



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์
การเตรียมและสมบัติของแบบพิมพ์สำหรับขึ้นรูปผลิตภัณฑ์สบู่ธรรมชาติ
จากน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์โดยใช้นาโนซิลิกาเป็นสารตัวเติม
Preparation and properties of mold casting for natural soap product from
prevulcanized natural rubber using nanosilica as filler

คณะผู้วิจัย

1. นางสาวปราณี น้อยหนู
2. ดร. นิภาวรรณ พองพรหม

สังกัด

คณะวิทยาศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงบประมาณแผ่นดิน
ประจำปีงบประมาณ 2555

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย ม.อบ. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

แบบสรุปผลการวิจัย

ชื่อโครงการวิจัย	การเตรียมและสมบัติของแบบพิมพ์สำหรับขึ้นรูปผลิตภัณฑ์สบู่ธรรมชาติจากน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์โดยใช้นาโนซิลิกาเป็นสารตัวเติม
ผู้วิจัยและผู้ร่วมวิจัยที่ทำงาน	นางสาวปราณี น้อยหนู และดร. นิภาวรรณ พงษ์พรหม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ 85 ถ. สดลมารค์ ต. เมืองศรีโค อ. วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190
ระยะเวลาทำการวิจัย	ตั้งแต่วันที่ 20 มิถุนายน 2555 ถึง วันที่19 มิถุนายน 2556

ความเป็นมา/ปัญหาในการวิจัย

ในปัจจุบันสิ่งที่มองข้ามไปไม่ได้ คือการดูแลสุขภาพตัวเองนั้นเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง โดยเฉพาะการใช้ผลิตภัณฑ์เพื่อประพรมผิวกายการชำระล้างสิ่งสกปรกต่างๆของร่างกายนับได้ว่ามีความจำเป็นจะเห็นได้ว่ามีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ๆเกิดขึ้นมากมายและเป็นที่ยอมรับกันเพิ่มมากขึ้น เช่น ผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางต่างๆ เพื่อการดูแลผิวพรรณ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ชำระร่างกายซึ่งมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตประจำวัน เช่น สบู่ (Soap) เนื่องจากสบู่สามารถดึงสิ่งสกปรกและไขมันที่อยู่ในร่างกายได้ สบู่จึงเป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งที่ได้รับความสะดวกในการพัฒนาและเพิ่มมูลค่ามากขึ้นหลายประเทศทั่วโลกรวมทั้งประเทศไทยก็ได้ให้ความสำคัญและมหาวิทยาลัยอุบลราชธานีจัดเป็นองค์กรหนึ่งที่มีความสนใจทางด้านการพัฒนาผลิตภัณฑ์สบู่ซึ่งผลิตจากวัตถุดิบที่มีอยู่ในท้องถิ่นมาเป็นสารเพิ่มความหอมและสีกลิ่นความสวยงามและมีประสิทธิภาพช่วยชำระล้างสิ่งสกปรกได้จึงได้ทำการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์สบู่ดังกล่าวจนกระทั่งสำเร็จและได้ทำผลิตภัณฑ์สบู่ดังกล่าวจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ และสามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัสดุที่มีอยู่ในท้องถิ่นได้

แต่อย่างไรก็ตามการผลิตผลิตภัณฑ์สบู่ก็ยังพบเจอปัญหาในด้านการใช้แม่แบบพิมพ์ในการขึ้นรูปเนื่องจากแบบพิมพ์ที่นำมาใช้ที่จำหน่ายในทางการค้านั้นผลิตจากยางซิลิโคน (Silicone) ซึ่งเป็นยางที่มีคุณภาพดีมีสมบัติเชิงกลดีและสามารถนำมาออกแบบพิมพ์ให้มีรูปร่างต่างๆได้ตามความต้องการและทนยุคสมัยที่นิยมแม้ว่ายางซิลิโคนมีจุดเด่นมากมายแต่พบว่ายังมีข้อด้อยคือมีราคาค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับต้นทุนการผลิตสบู่ดังนั้นแนวทางหนึ่งที่สามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวนี้ได้โดยการนำวัตถุดิบที่มีอยู่ในภูมิภาคมาประยุกต์ใช้สำหรับการเตรียมเป็นแบบพิมพ์โดยการนำยางธรรมชาติ (Natural rubber, NR) ซึ่งเป็นทางเลือกหนึ่งเนื่องจากยางธรรมชาติสามารถขึ้นรูปได้ง่ายและมีสมบัติเชิงกลดี มีความยืดหยุ่นสูงเมื่อเปรียบเทียบกับยางสังเคราะห์แล้วพบว่าไม่มียางสังเคราะห์ชนิดใดที่มีสมบัติด้านความยืดหยุ่นสู้ยางธรรมชาติได้จึงมีความเหมาะสมสำหรับนำมาทำการขึ้นรูปเป็นแบบพิมพ์สำหรับหล่อสบู่และเป็นวัตถุดิบที่มีอยู่ในพื้นที่สามารถหาได้ง่ายแต่อย่างไรก็ตามแม้ว่ายางธรรมชาติจะมีสมบัติเชิงกลดีแต่ยางธรรมชาติยังมีข้อเสียในด้านการเสื่อมต่อสภาวะแวดล้อมได้ง่ายภายใต้สภาวะ แสงแดด ออกซิเจน และโอโซน ดังนั้นได้มีนักวิจัยจำนวนมากได้ศึกษาการปรับปรุงสมบัติของยางธรรมชาติให้มีประสิทธิภาพและเหมาะแก่การใช้งานเพิ่มสูงขึ้น สามารถทำได้หลายวิธีการดัดแปรโครงสร้างโมเลกุลของยางธรรมชาติ เช่น การทำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (Epoxidize natural rubber; ENR) ยางธรรมชาติไฮโดรจิเนชัน (Hydrogenation natural rubber; HNR) เป็น

ตัน และการใช้สารตัวเติม (filler) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งาน เช่น ไททาเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide; TiO_2) และซิลิกา (Silicon dioxide; SiO_2) เป็นต้น เพื่อปรับปรุงสมบัติด้านการทนทานต่อการเสื่อมสภาพของยาง แต่การทำคาร์ดัตแปรโครงสร้างโมเลกุลของยางธรรมชาตินำมาประยุกต์ใช้กับการเตรียมแบบพิมพ์นั้นทำได้ยากเนื่องจากความเข้มข้นของน้ำยางมีค่าประมาณ 10-20% โดยน้ำหนัก ซึ่งไม่เหมาะสำหรับการนำไปทำการขึ้นรูปและการใช้งาน วิธีการที่สามารถทำได้โดยการเติมสารที่ทำให้การทนทานต่อความร้อนเพิ่มขึ้นคือการใช้ซิลิกาเป็นสารตัวเติม เนื่องจากหาซื้อสารซิลิกาได้ง่ายซึ่งมีจำหน่ายในทางการค้า และใช้เทคโนโลยีที่ไม่ยุ่งยาก โดยการผสมสารเคมีเข้าไปในน้ำยางได้ทันทีในระหว่างการเตรียมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ (Prevulcanized natural rubber, PVNR) สำหรับการหล่อแบบพิมพ์

ดังนั้นในงานวิจัยนี้คณะผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเตรียมและสมบัติของแบบพิมพ์สำหรับหล่อแบบผลิตภัณฑ์สบู่อธรรมชาติจากน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์โดยใช้ซิลิกาเป็นสารตัวเติม และทดสอบสมบัติของแบบพิมพ์จากยางธรรมชาติ ผลการศึกษานี้คณะผู้วิจัยหวังว่าจะเป็นประโยชน์อย่างมากต่อชุมชนในท้องถิ่น ทั้งในเชิงวิชาการ ในเชิงอุตสาหกรรม และสิ่งแวดล้อม เนื่องจากยางธรรมชาติเป็นวัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งในการสร้างรายได้ให้กับคนในชุมชนจังหวัดอุบลราชธานีและบริเวณพื้นที่ใกล้เคียงที่เริ่มมีสวนยางพาราและได้เป็นแนวทางหนึ่งในการนำนโยบายของรัฐบาลมาทำการแปรรูปน้ำยางเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับน้ำยางและเป็นการสร้างรายได้ให้กับประเทศชาติและเพิ่มการจ้างงานให้กับประชากรของประเทศได้

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์สำหรับการขึ้นรูปแบบพิมพ์
2. เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพ เชิงกลและสมบัติทางความร้อนของแบบพิมพ์สำหรับใช้ในกระบวนการหล่อแบบ
3. เพื่อศึกษาการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์สบู่อจากแบบพิมพ์ที่ผลิตจากน้ำยางธรรมชาติ

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาค้นคว้าหาข้อมูลจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง
2. รวบรวมข้อมูลการผลิตสบู่อ การผลิตแบบพิมพ์ และการเตรียมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ เพื่อนำมาจัดทำแผนการวิจัย
3. ดำเนินการจัดหาวัสดุ และอุปกรณ์ในการทำงานวิจัย
4. หาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์และเตรียมชิ้นงานทดสอบ
5. ทดสอบสมบัติทางกายภาพ เคมี เชิงกล และทางความร้อนของแบบพิมพ์ที่เตรียมจากน้ำยางธรรมชาติ ดังนี้
 - 5.1 สมบัติเชิงกล ได้แก่ ความทนทานต่อแรงดึง (Tensile strength) ASTM D 412 ความทนทานต่อการฉีกขาด (Tear strength) ASTM D 624 ความแข็ง (Hardness) ASTM D 2240

5.2 สมบัติทางเคมี ได้แก่ วิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค FT-IR การต้านต่อน้ำมัน ละตัวทำละลาย (Oil and Solvent resistance) ความหนาแน่นของพันธะเชื่อมขวาง (Cross-link density) ASTM D 471

5.3 สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ลักษณะการเข้ากันได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ ส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) และปริมาณโลหะหนัก (Heavy metal content)

5.4 สมบัติทางความร้อน ได้แก่ หาอุณหภูมิหลอมเหลวผลึกและอุณหภูมิกลาสรานขึ้น ด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter, DSC) ทดสอบอุณหภูมิการสลายตัวด้วยเทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริกแอนาไลเซอร์ (Thermo Gravimetric Analyzer, TGA)

6. เตรียมแบบพิมพ์และทำการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์สบูด้วยกระบวนการหล่อแบบด้วยแบบพิมพ์ยางธรรมชาติ

7. รวบรวม ผลการทดลองและการทดสอบ

8. วิเคราะห์ วิจัย และสรุปผลการดำเนินการวิจัย

9. จัดทำรูปเล่มรายงาน

10. เสนอผลงานทางวิชาการ

ผลการวิจัย

1. สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ (prevulcanized latex)

1) การเตรียมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ พบว่าการปั่นน้ำยางผสมกับสารเคมีด้วยความเร็ว คงที่และใช้เวลา 1 ชั่วโมง จะทำให้สารเคมีกระจายตัวในน้ำยางได้ดี

2) ในขณะที่ปั่นน้ำยางผสมกับสารเคมีแล้วเปิดฝาเครื่องปั่นสารไว้ จะทำให้น้ำยางไม่เกิด เป็นฝ้า

3) การบ่มน้ำยางเป็นระยะเวลา 4 วัน เมื่อนำไปทดสอบด้วยคลอโรฟอร์มจะให้ป็นน้ำ ยางพรีวัลคาไนซ์โดยสมบูรณ์

2. การทดสอบสมบัติเบื้องต้นของน้ำยางพรีวัลคาไนซ์

1) การเติมฟุ่มซิลิกาจะทำให้น้ำยางต้องใช้ระยะเวลาในการวัลคาไนซ์นานกว่าการเติม ปริซีพีเตตซิลิกา

2) ระยะเวลาที่เหมาะสมในการบ่มน้ำยางพรีวัลคาไนซ์เท่ากับ 4 วัน

3) การเติมฟุ่มซิลิกาที่ 0.5 phr จะทำให้ปริมาณเนื้อยางแห้งลดลงกว่าการเติมปริซีพี เตตซิลิกาซึ่งมีค่า 49.45% และ 50% ตามลำดับ

4) ปริมาณของแข็งมีค่ามากขึ้นเมื่อเติมปริซีพีเตตและฟุ่มซิลิกามากขึ้น

5) ปริมาณความเป็นด่างของน้ำยางคอมปาวด์ที่มีการเติมปริซีพีเตตซิลิกาและฟุ่มซิลิกา ไม่แตกต่างกัน

6) การเติมฟุ่มซิลิกาลงในน้ำยางจะมีความเป็นกรดมากกว่าการเติมปริซีพีเตตซิลิกา

3. การทดสอบสมบัติเชิงกลของแผ่นยาง

- 1) การเติมพรีซิพิตเตตซิลิกาจะส่งผลให้ค่า Tensile strength , Elongation at break , 300 %modulus, Tear resistance สูงกว่าการเติมฟุ่มซิลิกา
- 2) การเติมพรีซิพิตเตตซิลิกาและฟุ่มซิลิกาจะส่งผลให้ค่า Set after break, และ Hardness ไม่แตกต่างกัน

4. การทดสอบลักษณะพื้นฐานวิทยา

ยางวัลคาไนซ์ที่มีการเติม พรีซิพิตเตตซิลิกาที่ 0.5 phr สามารถกระจายตัวใน เมทริกซ์ ยางได้ดีกว่าการเติมฟุ่มซิลิกาและการเติมฟุ่มซิลิกาจะเกิดการจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อน

5. การทดสอบสมบัติทางเคมี

- 1) การเติมฟุ่มซิลิกาจะมีอัตราการบวมพองไม่ต่างกับการเติมพรีซิพิตเตตซึ่งมีค่า 322% และ 320 % ตามลำดับ
- 2) การเติมพรีซิพิตเตตซิลิกาจะมีระดับการเชื่อมขวางสูงกว่าการเติมฟุ่มซิลิกา
- 3) จาก FT-IR สเปกตรัมของยางวัลคาไนซ์พบหมู่ฟังก์ชันของยางธรรมชาติที่เลขคลื่น 1450 cm^{-1} , 1375 cm^{-1} และ 1650 cm^{-1} พบหมู่ฟังก์ชันของซิลิกา SiO_2 ที่เลขคลื่น $500\text{-}860\text{ cm}^{-1}$ และ CO_3^{2-} ที่เลขคลื่น 876 cm^{-1}

6. การทดสอบสมบัติทางความร้อน

จากการทดสอบสมบัติทางความร้อนของยางวัลคาไนซ์ด้วยเทคนิค TGA จะเห็นได้ว่า เทอร์โมแกรมที่แสดงการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของตัวอย่างและอุณหภูมิแสดงดังตารางที่ 4.5 และ ภาพที่ 4.18, 4.19, 4.20, 4.21 พบว่า ยางวัลคาไนซ์ที่มีการเติมพรีซิพิตเตตซิลิกาและฟุ่มซิลิกาที่ 0.1- 0.5 phr มีพฤติกรรมทางความร้อนที่คล้ายคลึงกัน โดยสังเกตได้จาก TGA เทอร์โมแกรมซึ่งจะเกิดการสลายตัวเริ่มต้นในช่วงอุณหภูมิ $64.7\text{-}88.91^{\circ}\text{C}$ และอุณหภูมิการสลายตัวสูงสุดในช่วงอุณหภูมิ $369\text{-}372^{\circ}\text{C}$ จากกราฟ DTG เทอร์โมแกรมที่อัตราส่วนต่างกันพบว่าเมื่อเติมซิลิกาลงในยางธรรมชาติ จะทำให้การสลายตัวจากความร้อนของแผ่นยางวัลคาไนซ์ใช้เวลาในการสลายตัวเพิ่มขึ้นเนื่องจากว่า พรีซิพิตเตตซิลิกาหรือฟุ่มซิลิกาเป็นสารตัวเติมที่มีสมบัติทนความร้อนได้สูงจึงทำให้การสลายตัวของแผ่น ยางวัลคาไนซ์เพิ่มขึ้น

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการใช้สารคู่ควบเพื่อที่จะทำให้ยางกับซิลิกาเข้ากันได้มากกว่านี้เช่น ใช้สารโพลีเอ ทิสีนไกลคอล
2. เครื่องมือกวนน้ำยางสำหรับทำน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ควรจะใช้เครื่องมือที่มีแรงกวนที่สูงปาน กลางถ้าเครื่องมือมีแรงกวนน้อยจะทำให้สารเคมีไม่กระจายตัวในน้ำยางและเกิดการตกตะกอนของ สารเคมี

การนำไปใช้ประโยชน์

ได้แม่แบบที่เหมาะสมสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานจริงในการทำผลิตภัณฑ์หล่อแบบพิมพ์สบู่ และได้นำองค์ความรู้และวิธีการเตรียมแบบพิมพ์จากนี้มาถ่ายทอดความรู้สู่ชุมชน เพื่อที่จะนำไปประกอบอาชีพและสร้างรายได้ให้กับประชากรในพื้นที่ภูมิภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ต่อย่างได้

การเตรียมและสมบัติของแบบพิมพ์สำหรับขึ้นรูปผลิตภัณฑ์สบู่ธรรมชาติ
จากน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์โดยใช้นาโนซิลิกาเป็นสารตัวเติม
Preparation and properties of mold casting for natural soap product from
prevulcanized natural rubber using nanosilica as filler

