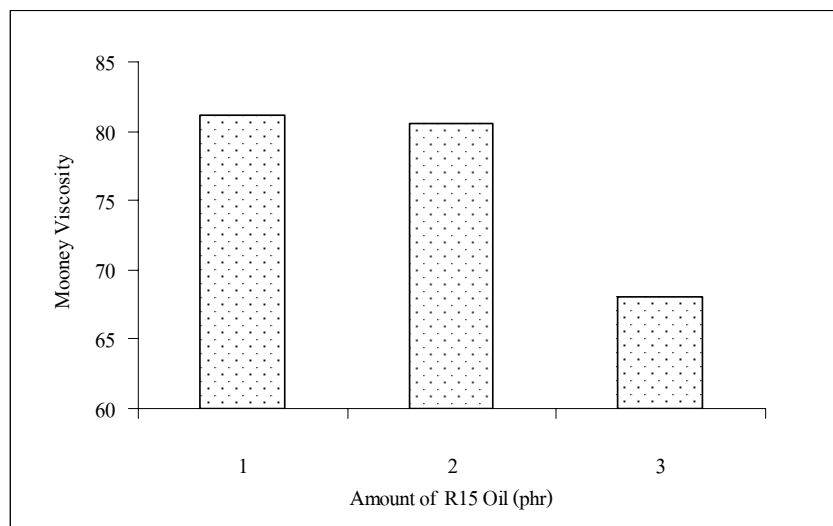
รูปที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการจัดเก็บกาวยางสกิมเครปกับ Cold Flow โดยมีปริมาณสารตัวเติม CaCO_3 ที่แตกต่างกัน (ชั้นทดสอบไม้)

จากผลการทดลองในรูปที่ 14 และ 15 พบว่ากาวยางสกิมเครปที่มีปริมาณสารตัวเติม CaCO_3 140 และ 200 phr จะมีค่า Cold Flow ที่ค่อยๆเพิ่มขึ้นในช่วง 7 วันแรกและหลังจากนั้นจะมีการเพิ่มขึ้นจนเห็นได้อย่างชัดเจนเมื่อตั้งกาวยางสกิมเครปไว้นานกว่า 14 วัน ส่วนกาวยางสกิมเครปที่มีปริมาณสารตัวเติม CaCO_3 มากกว่า 260 phr ขึ้นไปจะมีแนวโน้มของค่า Cold Flow ที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วหลังจากการตั้งกาวยางสกิมเครปทิ้งไว้ 1 วัน เนื่องมาจากปริมาณสารตัวเติม CaCO_3 ที่เพิ่มขึ้นจนถึงระดับหนึ่งจะส่งผลให้ปริมาณน้ำมันที่ใส่ไม่เพียงพอที่จะหล่อลื่นให้สายโซ่โมเลกุลยางและอนุภาคของสารตัวเติม CaCO_3 เกิดการเคลื่อนที่หรือเกิดการไหลได้ง่าย จึงส่งผลให้เกิดการด้านการไหลได้มาก เวลาที่ทำให้เกิดความล้มเหลวจึงเพิ่มสูงขึ้น

สมบัติทางด้าน Cold Flow นี้สามารถที่จะช่วยในการตัดสินใจการเลือกใช้ปริมาณสารตัวเติม CaCO_3 ที่เหมาะสมในการนำกาวไปยึดติดกับวัสดุได้อย่างคร่าวๆ

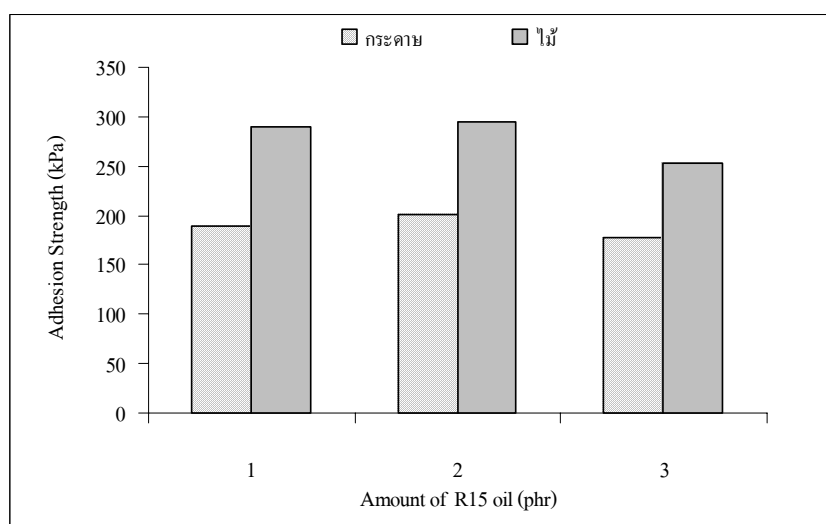
การศึกษาปริมาณ R15 Oil

ศึกษาผลของปริมาณน้ำมัน R15 Oil ที่ 1, 2 และ 3 phr โดยใส่ปริมาณสารตัวเติม CaCO_3 คงที่ที่ 320 phr นำมาเตรียมเป็นกาวตามตารางที่ 4 และขั้นตอนการทำกาวตามหัวข้อ 4.2 จากนั้นนำไปศึกษาสมบัติต่างๆ