ปราณี นุ้ยหนู และ ดร. นิภาวรรณ พงษ์พรหม

Pranee Nuinu, and Dr. Nipawan Pongprom

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อเตรียมและศึกษาสมบัติน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ที่ใช้ พรีซิพิตเตดซิลิกาและ ฟุ่มซิลิกาเป็นสารตัวเติมโดยมีการแปรปริมาณพรีซิพิตเตดซิลิกาและฟุ่มซิลิกา 0.1- 0.5 phr ทำการเตรียมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์โดยใช้น้ำยางข้นผสมกับสารเคมีในรูปดีสเพอร์ชัน ซึ่งใช้ซิลิกาและนาโนซิลิกา ความเข้มข้น 2.5% โดยน้ำหนักปั่นด้วยแรงกลที่ความเร็ว 65 รอบ/นาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นทำการบ่มน้ำยางเพื่อให้เกิดการวัลคาไนซ์บางส่วนที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 4 วัน จึงนำน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ไปทำการหล่อขึ้นรูปบนแผ่นกระจก อบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 ชั่วโมง และทำการศึกษสมบัติของน้ำยางพรีวัลคาไนซ์และสมบัติของยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ ได้แก่ สมบัติเชิงกล สมบัติทางเคมี สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางความร้อน จากการทดสอบสมบัติของน้ำยางพรีวัลคาไนซ์พบว่าสูตรที่เติมพรีซิพิตเตดซิลิกาใช้เวลา 3 วัน จะได้คลอโรฟอร์ม นัมเบอร์ เบอร์ 3 ส่วนสูตรที่เติมฟุ่มซิลิกาใช้เวลา 4 วัน จึงจะได้เบอร์ 3 ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากพื้นผิวจำเพาะของซิลิกามีความเป็นกรดสูงจึงทำให้ห่วงสารตัวเร่งให้ทำงานช้าลงโดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของน้ำยางที่เติมฟุ่มซิลิกาจะมีความเป็นกรดสูงจึงใช้เวลา 4 วัน จึงจะได้เบอร์ 3 จากการทดสอบสมบัติเชิงกลของยางวัลคาไนซ์พบว่า สูตรที่เติมพรีซิพิตเตดซิลิกาจะให้ค่าความทนทานต่อแรงดึง ความทนทานต่อการฉีกขาด ระยะยืด ณ จุดขาด และความแข็งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและมีค่ามากที่สุดที่ 0.5 phr ในขณะที่ระยะยืด ณ จุดขาด 300% โมดูลัส ความสามารถในการคืนตัวหลังขาดมีแนวโน้มลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจนเมื่อเติมฟุ่มซิลิกาที่ 0.5 phr การเติมฟุ่มซิลิกาทำให้สมบัติเชิงกลลดลงทั้งนี้เนื่องจากมีพื้นผิวมากก่อให้เกิดการจับตัวเป็นกลุ่มก้อนทำให้การกระจายตัวในยางได้ไม่ดี ผลการศึกษสมบัติทางเคมีพบว่า การเติมพรีซิพิตเตดซิลิกาปริมาณ 0.5 phr จะทำให้ทนต่อการบวมพองได้ดีเนื่องจากการเติมสารตัวเติมในปริมาณที่สูงจะทำให้ความเป็นยางลดลงส่งผลทำให้ตัวทำละลายแทรกตัวเข้าไปอยู่ระหว่างสายโซ่โพลิเมอร์ได้น้อยผลจากการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบว่าพรีซิพิตเตดซิลิกาจะเกิดการกระจายเข้าไปในเมทริกซ์ของยางได้ดี จากการวิเคราะห์ด้วยฟูเรียรทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (FT-IR) พบว่าเกิดอันตรกิริยาของซิลิกากับยาง ซึ่งพบหมู่ฟังก์ชันของยางธรรมชาติที่เลขคลื่น 1450 cm^{-1} , 1375 cm^{-1} และ 1650 cm^{-1} และจากการเติมซิลิกาพบว่ามีหมู่ SiO_2 ที่เลขคลื่น $500\text{-}860\text{ cm}^{-1}$ จากข้อมูลของการสลายตัวด้วยความร้อนของพอลิเมอร์ผสมซึ่งในช่วงแรกน้ำหนักรวมจะลดลงเล็กน้อยซึ่งการสลายตัวในช่วงแรกนั้นเป็นการสลายตัวของยางธรรมชาติอยู่ในช่วงอุณหภูมิประมาณ 370 องศาเซลเซียสและ

ในช่วงที่ 2 เป็นการสลายตัวของสารตัวเติมแคลเซียมคาร์บอเนตและสารตัวเติมซิลิกาและนาโนซิลิกา
อยู่ในช่วงอุณหภูมิ 408 องศาเซลเซียส

คำสำคัญ น้ำยางธรรมชาติ น้ำยางพรีวัลคาไนซ์ ซิลิกา นาโนซิลิกา สารตัวเติม

ABSTRACT

This research aims to prepare and study the properties of prevulcanized latex using precipitate silica and fume silica as filler in the amount of 0.1-0.5 phr. The prevulcanized latex was prepared by mixing of natural rubber latex and additives with 2.5% dispersion of precipitate silica and fume silica. The mixture was stirred at room temperature for 1 h and then left curing at room temperature for 4 days. The obtained compound latex was casting-molded and dried in the oven at 70oC for 20 h. The obtained vulcanize rubber was tested on mechanical properties, chemical properties, physical properties and thermal properties. The results showed that prevulcanized latex with chloroform number 3 was obtained after 3 days for precipitate silica and 4 days for fume silica. We suggested that the smaller particle size of nanosilica which is higher acidity resulted in slower curing. The mechanical properties of vulcanized rubber with silica were increased in term of tensile strength, tear strength, elongation at break and hardness when increase amount of silica. The vulcanized rubber with nanosilica resulted in remarkably decreasing of elongation at break, 300% modulus and set after break when increase amount of nanosilica. It is possible that nanosilica is noncompatible with natural rubber resulting in lower mechanical properties. The vulcanized rubber with 0.5 phr of silica showed good swelling resistant because higher filler amount protect the insertion of solvent into rubber molecule. Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR) showed peak of natural rubber functional group at 1450, 1375, and 1650 cm⁻¹ and signal of silica at 500-800 cm⁻¹. The thermo gravimatrix analysis (TGA) of polymer blend showed the first decrease of molecular weight which mean the decomposition of natural rubber at 370oC and the second decrease for the decomposition of calcium carbonate, silica and nanosilica at 408oC.

Keywords Natural rubber latex , Prevulcanized latex ,Silica , Nanosilica , Filler

สารบัญ

แบบสรุปการวิจัย	หน้า
บทคัดย่อ	3
Abstract	8
	9
บทที่ 1 เนื้อหาการวิจัย	
1.1 บทนำ	11
1.2 ยางธรรมชาติ	11
1.3 นํ้ายางธรรมชาติ	16
1.4 ซิลิกา	19
1.5 สบู่	21
1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	23
1.7 ขอบเขตงานวิจัย	24
1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	25
บทที่ 2 สารเคมี อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย	
2.1 วัสดุและสารเคมี	27
2.2 อุปกรณ์และเครื่องมือวิเคราะห์	29
2.3 วิธีดำเนินการวิจัย	31
บทที่ 3 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	
3.1 การทดสอบสมบัติเบื้องต้นของนํ้ายางพรีวัลคาไนซ์	44
3.2 การทดสอบสมบัติเชิงกลของยางวัลคาไนซ์	48
3.3 การทดสอบสมบัติทางเคมีของยางวัลคาไนซ์	54
3.4 การทดสอบสมบัติทางกายภาพของยางวัลคาไนซ์	57
3.5 การทดสอบสมบัติทางความร้อนของยางวัลคาไนซ์	62
บทที่ 4 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
4.1 สรุปผลการทดลอง	66
4.2 ข้อเสนอแนะ	67
เอกสารอ้างอิง	68
ภาคผนวก	70

บทที่ 1

เนื้อหาการวิจัย

1. บทนำ

ในปัจจุบันสิ่งที่มองข้ามไปไม่ได้ คือการดูแลสุขภาพตัวเองนั้นเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง โดยเฉพาะการใช้ผลิตภัณฑ์เพื่อประพินผิวกายการชำระล้างสิ่งสกปรกต่างๆของร่างกายนับได้ว่ามีความจำเป็นจะเห็นได้ว่าการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ๆเกิดขึ้นมากมายและเป็นที่ยอมรับกันเพิ่มมากขึ้น เช่น ผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางต่างๆ เพื่อการดูแลผิวพรรณ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ชำระร่างกายซึ่งมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตประจำวัน เช่น สบู่ (Soap) เนื่องจากสบู่สามารถดึงสิ่งสกปรกและไขมันที่อยู่ในร่างกายได้ [1] สบู่จึงเป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งที่ได้รับ ความสนใจในการพัฒนาและเพิ่มมูลค่ามากขึ้นหลายประเทศทั่วโลกรวมทั้งประเทศไทยก็ได้ให้ความสำคัญและมหาวิทยาลัยอุบลราชธานีจัดเป็นองค์กรหนึ่งที่มีความสนใจทางด้าน การพัฒนาผลิตภัณฑ์สบู่ซึ่งผลิตจากวัตถุดิบที่มีอยู่ในท้องถิ่นมาเป็นสารเพิ่มความหอมและสีส่นความสวยงามและมีประสิทธิภาพช่วยชำระล้างสิ่งสกปรกได้จึงได้ทำการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์สบู่ดังกล่าวจนกระทั่งสำเร็จและได้ทำผลิตภัณฑ์สบู่ดังกล่าวจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ และสามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัสดุที่มีอยู่ในท้องถิ่นได้

แต่อย่างไรก็ตามการผลิตผลิตภัณฑ์สบู่ก็ยังพบเจอปัญหาในด้านการใช้แม่แบบพิมพ์ในการขึ้นรูปเนื่องจากแบบพิมพ์ที่นำมาใช้ที่จำหน่ายในทางการค้านั้นผลิตจากยางซิลิโคน (Silicone) ซึ่งเป็นยางที่มีคุณภาพดีมีสมบัติเชิงกลดีและสามารถนำมาออกแบบพิมพ์ให้มีรูปร่างต่างๆได้ตามความต้องการและทันสมัยที่นิยมแม้ว่ายางซิลิโคนมีจุดเด่นมากมายแต่พบว่ายางยังมีข้อด้อยคือมีราคาค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับต้นทุนการผลิตสบู่ดังนั้นแนวทางหนึ่งที่สามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวนี้ได้โดยการนำวัตถุดิบที่มีอยู่ในภูมิภาคมาประยุกต์ใช้สำหรับการเตรียมเป็นแบบพิมพ์โดยการนำยางธรรมชาติ (Natural rubber, NR) ซึ่งเป็นทางเลือกหนึ่งเนื่องจากยางธรรมชาติสามารถขึ้นรูปได้ง่ายและมีสมบัติเชิงกลดี มีความยืดหยุ่นสูงเมื่อเปรียบเทียบกับยางสังเคราะห์แล้วพบว่าไม่มียางสังเคราะห์ชนิดใดที่มีสมบัติด้านความยืดหยุ่นสู้ยางธรรมชาติได้จึงมีความเหมาะสมสำหรับนำมาทำการขึ้นรูปเป็นแบบพิมพ์สำหรับหล่อสบู่และเป็นวัตถุดิบที่มีอยู่ในพื้นที่สามารถหาได้ง่ายแต่อย่างไรก็ตามแม้ว่ายางธรรมชาติจะมีสมบัติเชิงกลดีแต่ยางธรรมชาติยังมีข้อเสียในด้านการเสื่อมต่อสภาวะแวดล้อมได้ง่ายภายใต้สภาวะ แสงแดด ออกซิเจน และโอโซน [2] ดังนั้นได้มีนักวิจัยจำนวนมากได้ ศึกษาการปรับปรุงสมบัติของยางธรรมชาติให้มีประสิทธิภาพและเหมาะแก่การใช้งานเพิ่มสูงขึ้น สามารถทำได้หลายวิธีการดัดแปรโครงสร้างโมเลกุลของยางธรรมชาติ เช่น การทำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (Epoxidize natural rubber; ENR) ยางธรรมชาติไฮโดรจิเนชั่น (Hydrogenation natural rubber; HNR) เป็นต้น และการใช้สารตัวเติม (filler) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งาน เช่น ไททาเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide; TiO_2) และซิลิกา (Silicon dioxide; SiO_2) เป็นต้น เพื่อปรับปรุงสมบัติด้านการทนทานต่อการเสื่อมสภาพของยาง แต่การทำการดัดแปรโครงสร้างโมเลกุลของยางธรรมชาตินำมาประยุกต์ใช้กับการเตรียมแบบพิมพ์นั้นทำได้ยากเนื่องจากความเข้มข้นของน้ำยางมีค่าประมาณ 10-20% โดยน้ำหนัก ซึ่งไม่เหมาะสำหรับการนำไปทำการขึ้นรูปและการใช้งาน วิธีการที่สามารถทำได้

โดยการเติมสารที่ทำให้การทนทานต่อความร้อนเพิ่มสูงขึ้นคือการใช้ซิลิกาเป็นสารตัวเติม เนื่องจากหาซื้อสารซิลิกาได้ง่ายซึ่งมีจำหน่ายในทางการค้า และใช้เทคโนโลยีที่ไม่ยุ่งยาก โดยการผสมสารเคมีเข้าไปในน้ำยางได้ทันทีในระหว่างการเตรียมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ (Prevulcanized natural rubber, PVNR) สำหรับการหล่อแบบพิมพ์

ดังนั้นในงานวิจัยนี้คณะผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเตรียมและสมบัติของแบบพิมพ์สำหรับหล่อแบบผลิตภัณฑ์สบู่อธรรมชาติจากน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์โดยใช้พริซิพิเตดซิลิกาและฟูล์มซิลิกาเป็นสารตัวเติม และทดสอบสมบัติของแบบพิมพ์จากยางธรรมชาติ ผลการศึกษาวิจัยนี้คณะผู้วิจัยหวังว่าจะเป็นประโยชน์อย่างมากต่อชุมชนในท้องถิ่น ทั้งในเชิงวิชาการ ในเชิงอุตสาหกรรม และสิ่งแวดล้อมเนื่องจากยางธรรมชาติเป็นวัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งในการสร้างรายได้ให้กับคนในชุมชนจังหวัดอุบลราชธานีและบริเวณพื้นที่ใกล้เคียงที่เริ่มมีสวนยางพาราและได้เป็นแนวทางหนึ่งในการนำนโยบายของรัฐบาลมาทำการแปรรูปน้ำยางเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับน้ำยางและเป็นการสร้างรายได้ให้กับประเทศชาติและเพิ่มการจ้างงานให้กับประชากรของประเทศได้ เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศที่ผลิตและส่งออกยางพาราที่ใหญ่ที่สุดในโลกแต่การใช้ยางเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ภายในประเทศประมาณร้อยละ 10 ของผลผลิตยางพาราและมีการนำเข้าผลิตภัณฑ์ยางสำเร็จรูปจากต่างประเทศทั้งในแถบเอเชียและยุโรป [3] โดยที่ประเทศกลุ่มเหล่านี้จะซื้อวัตถุดิบจากประเทศไทยนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปส่งกลับมาขายในประเทศไทยอีกครั้งหนึ่งทำให้ประเทศไทยต้องเสียเงินตราให้ต่างประเทศในการนำเข้าปีละหลายร้อยล้านบาท แนวทางการพัฒนาอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางไม่ว่าจะเป็นขนาดเล็กที่รวมกลุ่มกันทำในครัวเรือนหรือสหกรณ์หรือขนาดใหญ่จะก่อให้เกิดรายได้ทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อเกษตรกรชาวสวนยาง ดังนั้นการเพิ่มปริมาณการใช้ยางธรรมชาติในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ จะส่งผลประโยชน์ต่อเกษตรกรชาวสวนยางจำนวนมาก ซึ่งจะช่วยให้เกษตรกรมีรายได้และความมั่นคงในอาชีพชาวสวนยางมากขึ้น

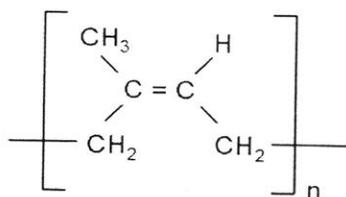
2. ยางธรรมชาติ (Natural rubber, NR) [4]

ยางธรรมชาติเป็นน้ำยางจากต้นไม้ยืนต้น มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งคือยางพาราหรือต้นยางพารา ยางพารามีถิ่นกำเนิดบริเวณลุ่มน้ำอเมซอน ประเทศบราซิล และเปรู ทวีปอเมริกาใต้ ซึ่งชาวอินเดียแดงเผ่ามายัน ในอเมริกากลาง ได้รู้จักนำยางพารามาใช้ก่อนปี พ.ศ. 2000 โดยการจุ่มเท้าลงไปใต้น้ำยางดิบเพื่อทำเป็นรองเท้า ส่วนเผ่าอื่นๆก็นำยางไปใช้ใช้ประโยชน์ ในการทำผ้ากันฝน ทำขวดใส่น้ำ และทำลูกบอลอย่างเล่นเกมสต่างๆ เป็นต้น

2.1 โครงสร้างของยางธรรมชาติ [4]

ยางธรรมชาติมีชื่อทางเคมี คือ พอลิไอโซพรีน (cis-1,4-polyisoprene) กล่าวคือในโมเลกุลยาง 1 โมเลกุลจะประกอบด้วยหน่วยของไอโซพรีน C_5H_8 มาต่อกันเป็นสายยาง (แบบเส้นตรง) โดยทั่วไปยางธรรมชาติที่มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยอยู่ในช่วง 200,000 ถึง 400,000 และมีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลที่กว้างมาก ยางธรรมชาติมีความหนาแน่นเท่ากับ 0.93 g/cm^3 ที่อุณหภูมิ $20 \text{ }^\circ\text{C}$ การเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature, T_g)

ประมาณ -72°C ยางธรรมชาติเมื่อนำไปเก็บไว้ในที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า -72°C สมบัติของยางธรรมชาติจะเปลี่ยนจากที่เคยยืดหยุ่นไปเป็นของแข็งเปราะคล้ายแก้ว



รูปที่ 1 สูตรโครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ [4]

จากรูปที่ 1 จะเห็นว่าใน 1 หน่วย ของไอโซพรีนจะมีพันธะคู่และมีหมู่แอลฟาเมทธิลีน (α -methylene) ที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาการคงรูปด้วยกำมะถัน ดังนั้นพันธะคู่ที่มีอยู่ในโมเลกุลของยางจึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการคงรูปด้วยกำมะถัน อย่างไรก็ตามพันธะคู่เหล่านี้ยังสามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่นๆได้อีก เช่น ออกซิเจน (Oxygen) หรือโอโซน (Ozone) ทำให้ยางเกิดการเสื่อมสภาพ หรืออาจทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจน คลอรีน ไฮโดรเจนคลอไรด์ เป็นต้น ซึ่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาระหว่างยางกับสารเคมีต่างๆ เหล่านี้จะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

โดยทั่วไป ยางธรรมชาติมีโครงสร้างการจัดเรียงตัวของโมเลกุลแบบอสัณฐาน แต่ในบางสถานะ เช่น ที่อุณหภูมิต่ำหรือเมื่อยางถูกยืด โมเลกุลของยางบางส่วนสามารถจัดเรียงตัวได้อย่างค่อนข้างเป็นระเบียบยางจึงสามารถเกิดผลึกได้ การเกิดผลึกเนื่องจากอุณหภูมิต่ำหรือที่เรียกว่า “Low temperature crystallization” จะพบในกรณีที่เก็บยางไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 20°C เป็นเวลานาน โดยยางจะมีอัตราเร็วในการตกผลึกสูงสุดที่อุณหภูมิต่ำกว่า -26°C การตกผลึกที่อุณหภูมิต่ำนี้จะทำให้ยางแข็งมากขึ้น ทำให้ไม่สามารถนำยางไปผสมให้เข้ากับสารเคมีหรือสารตัวเติมอื่นๆ แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นผลึกที่เกิดขึ้นก็จะถูกทำลาย ยางจะอ่อนตัวลงและกลับสู่สภาพเดิม ด้วยเหตุนี้ประเทศในเมืองหนาวจึงต้องนำยางธรรมชาติมาอบที่อุณหภูมิต่ำกว่า $50-70^{\circ}\text{C}$ เพื่อให้ยางอ่อนก่อนที่จะนำไปใช้ในกระบวนการผลิตต่อไป ส่วนการเกิดผลึกเนื่องจากการยืดตัวหรือที่เรียกว่า “Strain-induced crystallization” จะพบเมื่อยางถูกยืดจนมีความยาวมากกว่าความยาวตั้งต้นประมาณ 2-3 เท่า การเกิดผลึกเนื่องจากการยืดตัวของยางจะทำให้ยางมีสมบัติทางกายภาพเปลี่ยนแปลงไปอย่างชัดเจน กล่าวคือ ยางจะเปลี่ยนจากสภาพโปร่งแสงไปเป็นทึบแสง ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ง่ายในยางคงรูปที่ไม่มีการเติมสารตัวเติม นอกจากนี้การเกิดผลึกเนื่องจากการยืดตัวยังทำให้ยางคงรูปมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น นั่นคือยางจะมีความทนทานต่อแรงดึง ความทนทานต่อการฉีกขาด และความต้านทานต่อการขัดถูสูงขึ้น

2.2 สมบัติทั่วไปของยางธรรมชาติ [5]

1) ความยืดหยุ่น (Elasticity) สมบัติความยืดหยุ่นเป็นลักษณะเด่นอีกประการหนึ่งของยางธรรมชาติ กล่าวคือ ยางธรรมชาติที่คงรูปแล้วจะมีความยืดหยุ่นสูง เมื่อแรงภายนอกที่มากระทำกับยางหมดไป ยางจะกลับคืนสู่รูปร่างและขนาดเดิม ได้อย่างรวดเร็ว

2) ความเหนียวติดกัน (Tack) ยางธรรมชาติมีสมบัติดีเยี่ยมในด้านความเหนียวติดกัน ซึ่งเป็นสมบัติสำคัญของการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องอาศัยการประกอบชิ้นส่วนต่างๆเข้าด้วยกัน เช่น ยางล้อรถยนต์

3) ความทนทานต่อแรงดึง (Tensile strength) เนื่องจากโมเลกุลของยางธรรมชาติ มีความเป็นระเบียบสูงจึงทำให้ยางธรรมชาติสามารถดกผลึกได้ง่ายเมื่อถูกยืด ซึ่งผลึกที่เกิดขึ้นจะ ช่วยเสริมความแข็งแรงให้กับยาง ดังนั้นยางธรรมชาติจึงมีค่าความทนทานต่อแรงดึงสูงมากโดยที่ไม่ ต้องใช้สารตัวเติมเสริมแรงเข้าช่วย การเติมสารตัวเติมเสริมแรงลงไปก็จะช่วยทำให้ค่าความทนทาน ต่อแรงดึงสูงขึ้น ซึ่งสมบัตินี้จะแตกต่างจากยางสังเคราะห์ส่วนใหญ่ที่มักมีค่าความทนทานต่อแรง ดึงต่ำ จึงไม่สามารถนำไปใช้งานในทางวิศวกรรมได้นอกจากจะมีการเติมสารตัวเติมเสริมแรงเข้า ช่วยเท่านั้น

4) ความทนทานต่อการฉีกขาด (Tear strength) เนื่องจากยางธรรมชาติสามารถดก ผลึกได้เมื่อถูกยืด ดังนั้น ยางธรรมชาติจึงมีความทนทานต่อการฉีกขาดของยางสูงขึ้น

5) สมบัติเชิงพลวัต (Dynamic properties) ยางธรรมชาติมีสมบัติเชิงพลวัตที่ดี ยาง มีการสูญเสียพลังงานในรูปของความร้อนต่ำในระหว่างการใช้งาน นอกจากนี้ ยางธรรมชาติยังม ีความต้านทานต่อการล้าตัวที่สูงมากอีกด้วย

6) ความต้านทานต่อการขัดถู (Abrasion resistance) ยางธรรมชาติมีค่าความ ต้านทานต่อการขัดถูสูง แต่ยังคงน้อยกว่ายางสไตรีนบิวตาไดอีน (Styrene butadiene rubber, SBR) เล็กน้อย อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกับยางสังเคราะห์ชนิดอื่นๆ พบว่ายางธรรมชาติมีค่า ความต้านทานต่อการขัดถูอยู่ในกลุ่มที่สูงมาก

7) ความเป็นฉนวนไฟฟ้า (Insulation) ยางธรรมชาติมีความเป็นฉนวนไฟฟ้าสูงมาก โดยมีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะสูงถึง 10^{15} ถึง 10^{16} ohm.cm

8) ความทนทานต่อของเหลวและสารเคมี (Liquid and chemical resistance) เนื่องจากองค์ประกอบของยางธรรมชาติ (Natural rubber) เป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นยางดิบจึงละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เบนซิน เฮกเซน และ โทลูอีน เป็นต้น ความสามารถในการละลายนี้จะลดลงถ้าเกิดการคงรูปเนื่องจากการเชื่อมโยงทางเคมีของ โมเลกุลเกิดเป็นโครงสร้างตาข่ายสามมิติในยางคงรูปจะไปขัดขวางกระบวนการละลายของยาง ยาง คงรูปเกิดการบวมตัวในตัวทำละลายนี้เท่านั้น การบวมตัวของยางดังกล่าวจะทำให้สมบัติเชิงกล ของยางด้อยลงด้วยเหตุนี้ยางธรรมชาติจึงไม่ทนต่อน้ำมันปิโตรเลียมหรือตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วต่างๆ แต่ยางจะทนทานต่อของเหลวที่มีขั้ว เช่น อะซิโตน หรือ แอลกอฮอล์ นอกจากนี้ ยางธรรมชาติยัง ทนต่อกรดและด่างเจือจางได้ดี แต่ไม่ทนต่อกรดไนตริกและกรดกำมะถันเข้มข้น

9) การเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อน โอโซน และแสงแดด (Aging properties) เนื่อง จากโมเลกุลของยางธรรมชาติ (Natural rubber) มีพันธะคู่อยู่มากทำให้ยางว่องไวต่อการทำ ปฏิกิริยา ดังนั้นยางธรรมชาติจึงถูกออกซิไดซ์ (Oxidize) ได้ง่าย นอกจากนี้ยางธรรมชาติยังไม่ทน ต่อโอโซนเพราะเมื่อยางถูกยืดและได้รับโอโซนนานๆจะเกิดรอยแตกขนาดเล็กจำนวนมากที่บริเวณ พื้นผิวในทิศตั้งฉากกับทิศทางการยืดตัวของยาง ด้วยเหตุนี้ในระหว่างการผลิตผลิตภัณฑ์จึงต้องม ีการเติมสารเคมีบางชนิดและไหลงไปเพื่อยืดอายุการใช้งานของยางธรรมชาติ

10) การหักงอที่อุณหภูมิต่ำ (Low temperature flexibility) ยางธรรมชาติยังคงรักษาสมบัติความยืดหยุ่นหรือความสามารถในการหักงอได้แม้ที่อุณหภูมิต่ำมากๆ ซึ่งยางที่มีสมบัตินี้ที่ดีกว่ายางธรรมชาติมีเพียง 2 ชนิดคือ ยางบิวทาไดอีน (Butadiene rubber, BR) และยางซิลิโคน (Silicone rubber, Si)

11) สมบัติการยืดหยุ่นภายหลังการกด (Compression set) ยางธรรมชาติมีค่า Compression set ค่อนข้างต่ำทั้งที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิสูงปานกลาง อย่างไรก็ตามค่า Compression set ที่อุณหภูมิต่ำของยางธรรมชาติจะสูงขึ้นเนื่องจากยางอาจเกิดการตกผลึกทำให้ความยืดหยุ่นของยางเริ่มสูญเสียไปในขณะที่ค่า Compression set ที่อุณหภูมิสูงของยางธรรมชาติจะมีค่าสูงขึ้นเนื่องจากยางธรรมชาติไม่ทนต่อความร้อน ยางจึงเกิดความเสื่อมสภาพ ซึ่งจะส่งผลทำให้สมบัติ Compression set ต่ำลง

12) อุณหภูมิของการใช้งาน (Service temperature) ยางธรรมชาติสามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิตั้งแต่ -55°C จนถึง 70°C อย่างไรก็ตาม หากเก็บยางไว้ที่อุณหภูมิต่ำนานๆ ยางอาจเกิดการตกผลึกซึ่งจะทำให้ยางแข็งขึ้นและสูญเสียความยืดหยุ่นไป แต่เมื่ออุณหภูมิการใช้งานสูงเกินไป สมบัติเชิงกลต่างๆ ก็จะต่ำลงเนื่องจากความร้อนจะทำให้ยางเกิดความเสื่อมสภาพ ในบางกรณีที่มีการออกสูตรผสมเคมียางได้อย่างเหมาะสม (มีการเติมสารป้องกันการเสื่อมสภาพลง) ยางธรรมชาติอาจสามารถนำไปใช้งานได้อย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิสูงถึง 90°C หรืออาจสูงถึง 100°C (ในกรณีที่ยางได้รับอุณหภูมิสูงเป็นช่วงๆ เท่านั้น)

2.3 การใช้งานของยางธรรมชาติ [2]

ยางธรรมชาติ (Natural rubber) มีสมบัติทั้งเชิงกลและเชิงพลวัตที่ดี อย่างไรก็ตามตามยางธรรมชาติก็มีข้อด้อยคือ ไม่ทนต่อความร้อน สภาพอากาศ น้ำมัน และสารเคมีอื่นๆ ทำให้ยางสังเคราะห์ชนิดต่างๆ เริ่มเข้ามามีบทบาทสำคัญแทนที่ยางธรรมชาติ อย่างไรก็ตาม ผลิตภัณฑ์ยางบางประการยังคงจำเป็นต้องใช้ยางธรรมชาติเป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิต เนื่องจาก

1) ยางธรรมชาติมีสมบัติดีเยี่ยมในด้านความทนทานต่อแรงดึง แม้ไม่ได้เติมสารตัวเติมเสริมแรงและมีความยืดหยุ่นสูงมาก จึงเหมาะที่จะใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์บางชนิด เช่น ถุงมือยาง ถุงยางอนามัย ลูกโป่ง และยางรัดของ เป็นต้น

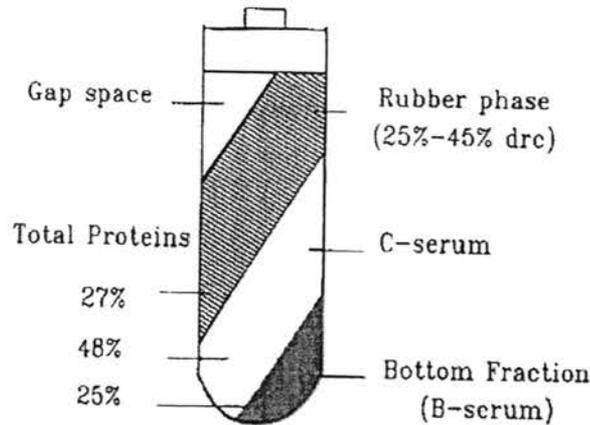
2) ยางธรรมชาติมีสมบัติทั้งเชิงกลและเชิงพลวัตที่ดี มีความยืดหยุ่นสูง ในขณะที่มีความร้อนสะสมที่เกิดขณะใช้งานต่ำและมีสมบัติความเหนียวติดกันที่ดี จึงเหมาะที่จะนำไปใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์หลากหลายชนิด เช่น ยางล้อรถบรรทุก ยางล้อรถยก ยางล้อเครื่องบิน ผ้ายาง ยางกันกระแทกท่าเรือ หรือใช้ผสมกับยางสังเคราะห์ (Synthetic rubber) ในการผลิตยางล้อรถยนต์ เป็นต้น

3) ยางธรรมชาติมีความทนทานต่อการฉีกขาดสูงทั้งที่อุณหภูมิต่ำและสูง จึงเหมาะสำหรับการผลิตยางกระเปาะน้ำร้อน เนื่องจากในการแกะชิ้นงานออกจากเบ้าพิมพ์ในระหว่างกระบวนการผลิตจะต้องดึงชิ้นงานออกจากเบ้าพิมพ์ในขณะที่ร้อน ยางที่ใช้จึงต้องมีค่าความทนทานต่อการฉีกขาดขณะความร้อนสูง

3 น้ำยางธรรมชาติ (Natural rubber latex) [6]

3.1 ส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ

- 1) ส่วนของเนื้อยางแห้งได้แก่ อนุภาคยาง โปรตีน และไขมัน
- 2) ส่วนที่ไม่ใช่ยาง ได้แก่ ส่วนที่เป็นน้ำ หรือเซรัม (Serum) ลูทอยด์และสารอื่นๆ



รูปที่ 2 ส่วนประกอบหลัก 3 ส่วนของน้ำยางสดที่ได้จากการปั่นแยก [6]

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ [6]

ส่วนประกอบ	เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนัก)
สารที่เป็นของแข็งทั้งหมด (Total Solid Content, TSC)	27 - 48
เนื้อยางแห้ง (Dry Rubber Content, DRC)	25 - 45
สารพวกโปรตีน	1-1.5
สารพวกเรซิน	1-1.25
ซีเถ้า	สูงถึง 1
น้ำตาล	1

น้ำยางธรรมชาติแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ น้ำยางสด และน้ำยางข้น

1) น้ำยางสด ประกอบด้วย เนื้อยาง โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน เกลลิ่งแร่ และน้ำ น้ำยางสดมักเก็บไว้ได้ไม่นานเนื่องจากจะเกิดการบูดซึ่งจะคล้าย ๆ กับน้ำมัน เนื่องจากจุลินทรีย์ที่ปะปนในน้ำยางจะย่อยสลายสารอาหารเกิดเป็นกรดและจะบูดเน่าในที่สุด ปกติแล้วน้ำยางสด จะมีปริมาณเนื้อยางแห้งเพียงร้อยละ 30-35 เท่านั้นจึงไม่แนะนำให้มาทำเป็นผลิตภัณฑ์ เพราะความไม่สะดวกหลาย ๆ ประการ ดังนั้นน้ำยางสดจึงมักนำไปแปรรูปเป็นวัตถุดิบยางข้นตัน เช่น น้ำยางข้นยางแผ่นรมควัน ยางแผ่นผึ่งแห้งยางแห้ง STR XL และยางแห้ง STR 5L เป็นต้น แล้วนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่อไป

2) น้ำยางข้น ได้จากการนำน้ำยางสดมาเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกเนื้อยางและหางน้ำยางออกจากกันก็จะได้น้ำยางข้นที่มีปริมาณเนื้อยางแห้งโดยเฉลี่ยร้อยละ 60

น้ำยางข้นชนิดที่ผลิตในประเทศไทย เป็นน้ำยางข้นจากกรรมวิธีการใช้เครื่องปั่น (Centrifuge-concentrate latex) มีอยู่ 2 ชนิด คือ

(1) น้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียสูง (High Ammonia, HA) เป็นน้ำยางข้นที่ใช้สารรักษาสภาพน้ำยางชนิดแอมโมเนีย 0.7% ร่วมกับกรดลอริก 0.035% น้ำยางชนิดนี้มีข้อดีคือมีอายุการเก็บน้ำยางได้นาน ไม่เสีง่ายจึงมักนำไปผลิตถุงมือยาง กาวยาง ถุงยางอนามัย เป็นต้น ยกเว้นยางพองน้ำเนื่องจากแอมโมเนียที่อยู่ในน้ำยางจะไปยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดเจลหรือเกิดพองในน้ำยางทำให้ได้พองน้ำที่ด้อยคุณภาพ

(2) น้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียต่ำ (Low Ammonia, LA) เป็นน้ำยางข้นที่ใช้สารรักษาสภาพน้ำยางชนิดแอมโมเนีย 0.2% ร่วมกับทีเอ็มทีดี 0.013% ซิงค์ออกไซด์ 0.013% และกรดลอริก 0.035% หรือเรียกว่า (LA-TZ) Low Ammonia - Tetramethyl - thiuram disulphide/Zinc oxide สำหรับน้ำยางชนิดที่ใช้ปริมาณแอมโมเนียน้อยรักษาสภาพ นอกจากการใช้สารช่วยกลุ่มทีเอ็มทีดี ซิงค์ออกไซด์ และกรดลอริกดังกล่าวข้างต้นแล้ว ผู้ผลิตน้ำยางข้นประเภทอื่นๆ ได้มีการใช้สารช่วยกลุ่มอื่นๆ เช่น แซตดีซี (Zingdiethyldithiocarbamate, ZDC) ร่วมกับกรดลอริก (Lauric acid) หรือกรดบอริก (boric acid) ร่วมกับกรดลอริก เป็นต้น น้ำยางชนิดแอมโมเนียต่ำ (Low ammonia latex) ส่วนใหญ่นำไปใช้ในกระบวนการผลิตยางพองน้ำ แต่ทั้งนี้อายุการเก็บของน้ำยางชนิดนี้จะสั้นกว่าน้ำยางชนิดแอมโมเนียสูง

4 น้ำยางพรีวัลคาไนซ์ (Prevulcanized latex) [6]

น้ำยางพรีวัลคาไนซ์ หมายถึง น้ำยางที่เกิดพันธะเชื่อมขวางระหว่างสายโซ่โพลิเมอร์ (Crosslink) ของน้ำยาง โดยการเติมสารวัลคาไนซ์ (Vulcanizing agent) หรือใช้ตัวกระตุ้นอื่นๆ จนเมื่อได้รับการวัลคาไนซ์ตามต้องการแล้วจึงหยุดปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์

4.1 การเตรียมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์

การเตรียมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์โดยใช้ระบบการวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน

1) แบบเซ็นติพิวจ์ภายหลัง มีวิธีการผลิตคือเติมต่างและสารรักษาความเสถียรปริมาณเล็กน้อยในน้ำยางที่มีความเข้มข้น 60% โดยน้ำหนัก เพื่อให้มีน้ำยางมีความเสถียรโดยใช้โซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Sodiumcarboxymethyl cellulose) หรือโซเดียมคาร์ซีเนต (Sodiumcaseinate) โดยจะไม่ใช้สารรักษาความเสถียรกลุ่ม เอทอกซีเลต (Ethoxylate) เพราะสารรักษาความเสถียรกลุ่มนี้จะตกตะกอนที่อุณหภูมิสูง หลังจากนั้นจึงไล่แอมโมเนียออกจากน้ำยาง โดยใช้การระบายอากาศ หรือใช้ฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde) เพื่อลดปริมาณแอมโมเนียในน้ำยางให้น้อยลง จะไม่เสี่ยงต่อการเกิดปฏิกิริยา Zinc oxide thickening ซึ่งเป็นสาเหตุให้น้ำยางสูญเสียความเสถียร แล้วอุ่นน้ำยางประมาณ 30 นาที ที่อุณหภูมิ 30 °C ก่อนที่จะเติมสารเคมีลงไป ทั้งนี้เนื่องจากสารเคมีจะมีประสิทธิภาพในการแตกตัวมากขึ้นเมื่อเติมลงในน้ำยาง แล้วจึงเติมกำมะถัน ซิงค์ออกไซด์ และสารตัวเร่งในปริมาณที่มากเกินไปแล้วจึงค่อยๆ เพิ่มอุณหภูมิขึ้นอย่างช้าๆ จนถึงอุณหภูมิช่วง 55-80 °C แล้วจึงควบคุมอุณหภูมิคงที่ไปเรื่อยๆ จนได้ระดับการวัลคา

ไนซ์ตามต้องการโดยใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง จากนั้นจึงแยกสารเคมีที่เหลือออกจากปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์โดยการตกตะกอนหรือการปั่นแยก