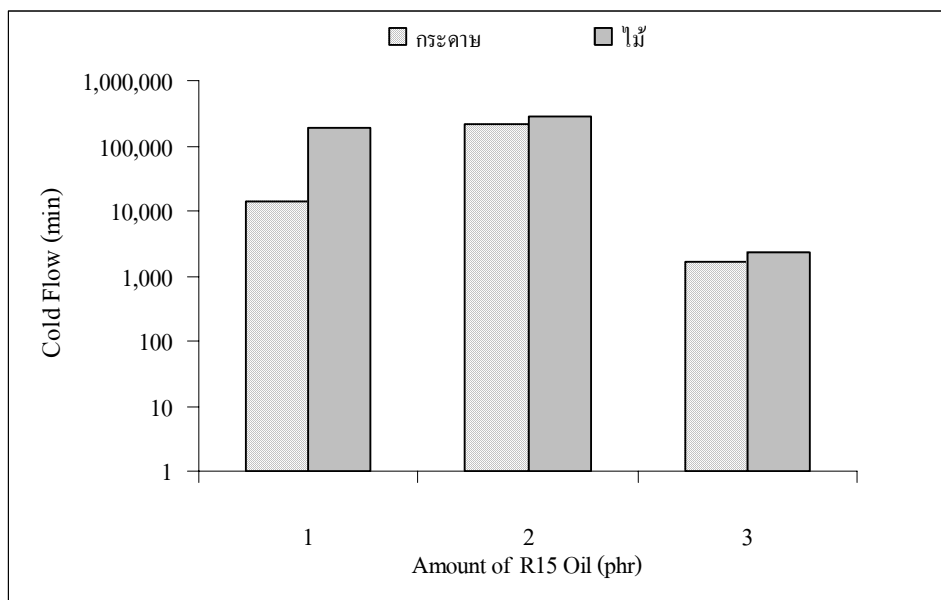
รูปที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ R15 Oil กับ Mooney Viscosity (ML1+4,100°C)

จากผลการทดลองในรูปที่ 16 แสดงค่า Mooney Viscosity ของกาวยางสกิมเครปที่แปรปริมาณน้ำมัน R15 Oil พบว่าการใส่น้ำมันเพิ่มขึ้นจะทำให้กาวยางสกิมเครปมีค่า Mooney Viscosity ที่ลดลง โดยปริมาณน้ำมันที่ 1 และ 2 phr จะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน อาจจะเป็นเพราะว่าปริมาณน้ำมันที่ 1 และ 2 phr นั้นน้อยเกินไปที่จะไปแทรกอยู่ระหว่างสายโซ่ของโมเลกุลยางและอนุภาคของสารตัวเติม CaCO_3 เกิดการดูดซับน้ำมันเอาไว้ ส่งผลให้โมเลกุลยางเกิดการเคลื่อนที่ได้ยาก แต่เมื่อใส่น้ำมันถึง 3 phr จะทำให้ค่า Mooney Viscosity ที่แตกต่างกันมาก เนื่องจากน้ำมันอาจจะเกิดการแทรกซึมระหว่างสารตัวเติมและสายโซ่โมเลกุลยางได้อย่างเพียงพอที่จะทำให้โมเลกุลของยางเกิดการเคลื่อนที่ ส่งผลให้ความหนืดของโมลลดลงอย่างชัดเจน



รูปที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ R15 Oil กับ Adhesion Strength

จากผลการทดลองในรูปที่ 17 พบว่าการใช้น้ำมัน R15 Oil ปริมาณ 1 และ 2 phr จะมีค่า Adhesion Strength ที่ใกล้เคียงกัน แต่การใช้น้ำมันปริมาณ 3 phr จะมีค่าที่ลดลง โดยขึ้นทดสอบกระดาศและไม่จะมีแนวโน้มที่เหมือนกัน เป็นผลมาจากน้ำมัน R15 Oil ที่ใส่เข้าไปนั้นทำให้โมเลกุลของยางเกิดการเคลื่อนที่ได้ง่ายขึ้น ยางจึงเกิดการไหลได้ง่ายและพันธะที่เกิดขึ้นระหว่างโมเลกุลยึดกันด้วยแรงอ่อนๆ



รูปที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ R15 Oil กับ Cold Flow

จากผลการทดลองในรูปที่ 18 พบว่าค่า Cold Flow จะสูงขึ้นเมื่อใช้ปริมาณน้ำมัน R15 Oil 2 phr และจะลดลงเมื่อมีปริมาณน้ำมัน 3 phr เนื่องจากที่ปริมาณน้ำมันแต่ละระดับจะทำให้มีความยากง่ายสำหรับการผสมที่แตกต่างกัน ประสิทธิภาพในการตัดสายโซ่จึงต่างกันด้วย ส่งผลให้การยึดติดของสายโซ่สั้นและสายโซ่ยาวที่มีต่อความแข็งแรงของพันธะที่ไม่เหมือนกัน