การเกิดปฏิกิริยาวัลคาไนซ์จะเริ่มเมื่อปรับอุณหภูมิให้สูงขึ้นอย่างช้าๆ โดยระหว่างเพิ่มอุณหภูมิจะต้องกวนน้ำอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา เพื่อไม่ให้เกิดฟิล์มยางและไม่ให้เกิดฟองที่ผิวหน้าของน้ำยาง โดยภาชนะที่บรรจุน้ำยางที่จะทำให้เกิดการวัลคาไนซ์นั้นควรจะมีส่วนที่ผ่านไอน้ำหรือผ่านน้ำเย็นได้ เพื่อใช้ควบคุมอุณหภูมิและควรมีเครื่องกวนติดกับภาชนะเมื่อได้รับการวัลคาไนซ์ตามต้องการ จึงลดอุณหภูมิให้น้ำยางเย็นและกรองน้ำยางแยกเอาส่วนที่เหลือเกินพ้อออกจากปฏิกิริยา จากนั้นจึงทิ้งไว้ประมาณ 7 วัน ที่อุณหภูมิห้องก่อนนำไปใช้งาน เพื่อให้มีคุณภาพสม่ำเสมอและสะดวกในการแปรรูป

2) แบบไม่ต้องเซ็นทรัลไฟว์จ์ เตรียมโดยผสมสารเคมีต่างๆลงในน้ำยางโดยปริมาณสารเคมีที่ใช้จะใช้ในปริมาณที่พอดีกับระดับการวัลคาไนซ์ที่ต้องการ และสารเคมีนั้นต้องอยู่ในรูปดีสเพอร์ชันที่ละเอียด วิธีนี้จะไม่ใส่แอมโมเนียออกจากน้ำยาง และสารเคมีต่างๆ ที่เติมลงในน้ำยางจะถูกใช้ในปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ทั้งหมด ทำให้ไม่ต้องแยกสารเคมีต่างๆ ออกจากน้ำยาง

หากต้องการฟิล์มยางที่ใส ควรใช้ปริมาณของซิงค์ออกไซด์ให้น้อยลง เพราะนอกจากจะทำให้ฟิล์มยางใสขึ้น อีกทั้งยังเป็นการลดปริมาณซิงค์ออกไซด์ ซึ่งทำให้น้ำยางมีความเสถียรมากขึ้น การทำน้ำยางพรีวัลคาไนซ์โดยไม่ใช้ซิงค์ออกไซด์สามารถทำได้แต่ต้องใช้ระบบการเร่งปฏิกิริยาที่เร็วขึ้นกว่าเดิมและให้ความร้อนนานขึ้น

3) การเลือกใช้สารกระตุ้นและสารตัวเร่งในระบบกัมมะถัน การทำน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ในยางธรรมชาติจะใช้สารตัวเร่งกลุ่มไดโรโอคาร์บาเมต (Dialkyldithiocarbamates) โดยมีสาร ตัวเร่งกลุ่มธิโออาโซล (Thiazole) เป็นสารตัวเร่งรอง แต่ไม่ได้รับความนิยมมากนักเพราะเป็นอันตรายต่อสุขภาพ สารตัวเร่งทั้งสองกลุ่ม คือกลุ่มไดโรโอคาร์บาเมต (Tialkyldithiocarbamates) และกลุ่มไทอาโซล (Thiazole) มีทั้งละลายน้ำได้และละลายน้ำไม่ได้ เช่น ซิงค์ไดโรโอคาร์บาเมต (Zinc diethyldithiocarbamate) และซิงค์เมอร์แคปโตเบนโซไทอาโซล (Zinc mercaptobenzo thiazole)

สารตัวเร่งที่ละลายน้ำได้จะเตรียมให้อยู่ในรูปสารละลาย (Solution) ส่วนสารตัวเร่งที่ไม่ละลายน้ำจะเตรียมให้อยู่ในรูปดีสเพอร์ชัน (Dispersion) โดยจะนิยมใช้ตัวที่ไม่ละลายน้ำมากกว่า เพราะจะไม่บวมออกมากหลังจากการล้างฟิล์มยางหลังจากการวัลคาไนซ์ (Post-vulcanized) แต่สารตัวเร่งที่เหลือจากปฏิกิริยาจะช่วยให้วัลคาไนซ์ภายหลัง สมบูรณ์ขึ้นและสารเหล่านี้ยังเป็นสารป้องกันการเสื่อม (Antioxidant) โดยรวมตัวเป็นฟิล์มเกาะอยู่บริเวณผิวหน้าของยาง

สารกระตุ้นที่นิยมใช้คือซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide) และซิงค์คาร์บอเนต (Zinc carbonate) โดยปกติจะใช้ซิงค์ออกไซด์ในผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการความใสมากนัก สำหรับซิงค์คาร์บอเนตจะใช้ในกรณีที่ต้องการฟิล์มยางมีความใสมากๆ เพราะสารตัวนี้จะละลายน้ำได้ดี ทำให้สามารถล้างออกได้ง่าย จึงไม่เหลือสารเคมีที่ตกค้างอยู่ในผลิตภัณฑ์

4) กลไกการเกิดปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ในระบบกัมมะถัน (Sulphur vulcanization mechanism) จะเกิดการวัลคาไนซ์เซชันในน้ำยาง เริ่มต้นปฏิกิริยาจะเกิดในชั้นของน้ำ ปฏิกิริยาวัลคาไนซ์เซชันจะเกิดขึ้นโดยไม่เปลี่ยนสถานะในน้ำยาง ปฏิกิริยานี้จะเกิดเร็วขึ้น

เมื่อมีการเติมสารตัวเร่งลงในน้ำยาง ซึ่งสารตัวเร่งที่เติมลงไปนั้นต้องเตรียมอยู่ในรูปคอลลอยด์ (Colloid) กลไกการเกิดปฏิกิริยาจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ปฏิกิริยาที่เกิดภายนอกอนุภาคของน้ำยาง และปฏิกิริยาภายในอนุภาคของน้ำยาง

กลไกการเกิดปฏิกิริยาภายนอกอนุภาคของน้ำยาง คือ ส่วนที่เป็นน้ำ ปฏิกิริยาจะเริ่มเกิดเมื่อกำมะถันและสารตัวเร่งทำปฏิกิริยากัน ถ้าสารเหล่านี้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมอนุภาคของน้ำยางก็จะดูดซับสารเหล่านี้เข้าไปบริเวณผิวอนุภาค จากนั้นอนุภาคจึงออกไซด์ที่อยู่ในสารตัวเร่งกับไฮดรอกไซด์ไอออน จะทำปฏิกิริยากับสารตัวเร่ง โดยปฏิกิริยาเหล่านี้จะเกิดบริเวณผิวของอนุภาคยาง หลังจากนั้นสารตัวเร่งกับกำมะถันได้เข้ามาอยู่ในอนุภาคน้ำยาง การเกิดปฏิกิริยาทำให้เกิดพันธะการเชื่อมขวางระหว่างสายโซ่โมเลกุลของยางได้เร็วขึ้น ในขั้นตอนสุดท้ายของปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์สารเคมีต่างๆ จะอยู่ที่อนุภาคของน้ำยางและเกิดพันธะการเชื่อมขวางระหว่างสายโซ่โมเลกุลของน้ำยางด้วยพันธะมอนอซัลฟิดิก (Monosulphidic) ไดซัลฟิดิก (Disulphidic) และพอลิซัลฟิดิก (Polysulphidic) ซึ่งปริมาณของพันธะเชื่อมขวางในขั้นตอนสุดท้ายนั้นขึ้นกับ ปัจจัยหลายอย่างคือ อัตราส่วนของสารตัวเร่งกับกำมะถันและอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา เป็นต้น [6]

5. ซิลิกา [7]

ซิลิกาเป็นสารตัวเติมที่ดีที่สุดในการบรรเทาสารตัวเติมที่ไม่ใช่สีดำ มีสูตรโครงสร้างเป็น SiO_2 และอาจมีน้ำอยู่ในผลึกอยู่ด้วย ซิลิกาที่นำมาใช้อาจอยู่ในรูปที่พบในธรรมชาติแล้วนำมาบด หรือเป็นซิลิกาที่เตรียมขึ้นมา ซิลิกาจากธรรมชาติ มี 2 รูปแบบที่ใช้เป็นสารตัวเติม คือ

1) แร่ซิลิกาบด (Ground mineral silica) เป็นแร่ซิลิกาบดหรือทรายบดให้ละเอียด มีขนาดอนุภาคต่ำกว่า 200 เมช (หมายถึงตะแกรงที่มี 200 ช่องในหนึ่งตารางนิ้ว ดังนั้นช่องจะมีขนาดกว้าง 0.75 มม. หรือ $750,000 \text{ \AA}$) จะมีขนาดใหญ่มาก ใช้เป็นสารตัวเติม ราคาถูกในยางทนความร้อน เนื่องจากอนุภาคใหญ่ ทำให้คุณสมบัติไม่ดี และมีพื้นที่ผิวน้อย การดูดซึมสารตัวเร่งไว้ที่ผิวจะมีน้อย ดังนั้นแร่ซิลิกาบดจะไม่มีผลในการวัลคาไนซ์

2) กิเซอกัว (Kydration) เป็นพวกไดอะตอมซึ่งนำมาบดให้ละเอียด ซิลิกาที่เตรียมขึ้นมี 2 วิธีใหญ่ๆ ดังนี้

2.1) ตะกอนซิลิกา (Hydrated precipitated silica) เตรียมจากการเอาทรายมาละลายในด่างกลายเป็นสารประกอบซิลิเคต หลังจากนั้นจึงตกตะกอนเอาซิลิเคตกลับออกมา โดยการควบคุมขนาดอนุภาค ให้ได้ตามต้องการจากนั้น ล้างแล้วทำให้แห้งจะได้ซิลิกาผง ซึ่งมีน้ำปนอยู่ในอนุภาคเรียกไฮเดรทซิลิกา บางครั้งอาจมีน้ำถึงร้อยละ 15 ซิลิกาที่ได้จะมีฤทธิ์ตั้งแต่เป็นกลางถึงเป็นกรดเล็กน้อยขนาดอนุภาคตั้งแต่ $100\text{-}400 \text{ \AA}$ แล้วแต่ชนิดของซิลิกา ตัวอย่างซิลิกาในทางการค้าได้แก่

- HiSil 233, HiSil EP, HiSil 215 ของบริษัท Pittsburgh Plate Glass Co., U.S.A.
- Quso F20, Quso H40 ของบริษัท Philadelphia Quartz Co
- Ultrasil VN-3 ของบริษัท C.P. Hall Co., of California

3) Fumed silica or Pyrogenic silica เตรียมได้จากปฏิกิริยาระหว่าง SiCl_4 กับไอน้ำ ในเปลวไฟของไนโตรเจนและออกซิเจน ที่อุณหภูมิสูง 1400°C จะเกิดการสลายตัวให้ซิลิกาออกมา ซิลิกานี้จะมีหมู่ไฮดรอกไซด์ที่ผิวน้อยกว่าซิลิกาชนิดแรก และมีเนื้อซิลิกาถึงร้อยละ 90.80 มีน้ำปนอยู่ไม่เกินร้อยละ 2 มีฤทธิ์เป็นกรด มีขนาดอนุภาคเล็กมากและมีราคาแพงมาก ใช้กับยางที่มีราคาแพงอยู่แล้ว เช่น ยางซิลิโคน ดังนั้นซิลิกาที่ใช้เป็นสารตัวเติมเสริมประสิทธิภาพที่ใช้กับยางทั่วไปคือ ตะกอนซิลิกา

5.1 อธิพลของซิลิกา

5.1.1 ขนาดของซิลิกา

ซิลิกามีลักษณะเป็นผงสีขาว เบา ร่วน ทำให้การผสมเข้าไปในยางทำได้ไม่ง่ายนัก การผสมจะใช้เวลานานกว่าปกติ ซึ่งจะทำให้ยางเกิดการแตกโมเลกุลได้มาก ทำให้สมบัติของยางด้อยลง ดังนั้นการผสมยางกับซิลิกาเพื่อไม่ให้เสียเวลานานไม่ควรผสมในเครื่องบดยางสองลูกกลิ้ง แต่ควรใช้เครื่องผสมแบบปิด ถ้าจำเป็นต้องผสมในเครื่องบดยางสองลูกกลิ้ง ควรทำด้วยความระมัดระวัง อย่าผสมนานเกินไป และขณะผสมให้ใส่ยางกับซิลิกาเท่าที่น้อยอย่าใส่สารเคมีอื่นลงไป เพราะจะทำให้ยางผสมยากขึ้น เมื่อผสมเสร็จตั้งทิ้งไว้ 1 คืน แล้วจึงใส่สารเคมีอื่นลงไป ส่วนการผสมในเครื่องแบบปิดนั้นจะสามารถผสมแบบปกติได้

5.1.2 ความเป็นกรดของซิลิกา

ซิลิกาเป็นสารที่มีความเป็นกรดซึ่งจะทำให้ยางวัลคาไนซ์ช้าลงและผิวของซิลิกามีพันธะไฮดรอกเจน ดังนั้นจะทำให้เกิดการดูดสารตัวเร่งที่ผิวของซิลิกาได้ ปริมาณของสารตัวเร่งลดลงจะทำให้การวัลคาไนซ์ช้าลง ซึ่งอาจแก้ไขโดยการเพิ่มปริมาณของสารตัวเร่งหรือใส่สารประเภทที่เป็นตัวลดประสิทธิภาพลงไป สารเหล่านี้ได้แก่ สารประกอบอะมีนและแอลกอฮอล์ สารประเภทอะมีนได้แก่ อะมีนที่เป็นของเหลว เช่น ไตรเอทาโนลามีน ไตรเอทาโนลามีน ไดบิวทิลอะมีน โซโคลเฮกซิลอะมีน ไตรโซโคลเฮกซิลอะมีน ส่วนอะมีนที่เป็นของแข็งได้แก่ เฮกซาเมทิลีนเตตระอะมีน ไดฟีนิลกัวนิดีน (DPG) ไดออโรลิลกัวนิดีน (DOTG) ประสิทธิภาพเรียงจากมากไปหาน้อยตามลำดับ สารประกอบแอลกอฮอล์ได้แก่ เฮกเซนไทรอล กลีเซอรอล เอทิลีนไกลคอล เป็นต้น สารประเภทอะมีนมักจะทำให้ยางเป็นสีน้ำตาล และมีประสิทธิภาพสูงกว่าแอลกอฮอล์ แอลกอฮอล์ที่นิยมใช้ได้แก่ DPG การใช้สารลดประสิทธิภาพนี้มักจะใช้ประมาณร้อยละ 6 ของสารตัวเติม ปริมาณจะมากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของสารตัวเติม และอัตราการวัลคาไนซ์ที่ต้องการ ถ้าใช้ปริมาณสูงเกินไปจะทำให้วัลคาไนซ์เร็ว เกิดสก็อชได้ง่าย ถ้าปริมาณต่ำไปก็จะวัลคาไนซ์ช้า

5.1.3 ทำให้ยางแข็ง

ปกติการมีซิลิกาจะทำให้ความแข็งของยางที่ยังไม่วัลคาไนซ์สูงขึ้น การเพิ่มปริมาณ ซิลิกาทำให้ยางมีความหนืดมากขึ้น ทำให้การแปรรูปยากขึ้น และอาจเกิดปัญหาทำให้แรงดันในเครื่องจักรเพิ่มขึ้นจึงต้องระมัดระวัง การลดปัญหาดังกล่าวทำได้โดยการเติมพลาสติกไซเซอร์ลงไปจะช่วยให้ยางมีความหนืดมากขึ้นลดลง

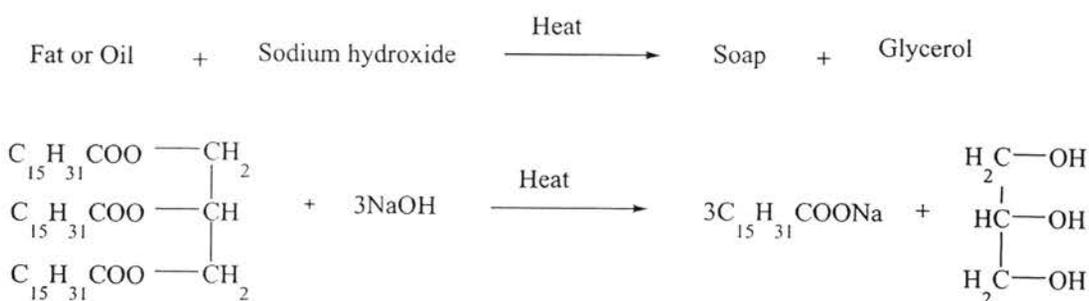
5.2 ผิวของซิลิกาเป็นสารอนินทรีย์

โดยทั่วไปแล้วซิลิกาชนิดที่ได้จากการตกตะกอนและชนิด Fume silica มีขนาดอนุภาคเล็กดังนั้นจึงทำให้ความทนทานต่อแรงดึง และความสามารถในการยึดพอกับเขม่าดำ แต่ความต้านทานต่อการสึกหรอและโมดูลัสต่ำกว่าอย่างที่ใช้เขม่าดำ เช่น ความต้านทานต่อการสึกหรอมีค่าเพียง 60% ของ HAF และโมดูลัสสูงเพียง 25% ของ HAF ที่เป็นเช่นนี้เพราะซิลิกามีผิวเป็นสารอนินทรีย์มาก ทำให้มีแรงยึดกับยางไม่ตึงก มีผลต่อความต้านทานต่อการสึกหรอและโมดูลัสของยาง แต่ความทนทานต่อการฉีกขาดของยางที่ใช้ซิลิกาจะสูงกว่าอย่างที่ใช้ HAF มาก การใส่โซเลนจะช่วยให้ความต้านทานต่อการสึกหรอดีเกือบเท่า HAF หรือ ISAF

6. สบู่ (Soap) มอก. 29-2531 สำหรับผลิตภัณฑ์สบู่ถูตัว [11]

ได้ให้ความหมายของคำว่าสบู่ หมายถึง เกลือโลหะหรือเกลือแอมโมเนียมหรือเกลือเอมีนของกรดไขมันของน้ำมัน หรือไขมันจากพืช และ/หรือจากสัตว์ คำว่าสบู่ถูตัว (toilet soap) หมายถึง สบู่ซึ่งเกลือโลหะต้องเป็นเกลือของโพแทสเซียมหรือโซเดียมเท่านั้น ใช้สำหรับขจัดสิ่งสกปรกออกจากผิวหนัง

สบู่เป็นเกลือของกรดไขมันสายยาว มีสูตรโครงสร้างทั่วไปคือ R-C-OOM⁻ โดยที่ R มักเป็น C₁₁₋₂₃ straight-chain saturated หรือ unsaturated aliphatic group และ M⁺ มักเป็น โซเดียม, แอมโมเนียม, โพแทสเซียม, โมโนเอทานอลามีน, ไดเอทานอลามีน หรือไตรเอทานอลามีน สารกลุ่มดังกล่าวจัดเป็นอิมัลซิฟายเออร์ผสมประเภทน้ำมันในน้ำ (O/W) โดยที่สบู่จะเกิดจากการนำไขมันหรือกรดไขมันมาหลอมให้ร้อนที่อุณหภูมิ 70-75°C ในวัฏภาคน้ำมัน และด่างจะถูกนำมาละลายในวัฏภาคน้ำพร้อมกับอุณหภูมิ 70-75°C เช่นกัน เมื่อผสมวัฏภาคทั้งสองนี้เข้าด้วยกัน จะเกิดการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน เรียกปฏิกิริยาเคมีนี้ว่าปฏิกิริยาซาฟอนิฟิเคชัน (saponification) ที่ให้ผลิตภัณฑ์เป็นสบู่และกลีเซอรอล ปฏิกิริยานี้จะต้องพอดีอย่าให้มีต่างหลงเหลืออยู่ภายหลังจากการทำปฏิกิริยาเนื่องจากจะระคายเคืองต่อผิวหนังได้ ในการทำปฏิกิริยากับน้ำมันแต่ละชนิดจำเป็นที่จะต้องทราบถึง saponification value ของไขมันที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ซึ่งบ่งบอกถึงปริมาณด่างที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับวัตถุดิบไขมันที่ใช้ในการผลิตสบู่ ปฏิกิริยาการเกิดสบู่โดยการไฮโดรไลซิสไขมันด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ปฏิกิริยาการเกิดสบู่ [12]

6.1 ส่วนประกอบของสบู่ [12]

โดยทั่วไป สบู่เป็นผลผลิตที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างไขมันกับด่าง มีคุณสมบัติที่สามารถละลายได้ทั้งในไขมันและน้ำ จึงนำมาใช้ในการชำระล้างสิ่งสกปรกจากไขมันได้ ส่วนประกอบของสบู่ มีดังนี้

ไขมันหรือน้ำมัน ไขมันแต่ละชนิดประกอบด้วยกรดไขมันมากกว่า 1 ชนิด ตามธรรมชาติกรดไขมันเหล่านี้จะไม่อยู่อย่างอิสระ แต่รวมตัวกับสารกลีเซอรอลในไขมันอยู่ในรูป กลีเซอไรด์ เมื่อด่างทำปฏิกิริยากับกรดไขมัน ซึ่งปฏิกิริยานี้เรียกว่า Saponification กรดไขมันจะหลุดออกจากกลีเซอไรด์ รวมตัวเป็นสบู่ สารที่เกาะอยู่กับกรดไขมันก็จะหลุดออกมาเป็นกลีเซอริน ดังนี้



กรดไขมันแต่ละชนิดเมื่อรวมตัวกับด่างแล้ว จะให้สบู่ที่มีคุณสมบัติแตกต่างกันความแข็งหรืออ่อนของสบู่ขึ้นอยู่กับชนิดของไขมันหรือน้ำมันที่นำมาทำปฏิกิริยา ดังนั้น ไขมันหรือน้ำมันจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดคุณสมบัติของสบู่ สบู่ที่ดีควรจะละลายน้ำได้ดี มีความสามารถในการชำระล้าง ให้ฟองมากและคงทน สบู่ที่ผลิตจากกรดไขมันอิ่มตัว จะให้เนื้อสบู่ที่มีความแข็งมากกว่า และละลายน้ำได้ดีกว่าสบู่จากกรดไขมันไม่อิ่มตัว น้ำมันที่มีกรดไขมันชนิดอิ่มตัวอยู่มาก

ด่างที่ใช้ในการผลิตสบู่มี 3 ชนิด คือ

1) โซเดียมไฮดรอกไซด์ ใช้ในการผลิตสบู่ในสมัยโบราณ ปัจจุบันเลิกใช้แล้ว
2) โซดาไฟหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) ทำปฏิกิริยาได้สบู่ก่อนแข็ง

3) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium hydroxide) ทำปฏิกิริยาได้สบู่เหลว

การผลิตสบู่จำเป็นต้องควบคุมคุณภาพ โดยการวัดค่า pH (การวัดค่าเป็นกรดเป็นด่าง) ทุกครั้งที่ผลิตหลังจากสบู่แข็งตัวแล้ว การคำนวณปริมาณด่างที่ใช้ในการผลิตสบู่ เป็นสิ่งสำคัญมากจากการศึกษาค้นคว้าของนักวิทยาศาสตร์ พบว่า pH ของสบู่ควรอยู่ระหว่าง 8-10 เมื่อผิวหนังสัมผัสกับสบู่แล้วล้างออก ผิวหนังสามารถปรับสภาพได้เหมือนเดิม โดยไม่รู้สึกระคายเคือง

น้ำ ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา เป็นปัจจัยที่สำคัญ เพราะหากใช้น้ำมากต้องทิ้งไว้นานกว่าสบู่จะแข็งตัวหรือไม่แข็งเลย หากใช้น้ำน้อยไปอาจจะทำให้ปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์ หากใช้ไขมันแต่ละชนิดรวมแล้ว 100 กรัม ควรใช้น้ำ 35-38% หรือเพิ่มสัดส่วน

องค์ประกอบเสริมที่เพิ่มเติมในสบู่ เช่น น้ำหอม สารกันหืน สารเพิ่มคุณภาพสบู่และสมุนไพรต่าง ๆ ส่วนประกอบของสบู่ธรรมชาติของกิจการแห่งนี้ มีดังต่อไปนี้

- 1) น้ำมันพีชบริสุทธิ์ ได้แก่ น้ำมันรำข้าว น้ำมันปาล์ม น้ำมันเมล็ดปาล์ม น้ำมันมะพร้าว น้ำมันมะกอก
- 2) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide)
- 3) น้ำ
- 4) องค์ประกอบเสริมที่เพิ่มเติมในสบู่ ได้แก่

4.1) น้ำมันหอมระเหย (essential oil) ที่สกัดจากพืชชนิดต่าง ๆ ได้แก่ กานพลู ขิง ขมิ้นชัน ส้ม ตะไคร้ มะกรูด มะนาว กระดังงา จันทน์หอม ไพล อบเชย ยูคาลิปตัส เป็นต้น

4.2) สารเพิ่มคุณภาพสบู่ ได้แก่ วิตามินอี (Vitamin E)

4.3) สมุนไพร ได้แก่ กานพลู ขมิ้นชัน ตะไคร้ มะกรูด มะนาว กระดังงา ไพล อบเชย เปลือกส้ม ว่านหางจระเข้ เป็นต้น

7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยในอดีตที่ผ่านมาได้ทำการศึกษาการเตรียมสบู่และการเตรียมน้ำพริ้วัลคาไนซ์ โดยใช้ซิลิกาเป็นสารตัวเติม ดังนี้

อัญญรัตน์ [12] การศึกษามีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงโครงสร้างการผลิตและต้นทุน และการจัดจำหน่ายสบู่ธรรมชาติที่ทำด้วยมือของกิจการแห่งหนึ่งในอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ประการที่สอง เพื่อวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนทางการเงินของกิจการผลิตสบู่ธรรมชาติที่ทำด้วยมือแห่งหนึ่งในอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ประการที่สาม เพื่อวิเคราะห์ความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของกิจการเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงต้นทุนหรือผลตอบแทนในการประกอบการผลจากการศึกษาโครงสร้างการผลิตและต้นทุน และการจัดจำหน่ายสบู่ธรรมชาติที่ทำด้วยมือของกิจการแห่งนี้ พบว่า การผลิตสบู่ของกิจการจะเป็นการผลิตตามคำสั่งซื้อของลูกค้า นอกเหนือจากนี้จะเป็นการผลิตตามคำสั่งซื้อพิเศษของลูกค้าที่ต้องการสบู่ในขนาดอื่น ๆ สบู่แต่ละก้อนที่ผลิตจะมีกลิ่นที่แตกต่างกันและมีส่วนผสมของสมุนไพรที่แตกต่างกันด้วย

Qinfu Liu และคณะ (2007) [18] ได้ศึกษาสมบัติการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติโดยใช้นาโนเกาลิน (Nanokaolin) และพรีซิพิเตท ซิลิกา (Precipitated silica) เป็นสารตัวเติม โดยศึกษาการวัลคาไนซ์สมบัติเชิงกลและการเสถียรต่อความร้อนโดยใช้เทคนิค TGA, TEM และ XRD ในการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการเติมนาโนเกาลินทำให้กระบวนการวัลคาไนซ์ได้ดี ให้สมบัติเชิงกล การเสถียรต่อความร้อนและสมบัติด้านความยืดหยุ่นที่ดี เนื่องจากนาโนเกาลินสามารถเกิดการกระจาย ตัวและเข้าไปแทรกระหว่างอนุภาคของยางได้ดี ส่วนยางธรรมชาติที่ผสม precipitated silica จะให้ สมบัติการทนแรงดึงต่ำกว่านาโนเกาลินแต่ให้สมบัติด้านความต้านทานต่อการฉีกขาด และโมดูลัส ที่ดี

Niyompanich [19] ศึกษาผลของสารคู่ควบไซเลนต่อการเสริมแรงด้วยซิลิกาที่สังเคราะห์ในน้ำยางธรรมชาติโดยปฏิกิริยาโซล-เจลในน้ำยางโดยซิลิกาที่มีปรับปรุงผิวซิลิกาได้จากกระบวนการโซล-เจลของ TEOS ซึ่งเป็นตัวเหนียวทำให้เกิดซิลิกาภายในเมทริกซ์ของยาง โดยมีบิส-(3-ไตรเอทอกซีซิลิลโพรพิล) เททระซัลไฟด์ (TESPT) ซึ่งเป็นสารคู่ควบไซเลน กระบวนการโซล-เจลในน้ำยางธรรมชาติเข้มข้นเกิดได้สมบูรณ์โดยใช้เวลา 7 วัน ที่อุณหภูมิ 50°C อนุภาคซิลิกาที่เกิดขึ้นมีการกระจายตัวอย่างทั่วถึงในเมทริกซ์ของยาง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในระดับเล็กกว่าไมโครเมตร การศึกษาอิทธิพลของปริมาณ TEOS, TESPT และแอมโมเนียต่อสมบัติเชิงกลของคอมโพสิตนั้นกระทำโดยใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลสองระดับ ซึ่งพบว่าปริมาณของ TEOS และ TESPT มีอิทธิพลต่อ 300% โมดูลัส ระยะยืด ณ จุดขาด ความทนทานต่อการฉีกขาดและความแข็ง

Helson *et al.* [20] ได้ศึกษาการเติมเถ้าแกลบขาว (White rice husk ash, WRHA) และเถ้าแกลบดำ (Black rice husk ash, BRHA) ในยางธรรมชาติเพื่อศึกษาสมบัติความทนทานต่อแรงดึงและสมบัติความต้านทานต่อการฉีกขาด เปรียบเทียบกับซิลิกาและเขม่าดำ จากการทดลองพบว่า WRHA, BRHA, เขม่าดำและซิลิกาที่เติมลงในยางคอมปาวด์ให้สมบัติคล้ายกันที่ปริมาณการเติมน้อยๆ ส่วนสมบัติความทนทานต่อแรงดึงพบว่า BRHA เป็นสารตัวเติมที่ไม่เสริมแรงสามารถเติมลงในยางคอมปาวด์ได้เพียง 20 phr ส่วน WRHA เป็นสารตัวเติมกึ่งเสริมประสิทธิภาพ

Ishak และ Bakar. [21] ได้ศึกษาผลของการเติมเถ้าแกลบขาว (White rice husk ash, WRHA) และเถ้าแกลบดำ (Black rice husk ash, BRHA) ในการเสริมแรงให้กับยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (50% อีพอกไซด์) ซึ่งเป็นยางธรรมชาติที่มีการดัดแปรให้มีความเป็นขั้วมากขึ้น เปรียบเทียบผลกับการใช้ซิลิกาและเขม่าดำโดยมีการใช้และไม่ใช้สารคู่ควบไซเลน จากการทดลองพบว่าเถ้าแกลบขาวให้ค่าความทนทานต่อแรงดึงสูงกว่าการใช้เถ้าแกลบดำ แต่มีค่าต่ำกว่าการใช้ซิลิกา และเขม่าดำ และเมื่อมีการใช้สารคู่ควบไซเลนพบว่าค่าความทนทานต่อแรงดึงของเถ้าแกลบขาวเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ในขณะที่เถ้าแกลบดำที่มีการเติมสารคู่ควบไซเลนสังเกตเห็นการเพิ่มขึ้นของค่าความทนทานต่อแรงดึงอย่างเห็นได้ชัด ในขณะที่สมบัติเชิงกลด้านอื่นๆ(ค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด ค่าความต้านทานการฉีกขาดและค่าความแข็งของชิ้นงาน) ของชิ้นงานที่มีการใช้เถ้าแกลบขาว เถ้าแกลบดำ ซิลิกาและเขม่าดำมีค่าไม่ต่างกัน

7. ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษาค้นคว้าหาข้อมูลจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง
2. รวบรวมข้อมูลการผลิตสบู์ การผลิตแบบพิมพ์ และการเตรียมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ เพื่อนำมาจัดทำแผนการวิจัย
3. ดำเนินการจัดหาวัสดุ และอุปกรณ์ในการทำงานวิจัย
4. หาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์และเตรียมชิ้นงานทดสอบ
5. ทดสอบสมบัติทางกายภาพ เคมี เชิงกล และทางความร้อนของแบบพิมพ์ที่เตรียมจากน้ำยางธรรมชาติ ดังนี้

5.1 สมบัติเชิงกล ได้แก่ ความทนทานต่อแรงดึง (Tensile strength) ASTM D 412 ความทนทานต่อการฉีกขาด (Tear strength) ASTM D 624 ความแข็ง (Hardness) ASTM D 2240

5.2 สมบัติทางเคมี ได้แก่ วิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค FT-IR การต้านต่อน้ำมัน ละตัวทำละลาย (Oil and Solvent resistance) ความหนาแน่นของพันธะเชื่อมขวาง (Cross-link density) ASTM D 471

5.3 สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ลักษณะการเข้ากันได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) และปริมาณโลหะหนัก (Heavy metal content)

5.4 สมบัติทางความร้อน ได้แก่ ทดสอบอุณหภูมิการสลายตัวด้วยเทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริกแอนนาไลเซอร์ (Thermo Gravimetric Analyzer, TGA)

6. เตรียมแบบพิมพ์และทำการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์สบู่ด้วยกระบวนการหล่อแบบด้วยแบบพิมพ์ยางธรรมชาติ
7. รวบรวม ผลการทดลองและการทดสอบ
8. วิเคราะห์ วิจัย และสรุปผลการดำเนินการวิจัย
9. จัดทำรูปเล่มรายงาน
10. เสนอผลงานทางวิชาการ

8. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ได้ทราบสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของแบบพิมพ์สำหรับงานหล่อแบบที่ได้จากการเตรียมจากน้ำยางธรรมชาติ
- 2) ได้แม่แบบที่เหมาะสมสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานจริงในการทำผลิตภัณฑ์หล่อแบบพิมพ์สบู่
- 3) ได้น้องค์ความรู้และวิธีการเตรียมแบบพิมพ์จากน้ำยางธรรมชาติไปถ่ายทอดความรู้สู่ชุมชน เพื่อที่จะนำไปประกอบอาชีพและสร้างรายได้ให้กับประชากรในพื้นที่ภูมิภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างได้
- 4) ได้นำความรู้ไปต่อยอดในเชิงพาณิชย์ได้ เช่น กลุ่มสินค้า OTOP และธุรกิจ SME ในพื้นที่ภูมิภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างได้

9. วิธีวิจัย

ในงานวิจัยนี้ทำการเตรียมแบบพิมพ์สบู่ จากน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ด้วยกระบวนการหล่อแบบพิมพ์ โดยศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ และทดสอบสมบัติของยางวัลคาไนซ์โดยการทดสอบสมบัติทางกายภาพ วิเคราะห์โครงสร้างทางเคมี สมบัติเชิงกล และสมบัติทางความร้อนของยางวัลคาไนซ์ โดยมีขั้นตอนการทำวิจัย ดังนี้

- 1) ศึกษาค้นคว้าหาข้อมูลจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง
- 2) รวบรวมข้อมูลการผลิตสบู่ การผลิตแบบพิมพ์ และการเตรียมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ เพื่อนำมาจัดทำแผนการวิจัย
- 3) ดำเนินการจัดหาวัสดุ และอุปกรณ์ในการทำงานวิจัย
- 4) หาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์และเตรียมขึ้นงานทดสอบ
- 5) ทดสอบสมบัติพื้นฐานของน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ สมบัติทางกายภาพ เคมี เชิงกล และทางความร้อนของแบบพิมพ์ที่เตรียมจากน้ำยางธรรมชาติ ดังนี้
 - 5.1) สมบัติพื้นฐานของน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ ได้แก่ ปริมาณเนื้อยางแห้ง (Dry Rubber Content) ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solid Content) ความเป็นด่างของน้ำยาง(Alkalinity) ความเป็นกรด-ด่างของน้ำยาง(pH-meter) และคลอโรฟอร์มโนมเบอร์(Chloroform Number)
 - 5.2) สมบัติเชิงกล ได้แก่ ความทนทานต่อแรงดึง (Tensile strength) ความทนทานต่อการฉีกขาด (Tear strength) ความแข็ง (Hardness)

5.3) สมบัติทางเคมี ได้แก่ วิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค FT-IR การต้านต่อน้ำมันละลายตัวทำลาย (Oil and Solvent resistance) ความหนาแน่นของพันธะเชื่อมขวาง (Cross-link density)

5.4) สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ลักษณะการเข้ากันได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) ลักษณะพื้นผิวของยางด้วยเทคนิคอะตอมมิคฟอสไมโครสโคป (Atomic Force Microscope, AFM) และปริมาณโลหะหนัก (Heavy metal content)

5.5) สมบัติทางความร้อน ได้แก่ ทดสอบอุณหภูมิการสลายตัวด้วยเทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริกแอนนาไลเซอร์ (Thermo Gravimetric Analyzer)

6) เตรียมแบบพิมพ์และทำการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์สบู่อด้วยกระบวนการหล่อแบบด้วยแบบพิมพ์อย่างธรรมชาติ

- 7) รวบรวม ผลการทดลองและการทดสอบ
- 8) วิเคราะห์ วิจัย และสรุปผลการดำเนินการวิจัย
- 9) จัดทำรูปเล่มรายงาน
- 10) เสนอผลงานทางวิชาการ