และจะเห็นได้ว่าการใช้ขึ้นทดสอบไม่จะมีค่า Cold Flow สูงกว่าขึ้นทดสอบกระดาศซึ่งสอดคล้องกับค่า Adhesion Strength โดยเกิดขึ้นเหมือนกับการศึกษาปริมาณสารตัวเติม CaCO_3

การศึกษาความหนาของชั้นกาว

ใช้สูตรการที่เกิดการล้มเหลวแบบ

(1) Adhesive Failure : CaCO_3 320 + R15 Oil 2 phr

(2) Cohesive Failure : CaCO_3 140 + R15 Oil 15 phr

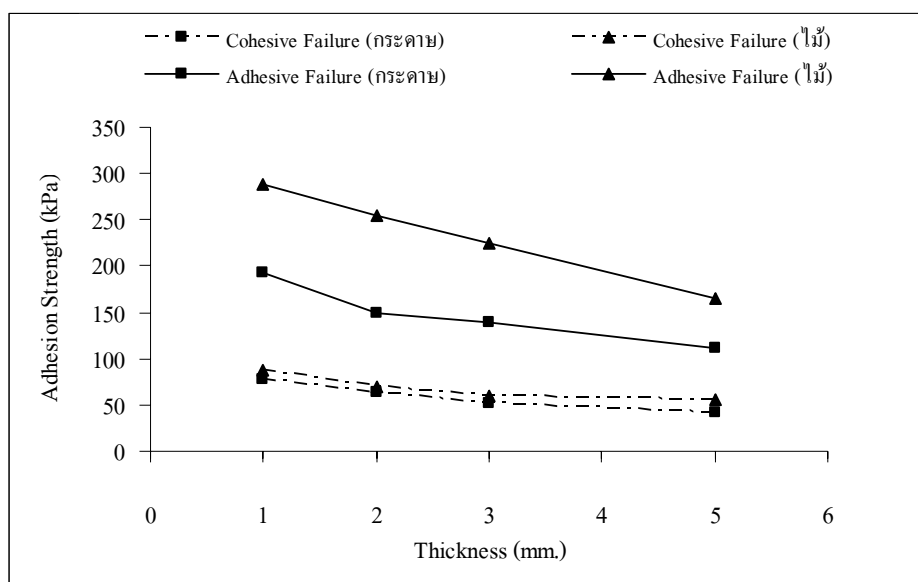
Adhesive Failure คือ การล้มเหลวของพันธะกาว ซึ่งจะปรากฏให้เห็นรอยแยกที่บริเวณ interface ระหว่างกาวและวัสดุที่ใช้

Cohesive Failure คือ การล้มเหลวที่เกิดขึ้นในส่วนประกอบที่เป็นกาวหรือวัสดุ

จากการศึกษาการเตรียมกาวยางสกิมเครปก่อนหน้านี้พบว่าแนวโน้มการล้มเหลวแบบ Adhesive Failure จะเกิดขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อกาวยางสกิมเครปที่เตรียมขึ้นนั้นมีความหนืดเพิ่มขึ้น โดยกาวยางสกิมเครปสูตร (1) สามารถเกิดการล้มเหลวแบบ Adhesive Failure ได้ดีที่สุด ส่วนการล้มเหลวแบบ Cohesive Failure จะเกิดขึ้นได้ดี

เมื่อกาวยางสกิมเครปที่เตรียมขึ้นนั้นมีค่าความหนืดที่ต่ำซึ่งเป็นไปตามกาวยางสกิมเครปสูตรที่ (2) โดยปริมาณของกาวที่ติดอยู่บนพื้นผิวของวัสดุหลัง

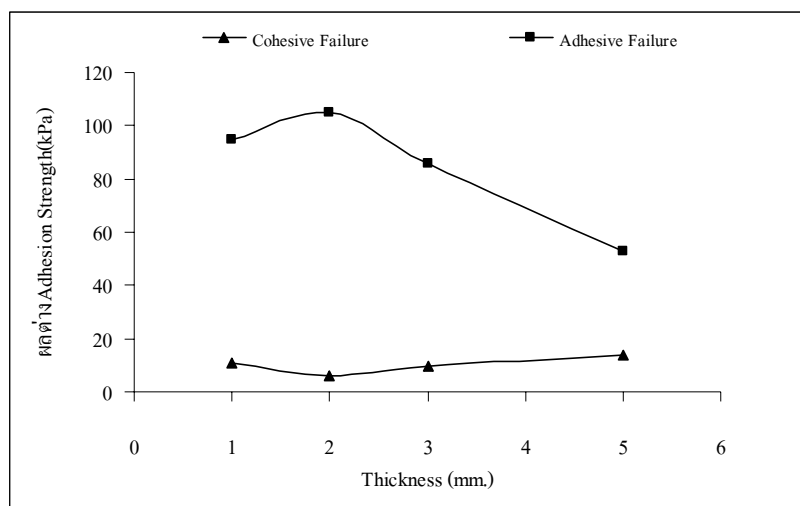
จากการทดสอบสมบัติทางด้าน Adhesion Strength จะชี้ให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่างการลืมหเลวที่เกิดขึ้นทั้ง 2 ประเภทนี้