บทที่ 2

สารเคมี อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

2.1. สารเคมี

ตารางที่ 5 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

สารเคมี	ลักษณะทั่วไป	บริษัทที่จัดจำหน่าย
น้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียสูง (High ammonia natural rubber)	เป็นน้ำยางชนิดแอมโมเนียสูงมีปริมาณเนื้อยางแห้ง (Dry Rubber Content, DRC) 60% ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solid Content, TSC) 62% และเก็บรักษาด้วยแอมโมเนีย 0.64%	บริษัทเมืองใหม่ กัตตรี จำกัด
โปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium hydroxide, KOH)	ใช้เพิ่มความเสถียรของน้ำยางเป็นสารรักษาความเสถียร เตรียมในรูปสารละลาย 10%	บริษัท ลักกี้ไฟร์ จำกัด
ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide)	เป็นสารกระตุ้นทำหน้าที่เร่งอัตราการวัลคาไนซ์ (Vulcanizing) มีลักษณะเป็นผงสีขาว ใช้ในรูป 50% ดิสเพอร์ชัน	บริษัท ลักกี้ไฟร์ จำกัด
ซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต (Zinc-N-diethyldithiocarbamate, ZDEC)	ใช้สำหรับเป็นสารตัวเร่งปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ มีลักษณะเป็นผงสีขาว ใช้ในรูป 50% ดิสเพอร์ชัน	บริษัท ลักกี้ไฟร์ จำกัด
วิงสเตล-แอล (Wingstaly-L)	เป็นสารเคมีที่ป้องกันออกซิเจนในอากาศที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการเสื่อมสภาพ มีลักษณะเป็นผงสีครีมใช้ในรูป 50% ดิสเพอร์ชัน	บริษัท กิจไพบูลย์ ประเทศไทย จำกัด
กำมะถัน (Sulphur)	เป็นสารเคมีที่ทำให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลของยาง มีลักษณะเป็นผงสีเหลือง ใช้ในรูป 50% ดิสเพอร์ชัน	บริษัท ลักกี้ไฟร์ จำกัด

ตารางที่ 5 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง (ต่อ)

สารเคมี	ลักษณะทั่วไป	บริษัทที่จัดจำหน่าย
แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium carbonate)	ใช้เป็นสารตัวเติมมีลักษณะเป็นผงสีขาว ใช้ในรูป 50% ดิสเพอร์ชัน	บริษัท กิจไพบูลย์ ประเทศไทย จำกัด
ซิลิกา (Silica)	ใช้ในรูป 2.5% ดิสเพอร์ชัน	บริษัท กิจไพบูลย์ ประเทศไทย จำกัด
นาโนซิลิกา (nano Silica)	ชนิดฟุ่มซิลิกามีลักษณะเป็นผงสีขาว ขนาดของอนุภาคเฉลี่ย 0.007 นาโนเมตร (มีพื้นที่ผิวจำเพาะ BET ประมาณ $390 \pm 40 \text{ m}^2/\text{g}$ มีจุดเดือด 2200°C จุดหลอมเหลว $>1600^\circ\text{C}$ ใช้ในรูป 2.5% ดิสเพอร์ชัน	บริษัท ดูปองค์ ประเทศไทย จำกัด
กรดอะซิติก (Acetic Acid)	ความเข้มข้น 98% โดยปริมาตร	บริษัท อิตัลมาร์ ประเทศไทย จำกัด
กรดซัลฟูริก (Sulfuric acid)	ใช้ในการจับตัวน้ำยาง	บริษัท อิตัลมาร์ ประเทศไทย จำกัด
เทอร์ริก (10%Teric N 30)	ใช้เป็นสารละลายคงตัวในน้ำยาง	ห้างหุ้นส่วนจำกัดควอลิเทค เคมีคอล (ไทแลนด์)
สารละลายเมทิลเรด (Methyl red)	ใช้เป็นสารอินดิเคเตอร์	บริษัท อิตัลมาร์ ประเทศไทย จำกัด
คลอโรฟอร์ม (Chloroform)	ความเข้มข้น 98% โดยปริมาตร เป็นสารประกอบที่มีสูตรเคมี CHCl_3 เป็นตัวทำละลาย	บริษัท V.S.CHEM.HOUSE. Co.LTD
เบนโตไนท์ (Bentonite)	ใช้เป็นสารประกอบในการเตรียมดิสเพอร์ชัน	บริษัท กิจไพบูลย์ ประเทศไทย จำกัด
วัลทามอล (Vultamol)	ใช้เป็นสารประกอบในการเตรียมดิสเพอร์ชัน	บริษัท กิจไพบูลย์ ประเทศไทย จำกัด

2.2 วัสดุและอุปกรณ์

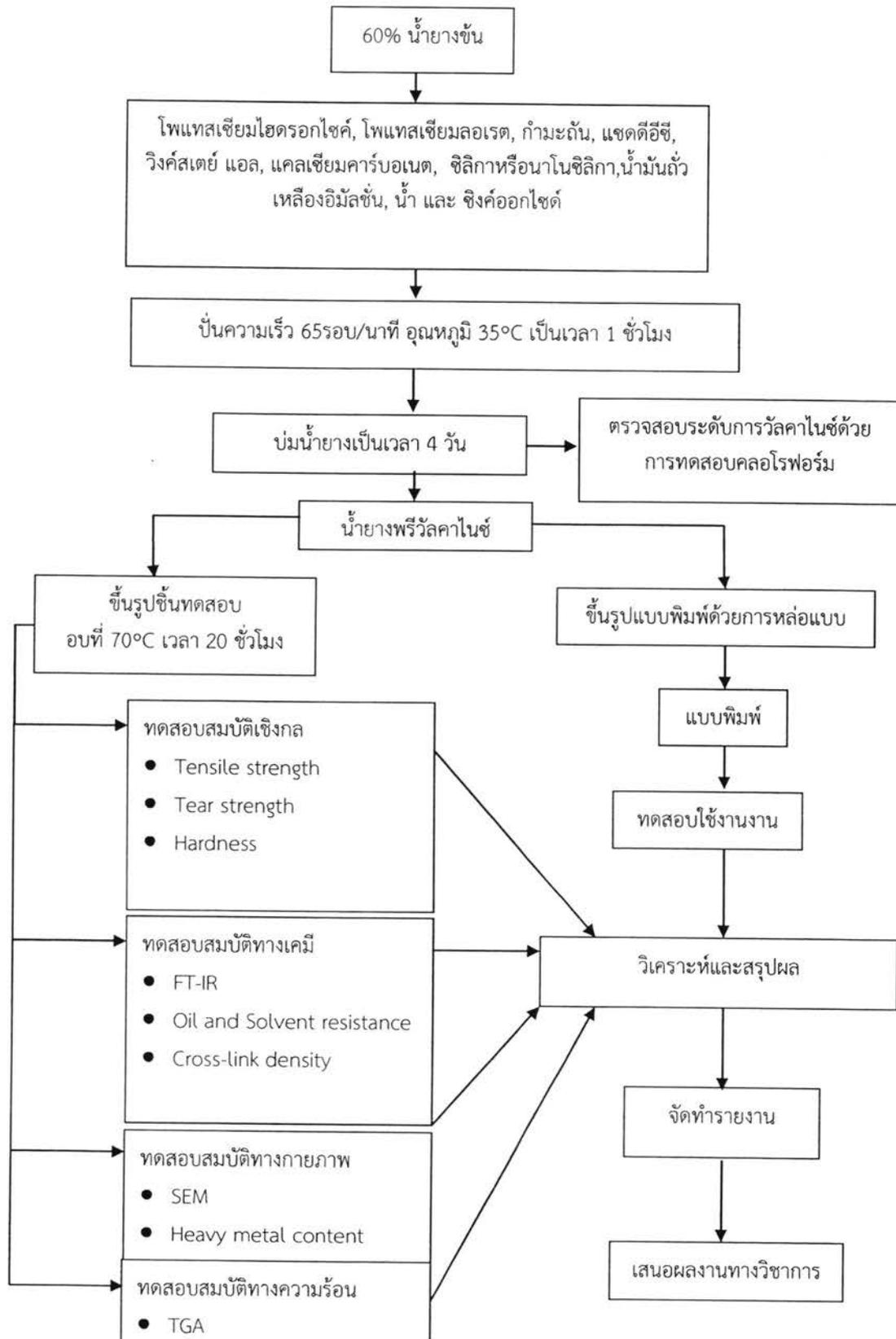
ตารางที่ 6 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

วัสดุและอุปกรณ์	บริษัทที่ผลิต
เครื่องชั่งดิจิตอล ทศนิยม 4 ตำแหน่ง	ยี่ห้อ ADAM รุ่น PW SERIES
เครื่องชั่งดิจิตอล ทศนิยม 3 ตำแหน่ง	ของบริษัทไซแอนตริฟิคโพรโมชัน รุ่น TE313S
เครื่องผสมน้ำยาง	บริษัท Becthai Bangkok Iquiment & Chemical Co, Ltd
เครื่องวัดความหนา เวอร์เนียร์คาลิเปอร์	บริษัท Boss optical
เครื่องวัดความหนา (Micrometer)	บริษัท Boss optical
เครื่องวัด pH meter	บริษัท Boss optical
เครื่องบอลลม (Ball Mill) และลูกแก้ว	ผลิตภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
เตาให้ความร้อน (hot plate)	บริษัท Jenway Ltd. Felsted Dunmow Essex CM63LB รุ่น Jenway 1000
ตู้อบ (Hot air oven)	บริษัทเดลตา แลบบอราตอรี จำกัด รุ่น 1375 FX Forced air oven
ชุดเครื่องแก้วต่างๆ เช่น บีกเกอร์ กระจกบดทรง แท่งคนงานแก้วก้นกลม	
ตะแกรงกรองน้ำยาง (Rubber filter)	
ขวดโหลพลาสติก	
กรรไกร	
ถ้วยกระเบื้อง	
ปิเปต	
บิวเรต	
แท่งแก้วคนสาร	
ช้อนตักสาร	
ช้อนตักน้ำยาง	
เตาเผา และถุงมือกันความร้อน	

ตารางที่ 7 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์	บริษัทที่จัดจำหน่าย
1. เครื่องชั่งดิจิตอล ทศนิยม 4 ตำแหน่ง	ยี่ห้อ ADAM รุ่น PW SERIES
2. เครื่องผสมน้ำยาง	บริษัท Becthai Bangkok Iquiment & Chemical Co, Ltd
3. เครื่องวัดความหนา เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์	บริษัท Boss optical
4. เครื่องวัดความหนา (Micrometer	บริษัท Boss optical
5. เครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกอะนาไลซิส (Thermogravimetric Analysis ,TGA)	รุ่นThermo plus TG 8120
6. เครื่องสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโคปี (Scanning Electron Microscopy, SEM)	รุ่น JSM-5410LV ของบริษัท JEOL
7. เครื่องทดสอบปริมาณโลหะหนัก เครื่องทดสอบ Atomic absorption spectro photometer	ยี่ห้อ PERKIN ELMER รุ่น Analyst 800
8. เครื่องทดสอบการทนแรงดึง Tensometer	ยี่ห้อ Hounsfield รุ่น H 10KS ผลิตโดยบริษัท Hounsfield Test Equipment ที่ประเทศอังกฤษ
9. เครื่องมือทดสอบความแข็งแบบ Durometer Shore A	ยี่ห้อ Hounsfield รุ่น H 10KS ผลิตโดยบริษัท Hounsfield Test Equipment ที่ประเทศอังกฤษ
10. เครื่องฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared spectrophotometer, FT-IR)	

2.3 วิธีการทดลอง



2.3.1. การเตรียมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์

ชั่งน้ำยางและสารเคมีตามสูตรในตารางที่ 3.5 นำสารใส่ลงในขวดโหลขนาด 10 ลิตรและทำการกวนน้ำยางกับสารเคมีด้วยเครื่องกวนน้ำยางที่ความเร็ว 65 รอบ/นาที อุณหภูมิ 35°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นทำการเทน้ำยางลงในขวดโหลพลาสติกที่มีฝาปิด ทำการบ่มน้ำยางเป็นเวลา 4 วัน และนำน้ำยางที่บ่มมาเติม 50% ซิงค์ออกไซด์ และตรวจสอบสมบัติการวัลคาไนซ์ วิธีการเตรียมแสดงดังรูปที่ 5

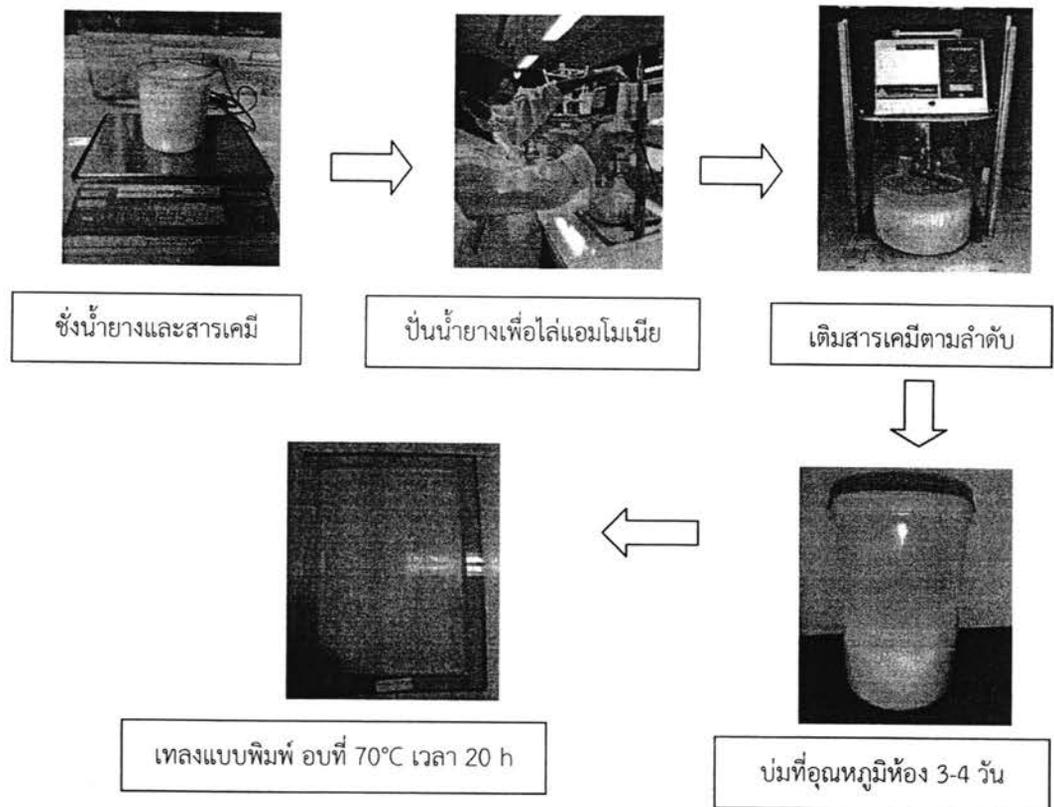
ตารางที่ 8 สูตรที่ใช้ในการเตรียมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์

ส่วนประกอบ	น้ำหนักแห้ง (phr)	น้ำหนักเปียก (กรัม)	น้ำหนัก (x5)
60% น้ำยางชั้น	100	167	835
10% โพลเทสเซียมไฮดรอกไซด์	0.3	3	15
20% โพลเทสเซียมลอเรต	0.2	1	5
50% กำมะถัน	1.5	3	15
50% แซตตีอีซี	2	4	20
50% วิงค์สเตย์ แอล	1.0	2	10
50% แคลเซียมคาร์บอเนต	10	20	100
2.5% ฟรีซีพีเตตซิลิกา หรือฟุ่มซิลิกา	0, 0.1, 0.2, 0.3 0.4 ,0.5	0, 4, 8, 12, 16, 20	0, 20, 40, 60, 80, 100
น้ำมันถั่วเหลืองอิมัลชัน	5	5	25
น้ำ	-	10	50
50% ซิงค์ออกไซด์	0.75	1.5	7.5

หมายเหตุ

* 2.5% ฟรีซีพีเตตซิลิกาหรือฟุ่มซิลิกาดีสเพิซชัน

เตรียมได้จากการนำผงซิลิกามาชั่งน้ำหนักให้ได้ 2.5 กรัมจากนั้นเติมสารวัลทามอล 0.5 กรัม และ เบนโทไนท์ 2 กรัมและเติมน้ำ 95 กรัม บั่นผสมด้วย ball mill เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำผลที่ได้ไปส่องกล้องจุลทรรศน์เพื่อดูขนาดอนุภาคของสารเคมี



รูปที่ 5 วิธีการเตรียมน้ำยางพริวัลคาไนซ์และการบ่มน้ำยาง

2.3.2 ศึกษาสมบัติของน้ำยางพริวัลคาไนซ์

1) ปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยาง Dry Rubber Content (DRC)

ตามมาตรฐาน ISO 126

ชั่งน้ำยางชั้นประมาณ 10 กรัมใส่ลงในถ้วยกระเบื้องแล้วเติมน้ำกลั่นประมาณ 10 มิลลิลิตร กวนให้เข้ากัน แล้วเติมกรดอะซิติก 2% โดยปริมาตรจำนวน 35 มิลลิลิตรลงไปอย่างช้าๆ โดยใช้ระยะเวลาไม่เกิน 5 นาที จากนั้นนำไปวางบนอ่างไอน้ำร้อน เป็นเวลา 15 ถึง 30 นาที และนำแผ่นยางไปล้างน้ำเพื่อล้างกรดและทดสอบสภาพความเป็นกรดด้วยกระดาษลิตมัส และนำแผ่นยางที่ได้ไปรีดให้มีความหนาไม่เกิน 2 มิลลิเมตร อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 70±2 องศาเซลเซียส นำยางมาทำให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้องในเดสซิเคเตอร์ นำยางไปชั่งน้ำหนัก อบต่ออีก 30 นาทีทำให้เย็นแล้วชั่งน้ำหนักยางที่ชั่งก่อนและหลังควรจะแตกต่างกันไม่เกิน 5 มิลลิกรัม บันทึกน้ำหนักที่ชั่งครั้งสุดท้าย นำน้ำยางไปคำนวณหาปริมาณเนื้อยางแห้ง

$$\text{ปริมาณเนื้อยางแห้ง, (\%)} = \frac{m_1}{m_0} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ m_0 คือ น้ำหนักตัวอย่างทดสอบ หน่วยเป็นกรัม
 m_1 คือ น้ำหนักของแผ่นยาง หน่วยเป็นกรัม



รูปที่ 6 วิธีการทดสอบการหาปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยาง

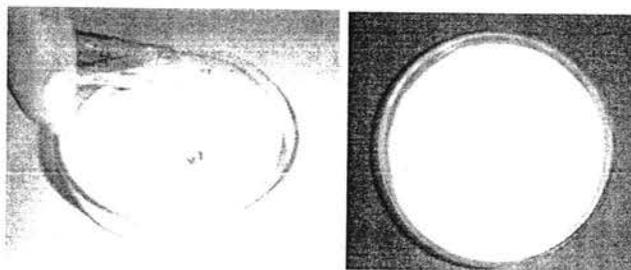
2) ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่มีในน้ำยาง Total Solid Content (TSC)

ตามมาตรฐาน ISO 124

ชั่งน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ประมาณ 2.5 กรัมใส่ในจานแก้วก้นกลม เติมน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร เอียงจานไปมาเพื่อให้น้ำยางกระจายทั่วทั้งจานนำจานแก้วที่มีน้ำยางไปอบในตู้อบอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หรือจนกว่าเห็นยางใสไม่มีสีขาวขุ่นทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้องในเดซิเคเตอร์ ชั่งแล้วนำไปอบซ้ำเป็นเวลา 15 นาที ทำให้เย็นแล้วชั่งผลต่างของน้ำหนักครั้งหลังและครั้งแรกควรแตกต่างกันไม่เกิน 1 มิลลิกรัม บันทึกน้ำหนัก คำนวณหาปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยาง

$$\text{ปริมาณของแข็งทั้งหมด, (\%)} = \frac{m_1}{m_0} \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ m_0 คือ น้ำหนักตัวอย่างทดสอบก่อนอบ หน่วยเป็นกรัม
 m_1 คือ น้ำหนักตัวอย่างทดสอบหลังอบ หน่วยเป็นกรัม



รูปที่ 7 วิธีการทดสอบหาปริมาณของแข็งทั้งหมดที่มีในน้ำยาง

3) ปริมาณความเป็นด่างในน้ำย้าง (Alkalinity) ตามมาตรฐาน ISO 125

ใส่น้ำประมาณ 200 ลูกบาศก์เซนติเมตร ลงในบีกเกอร์ความจุ 500-600 ลูกบาศก์เซนติเมตร เติมสารละลายช่วยให้น้ำย้างคงตัวจำนวน 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร กวนให้เข้ากัน ชั่งน้ำย้างปริวัลคาไนซ์ 5-10 กรัมเติมลงในน้ำกวนให้เข้ากัน เติมสารละลายเมทิลเรด 3-5 หยดลงในบีกเกอร์ที่มีสารละลายทดสอบไตเตรทด้วยสารละลายกรดกำมะถันพร้อมใช้แต่งแก้วกวนอย่างสม่ำเสมอจนสารละลายทดสอบเปลี่ยนเป็นสีชมพูอ่อน บันทึกปริมาตรของกรดที่ใช้

$$\text{ความเป็นด่าง(ในรูปแอมโมเนีย), ร้อยละ} = \frac{F_1 cv}{m} \quad (4)$$

- เมื่อ F_1 คือ 1.7 เมื่อใช้กรดเกลือหรือ 3.4 เมื่อใช้กรดกำมะถัน
 c คือ ความเข้มข้นของสารละลายกรดกำมะถันหรือกรดเกลือ หน่วยเป็นโมลต่อลูกบาศก์ เดซิเมตร
 v คือ ปริมาตรของกรดที่ใช้ หน่วยเป็นลูกบาศก์เดซิเมตร
 m คือ น้ำหนักตัวอย่างทดสอบ หน่วยเป็นกรัม

4) การทดสอบคลอโรฟอร์มนัมเบอร์ Chloroform Number (CHCl_3)

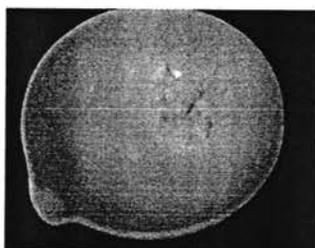
นำน้ำย้างปริวัลคาไนซ์มา 10 มิลลิลิตร มาเติมคลอโรฟอร์ม 10 มิลลิลิตร กวนน้ำย้างจนจับตัวเป็นก้อนจากนั้นสังเกตลักษณะของก้อนย้าง ดังนี้

คลอโรฟอร์มเบอร์ 1 ยังไม่เกิดการวัลคาไนซ์ ย้างจะจับตัวกันเป็นก้อนใหญ่เมื่อดึงออกค่อนข้างเหนียว สามารถดึงออกเป็นสายยาวได้

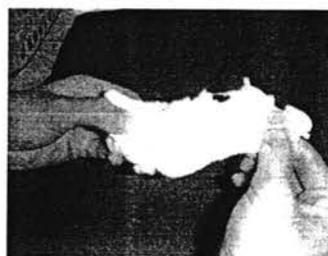
คลอโรฟอร์มเบอร์ 2 เกิดการวัลคาไนซ์เล็กน้อย ย้างจะรวมตัวกันเป็นก้อนเล็กนุ่มแยกออกจากกันเมื่อดึงจะได้เป็นเส้นสั้นๆ

คลอโรฟอร์มเบอร์ 3 เกิดการวัลคาไนซ์ปานกลาง ก้อนย้างจะไม่มีควมเหนียวอยู่เลยเมื่อดึงจะขาดทันที

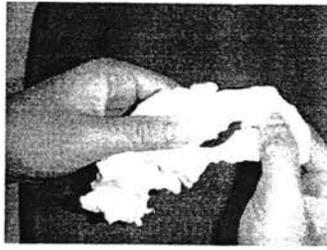
คลอโรฟอร์มเบอร์ 4 เกิดการวัลคาไนซ์เต็มที่ ย้างจะมีลักษณะเป็นเม็ดๆไม่รวมตัวกันเป็นก้อน เมื่อสังเกตลักษณะของย้างแล้วการบันทึกผลจะบันทึกเป็นคลอโรฟอร์มนัมเบอร์



เบอร์ 1



เบอร์ 2



เบอร์ 3



เบอร์ 4

รูปที่ 8 การทดสอบคลอโรฟอร์มมัน์มเบอร์

5) การทดสอบความเป็นกรด - ด่าง pH ตามมาตรฐาน ISO 976

เตรียมน้ำย้างพริวัลคาไนซ์ประมาณ 20 มิลลิลิตรในบีกเกอร์จากนั้นทำการเปิดสวิทซ์เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง เลือกสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีความเป็นกรด-ด่าง 2 ระดับ คือ ระดับ pH 7 และระดับที่สูงหรือต่ำกว่าระดับ pH 7 ประมาณ 3 หน่วย วางสารละลายบัฟเฟอร์ อิเล็กโทรด และตัวอย่างทดสอบในห้องทดสอบเพื่อให้สมดุลกับอุณหภูมิที่ทดสอบ บันทึกอุณหภูมิ แล้วปรับอุณหภูมิของเครื่องวัดความเป็นกรด - ด่าง ให้ตรงกัน กวนตัวอย่างทดสอบให้เป็นเนื้อเดียวกัน ล้างอิเล็กโทรดและภาชนะที่ใช้ด้วยน้ำ ตามด้วยตัวอย่างที่ต้องทดสอบ จุ่มอิเล็กโทรดลงในตัวอย่างทดสอบ กวนเบาๆเมื่อเครื่องวัดแสดงความเป็นกรด-ด่าง แสดงค่าคงที่ บันทึกค่าความเป็นกรด-ด่าง เลื่อนอิเล็กโทรดออกจากตัวอย่าง ทำความสะอาดอิเล็กโทรดด้วยล้างด้วยน้ำทันที ค่าความเป็นกรด - ด่างที่อ่านได้ทั้งสามซ้ำ ต้องแตกต่างกันไม่เกิน 0.1 หน่วย

2.3.4 ศักยภาพตีเชิงกลของแผ่นฟิล์มยาง

1) การทดสอบความทนทานต่อแรงดึง (Tensile strength)

ตาม ASTM D 412

นำแผ่นฟิล์มยางที่เตรียมได้ซึ่งมีความหนาประมาณ 2.0-2.5 มิลลิเมตร ตัดชิ้นทดสอบโดยใช้ค้ายรูปดัมเบลล์ คาย C นำชิ้นทดสอบมาวัดความหนาด้วยเครื่องไมโครมิเตอร์และมาร์ค ระยะห่างตรงกลางบริเวณคอคอดของชิ้นทดสอบด้วยเวอร์เนีย ระยะ 2.5 เซนติเมตร จากนั้นนำชิ้นทดสอบมาทดสอบด้วยเครื่อง tensometer ดึงชิ้นทดสอบด้วยความเร็ว 500 มิลลิเมตร/วินาที วัดค่าการยืดจนขาด โมดูลัสที่ระยะยืด 100% และ 300% ความทนทานต่อแรงดึง

- Tensile strength

$$\text{Tensile strength} = \frac{F}{A} \quad (5)$$

เมื่อ $F =$ แรงที่ยึดอย่างจนขาด (N)
 $A =$ ความกว้าง x ความหนา (พื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบในขณะที่ไม่ได้ยึด)
 ยึด) (mm)

- Tensile stress หรือ modulus ที่ 100% และ 300%

$$\text{Tensile stress} = \frac{F}{A} \quad (6)$$

เมื่อ $F =$ แรงที่ยึดได้ระยะ 300%
 $A =$ ความกว้าง x ความหนา (พื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบในขณะที่ไม่ได้ยึด)
 (mm²)

- Elongation at break

$$\text{Elongation at break} = \left[\frac{L - L_0}{L_0} \right] \times 100 \quad (7)$$

เมื่อ L คือ ระยะห่างระหว่างเส้นที่ขีดบนยางเมื่อยึดจนขาด
 L_0 คือ ระยะห่างระหว่างเส้นที่ขีดบนยางเดิม

- Set after break

$$\text{Set after break} = \frac{\text{ระยะห่างระหว่างเส้นที่ขีดบนยางเมื่อยึดจนขาด} - \text{ระยะห่างระหว่างเส้นที่ขีดยางเดิม}}{\text{ระยะห่างระหว่างเส้นที่ขีดยางเดิม}} \times 100 \quad (8)$$

เมื่อ L_1 คือ ระยะห่างระหว่างเส้นที่ขีดบนยางเมื่อยึดจนขาด
 L_2 คือ ระยะห่างระหว่างเส้นที่ขีดบนยางเดิม

2) การทดสอบความทนทานต่อการฉีกขาด (Tear resistance) ตาม ASTM D 624

นำแผ่นยางวัลคาไนซ์ที่เตรียมได้ซึ่งมีความหนาประมาณ 2.0-2.5 มิลลิเมตร ตัดชิ้นทดสอบโดยใช้ตายแบบมุม A นำชิ้นทดสอบมาวัดความหนาด้วยเครื่องไมโครมิเตอร์ จากนั้นนำชิ้นทดสอบมา

ทดสอบด้วยเครื่อง tensometer ดึงขึ้นทดสอบด้วยความเร็ว 500 มิลลิเมตร/วินาที วัดแรงในการดึงขึ้นทดสอบจนฉีกขาดออกจากกัน

$$Tear\ strength = \frac{F}{d} \quad (9)$$

เมื่อ F คือ แรงที่ใช้ (N)

D คือ ความหนาของชิ้นทดสอบ (mm)

3) การทดสอบความแข็ง (Hardness) ตาม ASTM D 2240

นำแผ่นฟิล์มยางหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร มาซ้อนทับให้ได้ความหนาประมาณ 5-10 มิลลิเมตร และวัดความหนาของชิ้นทดสอบด้วยเครื่องเวอร์เนีย จากนั้นนำชิ้นทดสอบมาวัดความแข็งด้วยเครื่อง Shore Durometer test Atand Model:SLX-A อ่านค่าความแข็งหลังจากกดไปที่ชิ้นทดสอบ

4. ศึกษาสมบัติทางเคมีของแผ่นฟิล์มยาง

1) ทดสอบลักษณะโครงสร้างทางเคมีด้วย Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) [15]

หลักการทดสอบ

FT-IR เป็นเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์หาโครงสร้างของสารประกอบอินทรีย์ โดยใช้หลักการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด เมื่อรังสีอินฟราเรด (ในช่วงความยาวคลื่น $4000-400\text{ cm}^{-1}$) ถูกดูดกลืน พลังงานนั้นจะถูกเป็นเป็นพลังงานที่ทำให้พันธะในโมเลกุลของสารเกิดการหมุนและสั่น ซึ่งการสั่นแบบยืด-หดพันธะ (Stretching) และการกาง-หุบมุมพันธะ (Bending) ของแต่ละพันธะจะทำให้เกิดเป็นพีการดูดกลืนพลังงาน (Absorption peak) ที่เป็นเอกลักษณ์ของความยาวคลื่นหรือค่าเลขคลื่น (Wave number, cm^{-1}) ต่างๆ ดังนั้นโมเลกุลของสารแต่ละชนิดที่หมู่ฟังก์ชันที่แตกต่างกัน จะให้สเปกตรัมที่เป็นเอกลักษณ์ของพันธะในโมเลกุลนั้นๆ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากต่อการพิสูจน์หาโครงสร้างของสารประกอบ

วิธีการทดสอบ

นำแผ่นยางที่เตรียมไว้มาตัดเป็นวงกลมให้มีขนาดพอดีกับที่ยึดชิ้นทดสอบ วางแผ่นยางตรงกลางของที่ยึดชิ้นทดสอบ จากนั้นขันสกรูเพื่อให้ชิ้นทดสอบตึง นำชิ้นทดสอบไปวางตรงตำแหน่งที่ยึดชิ้นทดสอบของเครื่อง

2) การต้านทานต่อน้ำมันและตัวทำละลาย ตามมาตรฐาน ASTM D 471

เตรียมชิ้นตัวอย่างโดยนำมาตัดเป็นสี่เหลี่ยมกว้าง 1 เซนติเมตร ยาว 1 เซนติเมตร และหนา 3 มิลลิเมตรแล้วนำมาชั่งน้ำหนัก แขนในตัวทำละลายโทลูอีน 50 มิลลิลิตร ซึ่งบรรจุในขวดรูปชมพู่ที่มีฝาปิดทิ้งไว้ 166 ชั่วโมง จากนั้นนำชิ้นทดสอบไปชั่งน้ำหนักอีกครั้ง

$$\text{Swelling (\%)} = \frac{W_s - W_0}{W_0} \times 100 \quad (10)$$

เมื่อ W_s คือ เป็นน้ำหนักหลังการทดสอบ (g)

W_0 คือ เป็นน้ำหนักก่อนการทดสอบ (g)

3) ความหนาแน่นของพันธะการเชื่อมขวาง ตามมาตรฐาน ASTM D 471

นำตัวอย่างยางมาชั่งอย่างละเอียด (ประมาณ 0.2 กรัม) แล้วนำไปใส่ในขวดที่มีฝาปิดที่บรรจุเบนซินแล้วนำไปเก็บไว้ในที่มืด หลังจากนั้นตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 8 ชั่วโมง จึงนำคีมคีบหนีบตัวอย่างที่พองขึ้นมา แล้วรีบนำยางที่พองตัวใส่ในกระจกนาฬิกาที่มีกระดาษกรองสำหรับซับเบนซินและมีฝาปิดเพื่อป้องกันการระเหย บันทึกเวลาที่เอายางออกแล้วให้ชั่งน้ำหนักกระดาษกรองพร้อมยางและบันทึกน้ำหนัก จากนั้นนำยางกลับไปแช่ในขวดเบนซินต่อ นำกระจกนาฬิกาที่เอายางออกนี้ไปชั่งน้ำหนักอีกแล้วทิ้งยางไว้ในขวดเบนซินต่ออีกเป็นระยะเวลา 2-3 ชั่วโมงแล้วหาน้ำหนักของยางที่อิมมัตด้วยเบนซินอีกครั้งหนึ่ง(ให้บันทึกเวลาที่เอายางออกจากร้าน้ำมันเบนซิน) ให้บันทึกผลของน้ำหนักยางที่พองตัวด้วยเบนซินต่อเวลาที่ใช้ในการแช่ยาง จากนั้นคำนวณหาค่า Cross-link density (X) ของยางวัลคาไนซ์ ดังสมการที่ 13

สมการหาค่า Cross-link density (X) ของยางวัลคาไนซ์

$$V_r = \frac{\frac{W_1}{D}}{\left(\frac{W_1}{D}\right) + [(W_c - W_1) \div D_b]} \quad (11)$$

ซึ่ง M_c^{corr} สามารถหาได้จาก

$$-\ln(1 - V_r) - V_r \cdot (k \cdot V_r^2) = D \cdot V_c \cdot V_r^{1/3} \cdot (1/M_c^{corr} - 5.44/M_n) \quad (12)$$

$$X = \frac{1}{2M_c^{corr}} \quad (13)$$

- เมื่อ D คือ ความหนาแน่นของยางวัลคาไนซ์ (0.97 g/cm^3)
 D_b คือ ความหนาแน่นของเบนซิน (0.88 g/cm^3)
 W_e คือ น้ำหนักของยางวัลคาไนซ์ที่พองตัวจนสมดุล ณ เวลาที่จุดเริ่มต้น (g)
 W_1 คือ น้ำหนักของยางวัลคาไนซ์ที่ใช้ (g)
 V_c คือ ปริมาตรของเบนซิน 1 โมล ($88.6 \text{ cm}^3 / \text{mol}$)
 K คือ ดัชนีความเข้ากันของยางธรรมชาติกับเบนซิน (0.44)
 M_n คือ น้ำหนักโมเลกุลของยางที่บดแล้ว (180,000)

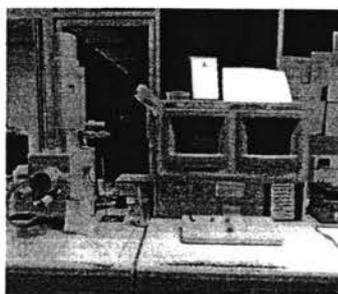
2.3.5 ศึกษาสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มยาง

1) ทดสอบลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

แบบส่องกราด (Scanning electron microscope (SEM))

หลักการ

ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนซึ่งทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนเพื่อป้อนให้กับระบบ โดยกลุ่มอิเล็กตรอนที่ได้จากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้าจากนั้นกลุ่มอิเล็กตรอนจะผ่านเลนส์รวบรวมรังสี (Condenser lens) เพื่อทำให้กลุ่มอิเล็กตรอนกลายเป็นลำอิเล็กตรอน ซึ่งสามารถปรับให้ขนาดของลำอิเล็กตรอนใหญ่หรือเล็กได้ตามต้องการหากต้องการภาพที่มีความคมชัดจะปรับให้ลำอิเล็กตรอนมีขนาดเล็กหลังจากนั้นลำอิเล็กตรอนจะถูกปรับระยะโฟกัสโดยเลนส์ใกล้วัตถุ (Objective lens) ลงไปบนผิวชิ้นงานที่ต้องการศึกษา หลังจากลำอิเล็กตรอนถูกกราดลงบนชิ้นงานจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary electron) ขึ้นซึ่งสัญญาณจากอิเล็กตรอนทุติยภูมินี้จะถูกบันทึก และแปลงไปเป็นสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์และถูกนำไปสร้างเป็นภาพบนจอโทรทัศน์ต่อไป และสามารถบันทึกภาพจากหน้าจอโทรทัศน์ได้



รูปที่ 9 เครื่องกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

รุ่น JEOL JSM 5410-LV

วิธีการทดสอบ

นำตัวอย่างไปแช่ในไนโตรเจนเหลวใช้เวลาประมาณ 15 นาทีจากนั้นหักตัวอย่าง แล้วนำไปติดกับ Stub ทองเหลืองซึ่งมี 2 ด้าน เช็ด Stub ด้วย 95% Ethanol เพื่อทำความสะอาดติด

Carbon tape ลงด้านที่ไม่มีตัวเลขปรากฏติดตัวอย่าง นำตัวอย่างไปที่เครื่อง Sputter Coater ทำการเคลือบทองลงไป 2 นาที จากนั้นนำตัวอย่างที่ได้ ไปทดสอบด้วยเทคนิค SEM

2) หาปริมาณโลหะหนัก ตามมาตรฐาน ASTM 2250 [17]