รูปที่ 19 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของชั้นกาวกับ Adhesion Strength

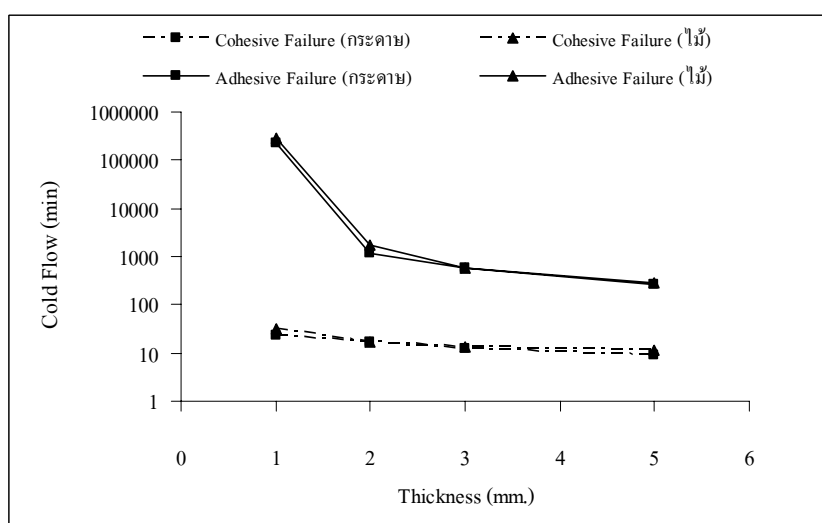
จากผลการทดลองในรูปที่ 19 พบว่าการเพิ่มความหนาของชั้นกาวจะส่งผลให้มีค่า Adhesion Strength ที่ลดลง โดยการใช้ชั้นทดสอบไม้จะมีค่าสูงกว่าการใช้ชั้นทดสอบกระดาษที่ทุกๆความหนาของชั้นกาว ซึ่งสูตรของกาวยางสกิมเครปที่เกิดการลืมหเลวแบบ Adhesive Failure ก็จะมีค่าแตกต่างของค่า Adhesion Strength ที่เหมือนกันกับ Cohesive Failure

ถ้าเป็นกาวที่เกิดการลืมหเลวแบบ Adhesive Failure การเพิ่มความหนาของชั้นกาวก็ไม่น่าจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า Adhesion Strength เนื่องจากการลืมหเลวที่ผิวของกาวกับวัสดุที่ใช้ทดสอบซึ่งน่าจะเกิดจากการยึดติดหรือการเกี่ยวพันกับพื้นผิวที่ไม่ดี แต่จากการทดสอบค่า Adhesion Strength จะเปลี่ยนแปลงเมื่อความหนาของกาวเพิ่มขึ้น อาจจะเป็นเพราะว่าผลของการเกี่ยวพันของสายโซ่โมเลกุลยางกับพื้นผิวด้านหนึ่งเกิดการเกี่ยวพันกับสายโซ่โมเลกุลอื่นๆที่อยู่ภายในความหนาของชั้นกาวจนถึงผิวสัมผัสของชั้นทดสอบอีกด้านหนึ่ง



รูปที่ 20 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของชั้นกาวกับผลต่าง Adhesion Strength ระหว่างชั้นทดสอบไม้-กระดาษ ที่มีความหนาของชั้นกาวแตกต่างกัน

จากผลการทดลองในรูปที่ 20 พบว่าสูตรของกาวที่เกิดการล้มเหลวแบบ Cohesive Failure จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าความแตกต่างของสมบัติ Adhesion Strength ระหว่างชั้นทดสอบไม้กับกระดาษเมื่อความหนาของชั้นกาวเพิ่มขึ้นที่ค่อนข้างคงที่แต่กาวที่เกิดการล้มเหลวแบบ Adhesive Failure จะมีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อความหนาของชั้นกาวเพิ่มขึ้น อาจจะเป็นเพราะว่าอิทธิพลเนื่องจากแรงกดนั้นลดลงโดยกาวยางสกิมเครปที่เตรียมขึ้นนั้นจะอยู่ในรูปกาวยางแห้ง การใช้ปากจับกดให้กาวมีความหนาที่ลดลงก็จะเป็นการเพิ่มแรงเค้นให้กาวเกิดการแทรกซึมหรือเกาะติดกับวัสดุให้แน่นยิ่งขึ้น แต่ถ้าใช้ในการกดกาวให้มีความหนามากๆ ซึ่งก็คือความหนาของกาวก่อนที่จะทำการกดให้ติดกับวัสดุกับหลังจากที่กดลงบนวัสดุเสร็จแล้วจะมีการเปลี่ยนแปลงที่น้อยลง ส่งผลให้ค่าความต่างของ Adhesion Strength ระหว่างชั้นทดสอบกระดาษและไม้เมื่อความหนาเพิ่มขึ้นลดลงตามไปด้วย



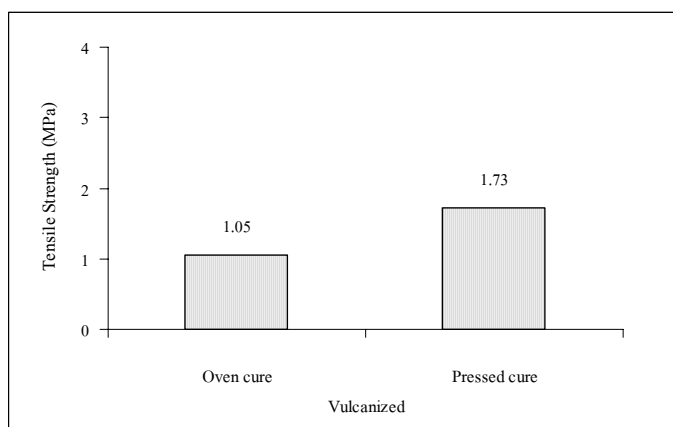
รูปที่ 21 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของชั้นกาวกับ Cold Flow

จากผลการทดลองในรูปที่ 21 พบว่าสมบัติทางด้าน Cold Flow จะลดลงเมื่อความหนาของชั้นกาวเพิ่มขึ้นไม่ว่าจะใช้ชั้นทดสอบกระดาศหรือชั้นทดสอบไม้ โดยกาวยางสกิมเครปที่เกิดการลื่นไหลแบบ Adhesive Failure และ Cohesive Failure ก็จะทำให้ผลที่เหมือนกัน เนื่องจากการเพิ่มความหนาของชั้นกาวนั้นจะทำให้แรงเค้นที่ใช้ในการกดกาวลดลง ความสามารถในการยึดติดกับผิวของชั้นทดสอบน้อยลง เวลาที่เกิดการลื่นไหลของชั้นทดสอบก็ลดลงไปด้วย

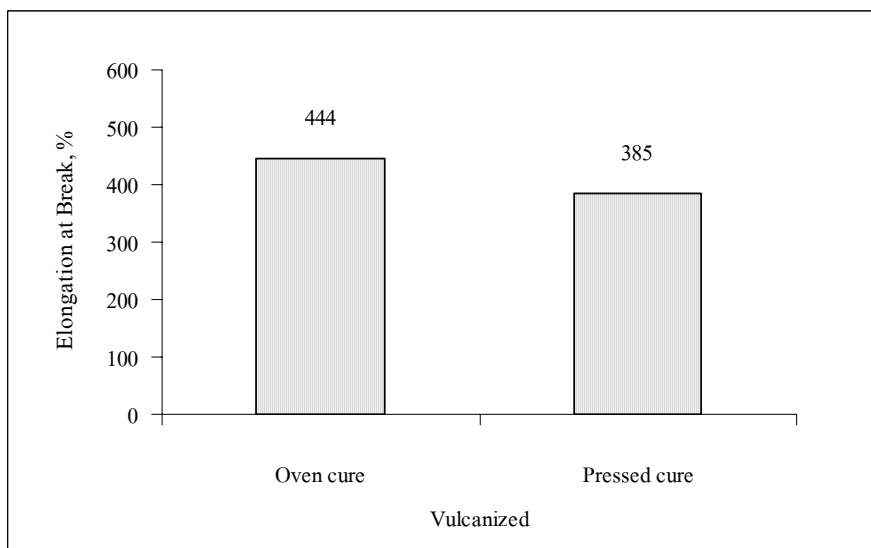
และสูตรของกาวที่เกิดการลื่นไหลแบบ Adhesive Failure จะมีค่า Cold Flow ที่สูงกว่ากาวที่เกิดการลื่นไหลแบบ Cohesive Failure เนื่องจากกาวยางสกิมเครปที่เกิดการลื่นไหลแบบ Adhesive Failure เป็นกาวที่มีความแข็งแรงภายในตัวกาวมากกว่าการลื่นไหลแบบ Cohesive Failure ส่งผลให้ความสามารถในการแยกตัวของชั้นกาวนั้นเกิดขึ้นได้ช้ากว่า ค่าของสมบัติทางด้าน Cold Flow ของกาวที่เกิดการลื่นไหลแบบ Adhesive Failure จึงมีค่าสูงกว่า กาวที่เกิดการลื่นไหลเหมือนกันแต่ใช้ชั้นทดสอบที่ต่างกันก็จะมีค่าของสมบัติทางด้าน Cold Flow ที่แตกต่างกันด้วย

การศึกษาการวัลคาไนซ์กาวยางสกิมเครป

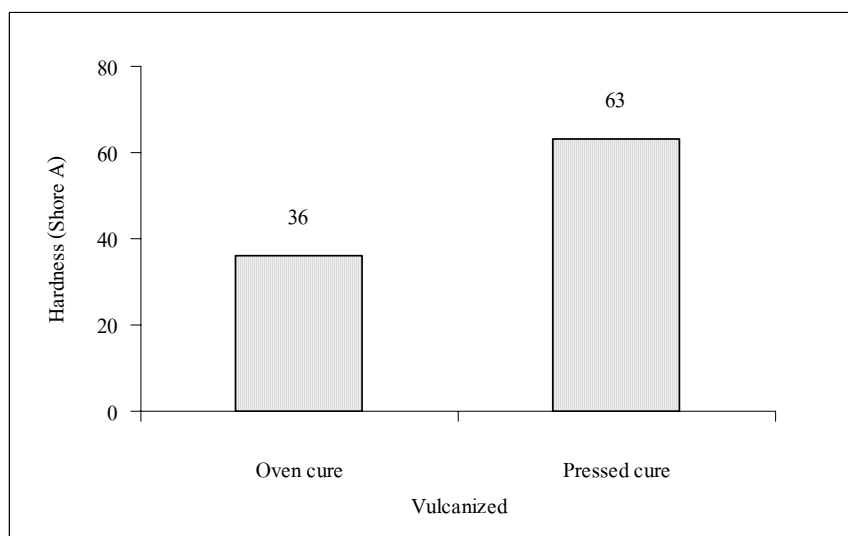
ศึกษาผลของสารตัวเร่ง ZDEC ที่ปริมาณ 0.8 phr นำมาเตรียมเป็นกาวตามตารางที่ 6 และขั้นตอนการทำกาวตามหัวข้อ 6.2 จากนั้นนำไปศึกษาสมบัติต่างๆ



รูปที่ 22 ความสัมพันธ์ระหว่างการวัลคาไนซ์กาวยางสกิมเครปด้วย Oven cure และ Pressed cure ที่อุณหภูมิ 100°C กับ Tensile Strength



รูปที่ 23 ความสัมพันธ์ระหว่างการวัลคาไนซ์กาวยางสทิกมึนด้วย Oven cure และ Pressed cure ที่อุณหภูมิ 100°C กับ Elongation at Break, %



รูปที่ 24 ความสัมพันธ์ระหว่างการวัลคาไนซ์กาวยางสทิกมึนด้วย Oven cure และ Pressed cure ที่อุณหภูมิ 100°C กับ Hardness (Shore A)

จากผลการทดลองในรูปที่ 22, 23 และ 24 ซึ่งเป็นการทดสอบสมบัติเบื้องต้นในการวัลคาไนซ์กาวยางสทิกมึน พบว่าการวัลคาไนซ์ด้วยตู้อบ (Oven cure) จะมีค่าของสมบัติทางด้าน Tensile Strength (รูปที่ 22) ที่ต่ำกว่าการวัลคาไนซ์ด้วยการอัดเบ้า (Pressed cure) เนื่องจากการวัลคาไนซ์ด้วยอากาศร้อนไม่มีความดันที่จะควบคุมการขยายตัวของฟองอากาศ ส่งผลให้ชิ้นทดสอบที่ผ่านการวัลคาไนซ์เกิดฟองอากาศปริมาณมากอยู่ภายในซึ่งเป็นสาเหตุทำให้มีความแข็งแรงที่ต่ำ

เมื่อนำไปทดสอบสมบัติทางด้าน Elongation at Break (รูปที่ 23) พบว่าค่าที่ได้นั้นจะตรงข้ามกับค่า Tensile Strength โดยการวัลคาไนซ์ด้วยตู้อบจะมีค่าที่สูงกว่าการวัลคาไนซ์ด้วยการอัดเบ้า เนื่องจากการวัลคาไนซ์ด้วยการอัดเบ้าจะทำให้ขึ้นทดสอบเกิดฟองอากาศที่น้อยกว่า ส่งผลให้มีความแข็งแรงสูงแต่ความสามารถที่จะเกิดการยืดหยุ่นของสายโซ่โมเลกุลน้อย ระยะยืดที่ขึ้นทดสอบขาดจึงต่ำกว่าการวัลคาไนซ์ด้วยอากาศร้อน

เนื่องจากอิทธิพลของฟองอากาศที่เกิดขึ้นในขึ้นทดสอบจากการวัลคาไนซ์ด้วยอากาศร้อนจึงส่งผลให้สมบัติทางด้านความแข็งแรง (รูปที่ 24) ต่ำกว่าการวัลคาไนซ์ด้วยการอัดเบ้า

สรุปผล

จากผลการวิจัยพบว่าสมบัติการยึดติด (tack) ของกาวยางสกิมเครป หรือกาวดินน้ำมันที่เตรียมด้วยการผสมน้ำมัน และ CaCO_3 ที่ปริมาณต่าง ๆ กันแปรไปตามปริมาณสารตัวเติม โดยผลของปริมาณน้ำมันที่สูงขึ้นทำให้ส่งผลให้แนวโน้มของ adhesion strength ลดลงเล็กน้อย ซึ่งไม่สามารถอธิบายได้ทฤษฎีการแพร่ เนื่องจากน้ำมันควรจะเพิ่มความสามารถในการเคลื่อนที่ของสายโซ่โมเลกุล อย่างไรก็ตามผลการทดลองลักษณะเดียวกันนี้ได้นำเสนอมาแล้วในการผสมด้วย plasticizer และ processing oil [1] ซึ่งแสดงให้เห็นว่าไม่สามารถใช้ทฤษฎีการแพร่เพียงทฤษฎีเดียวในการศึกษาการยึดติด ขงที่ใช้เวลาการบดผสมนานขึ้นส่งผลให้น้ำมันหนักโมเลกุล และ adhesion strength ที่ลดลงเนื่องจากกาวยางมี green strength ที่ลดลง แม้ว่าขนาดโมเลกุลที่สั้นจะส่งผลให้โมเลกุลเกิดการแพร่ได้มากขึ้น เช่นเดียวกันกับปริมาณ CaCO_3 ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ green strength ของยางสูงขึ้น และ adhesion strength สูงขึ้น แสดงว่ากาวยางที่ศึกษามีข้อจำกัดของความแข็งแรงของการยึดติดอยู่ที่ green strength ของยาง และการทฤษฎีการแพร่ที่ใช้ในการอธิบายการยึดติดของยางมีข้อจำกัดที่จะอธิบายในกรณีที่มีการยึดติดของยางเป็นไปในรูปแบบที่ความแข็งแรงถูกจำกัดด้วยการแพร่ของโมเลกุลเท่านั้น นอกจากนี้จากการแปรค่าความหนาของชั้นกาวยังทำให้พบว่าอิทธิพลของโมเลกุลของยางนั้นไม่เพียงจะส่งผลต่อหน้าสัมผัสที่เกิดการยึดติดเพียงเท่านั้นแต่ยังมีผลต่อการกระจายความเค้นภายในกาวและส่งผลต่อ adhesion strength ของกาวอีกด้วย

เมื่อศึกษาการเตรียมการใช้งานยางสกิมเครปในรูปแบบของกาวดินน้ำมันพบว่า ชนิดของน้ำมันมีผลต่อความสามารถในการจัดเก็บของผลิตภัณฑ์ โดยน้ำมัน R15 สามารถคงสมบัติได้ดีที่สุดในระยะเวลาการจัดเก็บ 42 วัน สมบัติจะเปลี่ยนในช่วง 14 วันแรก โดยค่า cold flow และ adhesion strength จะสูงขึ้นเล็กน้อยและจะค่อนข้างคงที่ไปจนถึงสิ้นสุดระยะเวลาการทดสอบ ยกเว้นตัวอย่างที่มีปริมาณ CaCO_3 สูง 380 phr เท่านั้นที่มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของสมบัติดังกล่าว เมื่อมีการวัลคาไนซ์ด้วยการอบอากาศร้อนโดยเปรียบเทียบกับการใช้เครื่องอัดพบว่าสมบัติ tensile strength และความแข็งแรงต่ำกว่าเล็กน้อย

จากการวิจัยนี้พบว่ายางสกิมเครปสามารถนำมาเตรียมเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทกาวดินน้ำมันที่มีการล้มเหลวของกาวในลักษณะ adhesive failure ได้โดยง่ายมีความสามารถในการเก็บที่ดี นอกจากนี้ยังสามารถเตรียมเป็นผลิตภัณฑ์ในลักษณะดินน้ำมันที่สามารถคงรูปได้หลังการอบอากาศร้อน ซึ่งผลิตภัณฑ์ทั้งสองรูปแบบนี้สามารถเตรียมได้ง่าย ใช้เครื่องมือ สารเคมีน้อย และทักษะค่อนข้างน้อย มีความเหมาะสมในการเผยแพร่ไปสู่ชุมชนได้ดี

ข้อเสนอแนะ

Gum based adhesive หรือ วัสดุกึ่งดินน้ำมัน สำหรับงานศิลปะ และเครื่องใช้ในสำนักงานนั้นมีหลากหลายรูปแบบ Gum based adhesive นั้นเป็นวัสดุนำเข้าที่ทำจากสารสังเคราะห์ ส่วนวัสดุกึ่งดินน้ำมันไม่สามารถเก็บคงรูปไว้ใน

ภายหลังได้ ผลจากการวิจัยนี้จะสามารถต่อยอดหรือขยายสู่ชุมชนเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ทั้งสองประเภทนี้ได้ โดยง่าย โดยมีจุดเด่นในความเป็นไทยธรรมชาติ 100% หรือ ความสามารถในการคงรูปของวัสดุที่คงทนน้ำมันที่ใช้ ยางตามสูตรที่ได้พัฒนาขึ้นมานี้



รูปที่ 25 ลักษณะของการใช้งานกาวยางสีกิมเครฟในการติดกับวัสดุต่างๆ



รูปที่ 26 การใช้งานกาวยางสีกิมเครฟในงานปั้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] Joseph, R., *Rubber to Rubber Bonding*, in *The Handbook of Rubber Bonding*, B. Crowther, Editor. 2001, Rapra Technology Limited: UK.
- [2] Voyutskii, S.S.: "*Autohesion and Adhesion of High Polymers*". *Polymer Reviews*, ed. H.F. Mark and E.H. Immergut. Vol. 4. Interscience Publishers, New York (1963).
- [3] Adderley, C.S.: "*Adhesive Bonding*", 9(5):(1988), p. 287.
- [4] Bhowmick, A.K., P. Loha, and S.N. Chakravarty: "*Studies on adhesion between natural rubber and polybutadiene rubber*", 9(2):(1989), p. 95.

ภาคผนวก

สรุปข้อคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิต่อโครงการ

“คุณสมบัติการยึดติดของยางธรรมชาติ” RDG4950025

1. ควรตรวจสอบความถูกต้องของการพิมพ์ เช่น ชัปเสรด? (สเตรด) ยางเครฟ ? (เครป) ทุกหน้า
2. ควรใส่หมายเลขหน้า
3. ทบทวนการเรียบเรียงสรุป “บทสรุปผู้บริหาร” และบทคัดย่อ / Abstract ให้เข้าใจได้ ตัวอย่างเช่น สรุปผลการดำเนินงานย่อหน้าที่ 3, 6 ควรเรียบเรียงและให้เหตุผลวิชาการที่ชัดเจน ประโยคแรกของบทคัดย่อไม่น่าจะเหมาะสม ย่อหน้าสุดท้ายของบทคัดย่อควรเพิ่มเติมความชัดเจนทางวิชาการของข้อสรุปเรื่อง “ความขรุขระของผิว...” อนึ่ง เมื่อเทียบกับ abstract สรุปของบทคัดย่อในส่วนสุดท้ายไม่น่าจะตรงกัน
4. ควรอธิบายหรือให้ความชัดเจนในข้อความบางแห่ง เช่น “การศึกษาการล้มเหลวของยางในลักษณะ adhesive และ cohesive ...” เป็นต้น ซึ่งเมื่ออ่านแล้วไม่สามารถเข้าใจได้
5. ทฤษฎีแนวคิดในการวิจัยที่เสนอและทดลองนั้น เป็นการตั้งสมมุติฐานขึ้นเองหรือมาจากการอ้างอิง และผลการทดลองเป็นไปตามทฤษฎีหรือไม่ ควรอธิบายด้วย
6. ตรวจสอบความถูกต้อง
 - a. ข้อย่อที่ 1 ของข้อ 5.2
 - b. ข้อย่อที่ 1 ของข้อ 6.2
 - c. รูปที่ 1 รูปซ้ายมือคืออะไร และ skim คืออะไร
 - d. ประโยคสุดท้ายของคำอธิบายรูปที่ 3 และประโยคสุดท้ายบรรทัดที่ 3 จากท้ายหน้าเดียวกัน “...การเกี่ยวพันระหว่างสายโซ่...” ?
7. ควรสรุปให้สอดคล้องกับประเด็นวัตถุประสงค์ที่กำหนด 3 ข้อ โดยเฉพาะ
 - a. ข้อ 1 สมบัติพื้นฐานการยึดติดของ NR ที่ได้จากการทดลอง ?
 - b. ข้อ 3 พัฒนาสู่การผลิต กาวดินน้ำมันได้อย่างไร
8. โครงการนี้ตั้งเป้าให้ได้ทฤษฎีพื้นฐานในการยึดติด แต่รายงานไม่ได้เน้นในส่วนนี้ ที่ปรากฏกลับเป็นผลการทดลองต่าง ๆ แบบ impractical
9. ควรมีรูปภาพของผลิตภัณฑ์ประกอบด้วย

คำชี้แจงต่อข้อคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ

1. แก้ไขแล้ว
2. แก้ไขแล้ว
3. แก้ไขแล้ว
4. แก้ไขแล้ว
5. แก้ไขเพิ่มเติมในส่วนของทฤษฎีและสรุปผลการทดลองแล้ว
6. แก้ไขแล้ว
 - a. แก้ไขแล้ว
 - b. แก้ไขแล้ว

- c. แก๊วโดยเพิ่มคำอธิบายรูปแล้ว shim เป็นแผ่นรองที่มีความหนาเท่าชิ้นทดสอบใช้เพื่อให้แนวแรงในการดึงทดสอบอยู่ในแนวเดียวกัน
 - d. แก๊วแล้ว
- 7. แก๊วแล้ว
 - 8. แก๊วเพิ่มเติมในสรุป
 - 9. เพิ่มเติมแล้ว