การทดสอบปริมาณโลหะหนัก เป็นทำการทดสอบโดยใช้เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Atomic absorption spectrophotometer, AAS) โดยอาศัยหลักการที่อะตอมอิสระของธาตุดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นอันหนึ่งโดยเฉพาะ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดของธาตุ โดยธาตุแต่ละชนิดจะมีพลังงานแตกต่างกันจึงมีการดูดกลืนพลังงานแตกต่างกัน

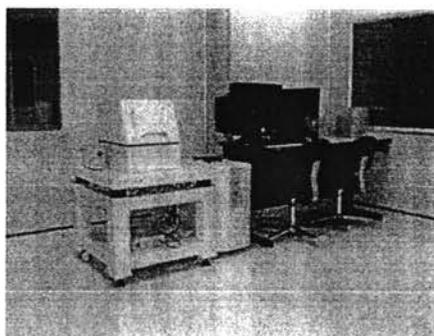
การทดสอบปรอท (Hg) โดยเทคนิค Flow Injection Analysis System (FIAS 400)

การทดสอบแคดเมียม (Cd) โดยเทคนิค Flame

การทดสอบตะกั่ว (Pb) โดยเทคนิค Flame

3) ตรวจสอบลักษณะทางพื้นผิวด้วย Atomic Force Microscope (AFM)

หลักการทำงานของเครื่อง AFM โดยผ่านแสงเลเซอร์ไปให้กับส่วนปลายแหลม (tip) ของคานยี่นที่มีขนาดระดับอะตอมในระยะใกล้ ซึ่งส่วนปลายแหลมของคานนั้นจะไปสัมผัสแบบกระดูกในทิศทางขึ้นและลงกับพื้นผิวของวัตถุ และเมื่อเครื่อง AFM ลากส่วนปลายแหลมผ่านโครงสร้างระดับนาโน แรงปฏิกิริยาที่กระทำในแนวตั้งฉากที่เกิดขึ้นระหว่างอะตอมของพื้นผิวกับปลายแหลมจะดึงคานทำให้คานโก่งงอตัวทำให้สามารถตรวจวัดขนาดของแรงเชิงปฏิสัมพันธ์ ระหว่างความสัมพันธ์เชิงตำแหน่งของส่วนปลายแหลมและพื้นผิวของวัตถุ (ทำให้สามารถทราบถึงระดับพลังงานที่เกิดขึ้นได้) ซึ่งจะถูกนำมาแปรสัญญาณร่วมกันเพื่อนำมาสร้างเป็นภาพพื้นผิวที่เป็นลักษณะเชิงโครงสร้างระดับอะตอมที่มีกำลังการขยายสูงไปแสดงบนจอภาพที่เป็นมอนิเตอร์เช่นเดียวกับกับเครื่อง STM (และโดยหลักการเดียวกันนี้ก็สามารถที่ใช้ปลายแหลมของคานนี้ในการสร้างแรงผลัก เพื่อเคลื่อนย้ายอะตอมแต่ละตัวของโครงสร้างวัสดุได้เช่นเดียวกันอีกด้วย)



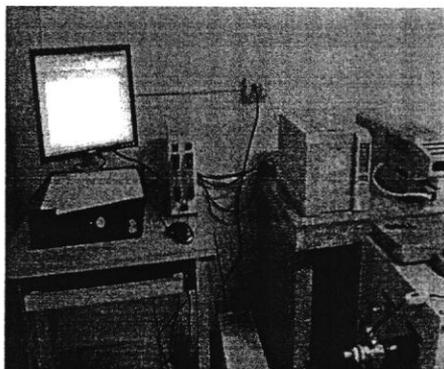
รูปที่ 10 เครื่องตรวจสอบลักษณะทางพื้นผิว Atomic Force Microscope (AFM)

2.3.6 วิธีการทดสอบสมบัติทางความร้อนของยางวัลคาไนซ์

1) เทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริกแอนาไลซิส Thermo Gravimetric Analyzer (TGA)

หลักการ

การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของวัสดุ เป็นกลุ่มเทคนิคที่จำเป็นสำหรับการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุต่าง ๆ เช่น โพลีเมอร์ สารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ เซรามิกส์ โลหะ และวัสดุทั่วไปอื่น ๆ การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน เป็นการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสมบัติ ทางกายภาพหรือทางเคมีของวัสดุที่ขึ้นกับอุณหภูมิและเวลา ผลการวิเคราะห์จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับ สมบัติทางความร้อน เสถียรภาพต่อความร้อน เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และลักษณะการผ่านกระบวนการทางความร้อนของวัสดุ โดยทำการศึกษาน้ำหนักที่หายไปเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ความร้อนที่วัสดุดูดหรือคาย เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือเวลา และการเปลี่ยนแปลงขนาดของวัสดุ ซึ่งงานภายใต้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือเวลา



รูปที่ 11 เครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกอะนาไลซิส (Thermogravimetric Analysis ,TGA)

วิธีการทดสอบ

ตัดตัวอย่างยางวัลคาไนซ์ให้มีน้ำหนักประมาณ 5-10 มิลลิกรัม ใส่ลงในถาดอลูมิเนียม (Aluminum pan) แล้วนำถาดที่บรรจุตัวอย่างไปวางไว้ที่ตำแหน่งเซลล์ของเครื่อง TGA ที่อุณหภูมิห้อง - 600°C ทำการทดลองภายใต้สภาวะไนโตรเจน ที่อัตราการให้ความร้อน 10°C/นาที

3.5.7 การขึ้นรูปแบบพิมพ์ด้วยกระบวนการหล่อแบบ

2.3.7 วิธีการเตรียมแบบพิมพ์สบู่

- 1) นำน้ำยารพรีวัลคาไนซ์มาเทลงในเบ้าปูนพลาสติก
- 2) ตั้งเบ้าพิมพ์ที่มีน้ำยารประมาณ 30 นาที เพื่อให้ยางที่เกาะผิวเบ้าพิมพ์มีความหนาตามที่ต้องการ
- 3) เทน้ำยางที่เหลือออกจากเบ้าพิมพ์
- 4) นำเบ้าพิมพ์ที่มียางเคลือบอยู่ภายในไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นานประมาณ 1 ชั่วโมงครึ่ง
- 5) แกะเบ้าพิมพ์ออกเพื่อแกะยางออกจากแบบพิมพ์
- 6) นำแบบพิมพ์สบู่ที่ได้ไปแช่น้ำอุ่น อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นานประมาณ 10 นาที เพื่อชะล้างสารเคมีที่ยังตกค้างอยู่ออก และอบให้แห้ง
- 7) ตกแต่งผลิตภัณฑ์ให้ดูสวยงาม

บทที่ 3

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

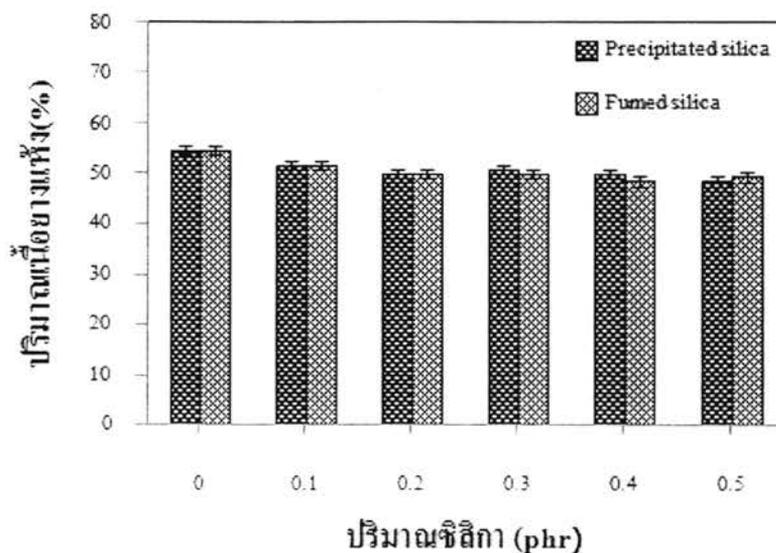
งานวิจัยนี้ศึกษาการเตรียมและสมบัติของแบบพิมพ์สำหรับขึ้นรูปผลิตภัณฑ์สบู่อธรรมชาติจากน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์โดยใช้พรีซิพิเตตซิลิกาและฟูมซิลิกา นอกจากนี้ยังศึกษาสมบัติเชิงกล สมบัติทางเคมี สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อนของแผ่นฟิล์มยางทั้งสูตรที่ใช้พรีซิพิเตตซิลิกาและฟูมซิลิกา ซึ่งผลการศึกษาเป็นดังนี้

3.1 การทดสอบสมบัติเบื้องต้นของน้ำยางพรีวัลคาไนซ์

1) ผลการทดสอบปริมาณเนื้อยางแห้ง (Dry Rubber Content, DRC)

ตามมาตรฐาน ISO 126

จากการทดสอบหาปริมาณเนื้อยางแห้งที่มีการแปรปริมาณพรีซิพิเตตซิลิกาและฟูมซิลิกา ซึ่งจะแสดงในรูปที่ 12 จะเห็นได้ว่าสูตรยางคอมปาวด์ปกติจะมีปริมาณเนื้อยางแห้ง 57% หลังจากเติมนานาซิลิกาที่ปริมาณ 0.5 phr จะมีปริมาณเนื้อยางแห้ง 49.45% เนื่องจากในสูตรการเตรียมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์มีการเติมสารตัวเติมในรูปดีเพอร์สชันซึ่งมีน้ำเป็นองค์ประกอบทำให้มีการเจือจางในน้ำยางมากจึงทำให้ปริมาณเนื้อยางแห้งลดลงตามปริมาณของสารตัวเติมที่เพิ่มขึ้น แต่ชนิดของสารตัวเติมซิลิกาไม่มีผลต่อปริมาณเนื้อยางแห้งมากนัก

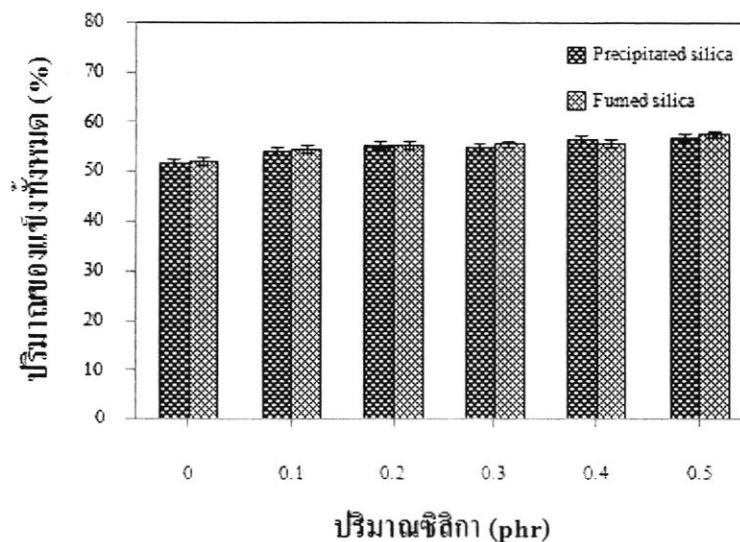


รูปที่ 12 ผลของชนิดและปริมาณซิลิกาต่อปริมาณเนื้อยางแห้ง (Dry Rubber Content,DRC) ของน้ำยางพรีวัลคาไนซ์

2) ผลการศึกษาปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solid Content, TSC)

ตามมาตรฐาน ISO124

จากการทดสอบหาปริมาณของแข็งทั้งหมดที่มีการแปรปริมาณพรีซิพิเตตซิลิกาและฟุ้งซิลิกาซึ่งจะแสดงในรูปที่ 13 จะเห็นได้ว่าสูตรยางคอมปาวด์ปกติจะมีปริมาณของแข็งทั้งหมด 59% เมื่อเติมปริมาณซิลิกา 0.5 phr จะมีปริมาณของแข็ง 59.08 % เนื่องจากการเติมสารตัวเติมในปริมาณที่มากขึ้นจะส่งผลให้มีปริมาณของแข็งในน้ำยางสูงขึ้น



รูปที่ 13 ผลของชนิดและปริมาณซิลิกาต่อปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solid Content, TSC) ของน้ำยางพรีวัลคาไนซ์

3) ผลการศึกษาคลอโรฟอร์มนัมเบอร์ (Chloroform Number, (CHCl₃))

จากการทดสอบคลอโรฟอร์มมีการแปรปริมาณซิลิกาและนาโนซิลิกาซึ่งจะแสดงในตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าสูตรที่เติมพรีซิพิเตตซิลิกาใช้เวลา 3 วัน จะได้คลอโรฟอร์มนัมเบอร์ เบอร์ 3 ส่วนสูตรที่เติมฟุ้งซิลิกาใช้เวลา 4 วันจึงจะได้เบอร์ 3 ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากพื้นผิวจำเพาะของซิลิกามีความเป็นกรดสูงจึงทำให้หน่วยสารตัวเร่งให้ทำงานช้าลง [22] โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของน้ำยางที่เติมนาโนซิลิกาจะมีความเป็นกรดสูงจึงใช้เวลา 4 วันจึงจะได้เบอร์ 4 ดังแสดงในตารางที่ 9

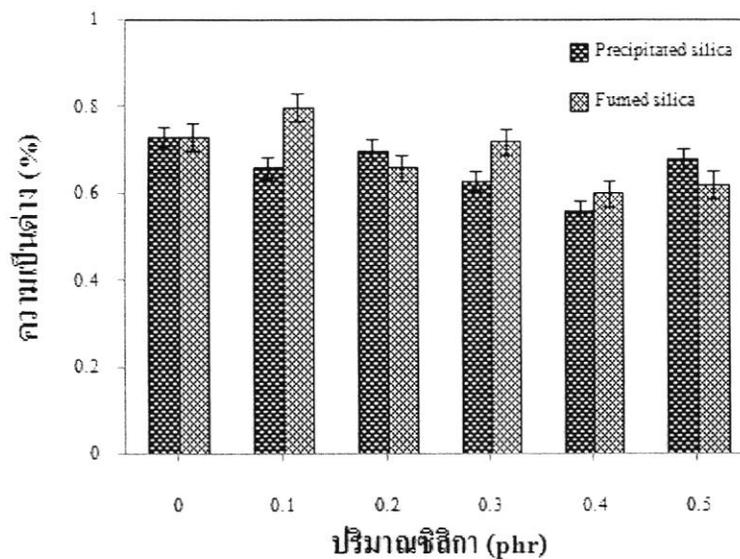
ตารางที่ 9 ผลการทดสอบคลอโรฟอร์มในน้ำเบอรัที่มีการแปรปริมาณสารตัวเติม
พรีซิพิเตตซิลิกาและฟูมซิลิกา

ชนิดของซิลิกา	ระยะเวลาในการบ่มน้ำย้าง (วัน)	Chloroform Number					
		ปริมาณซิลิกา (phr)					
		0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
Precipitated silica	1	1	1	1	1	1	1
	2	1	2	1	2	1	1
	3	3	3	3	3	3	3
	4	3	3	3	3	3	3
Fumed silica	1	1	1	1	1	1	1
	2	2	2	2	1	2	2
	3	2	2	2	2	2	2
	4	3	3	3	3	3	3

4) ผลการศึกษาความเป็นต่างของน้ำย้างพีวีแอลคาไนซ์ (Alkinitly)

ตามมาตรฐาน ISO 125

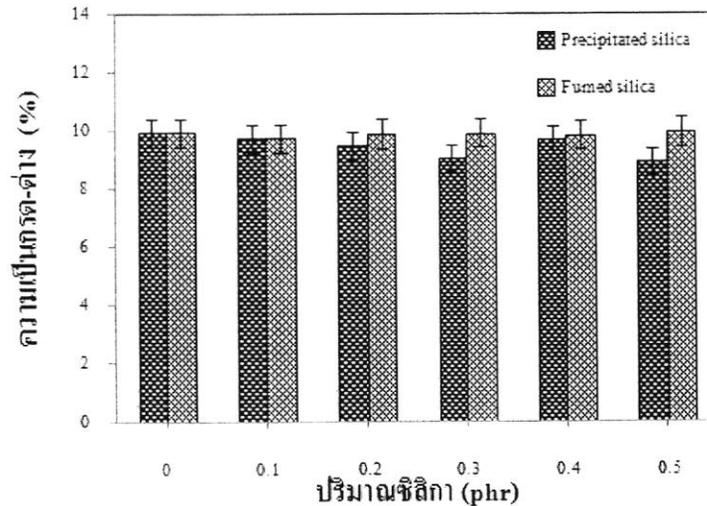
จากการทดสอบปริมาณความเป็นต่างโดยมีการใช้พรีซิพิเตตซิลิกาและฟูมซิลิกาซึ่งจะแสดง
ในรูปที่ 14 จะเห็นได้ว่าสูตรยางคอมปาวด์ปกติมีปริมาณความเป็นต่าง 0.7 % แต่เมื่อเติมที่ปริมาณฟูม
ซิลิกาซิลิกา 0.5 phr จะมีปริมาณความเป็นต่าง 0.62 % ซึ่งจะน้อยกว่าพรีซิพิเตตซิลิกา เนื่องจากการ
เติมสารตัวเติมในปริมาณมากขึ้นจะทำให้น้ำย้างพีวีแอลคาไนซ์มีความเป็นต่างสูงขึ้นทั้งนี้อาจเป็นผลมา
จากแอมโมเนียเปลี่ยนรูปเป็นแอมโมเนียมมีผลทำให้สามารถเกิดปฏิกิริยาคัดซับที่ผิวของซิลิกา ทำให้มี
ความเป็นกรดลดลงซึ่งจะส่งผลต่อความเสถียรของน้ำย้างจะทำให้รักษาความเสถียรภาพของน้ำย้างได้
ดีขึ้น



รูปที่ 14 ผลการเปรียบเทียบปริมาณความเป็นด่าง (Alkalinity) ของน้ำยางคอมปาวด์ที่มีการแปรชนิดและปริมาณของซิลิกาที่อัตราส่วนต่างๆ

5) ผลการศึกษาความเป็นกรด-ด่าง (pH) ตามมาตรฐาน ISO 976

จากการทดสอบความเป็นกรด-ด่างของน้ำยางพรีวัลคาไนซ์มีการใช้สารตัวเติมพรีซิพิตเตดซิลิกาและฟุ้งซิลิกาซึ่งจะแสดงในรูปที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าสูตรยางคอมปาวด์ปกติมีความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 10 เมื่อเติมฟุ้งซิลิกา 0.5 phr จะมีค่าความเป็นกรดเท่ากับ 9.96 เนื่องจากการเติมสารตัวเติมในปริมาณสูงขึ้นไปทำให้มีความเป็นกรดลดลง แต่ในกรณีชนิดของสารตัวเติมพรีซิพิตเตดซิลิกาและฟุ้งซิลิกา จะเห็นได้ว่าฟุ้งซิลิกาจะมีความเป็นกรดสูงกว่าพรีซิพิตเตดซิลิกา เนื่องจากฟุ้งซิลิกามีพื้นที่ผิวจำเพาะที่สูงกว่าพรีซิพิตเตดซิลิกาและเมื่อเติมในปริมาณมากขึ้นจะทำให้มีความเป็นกรดสูง

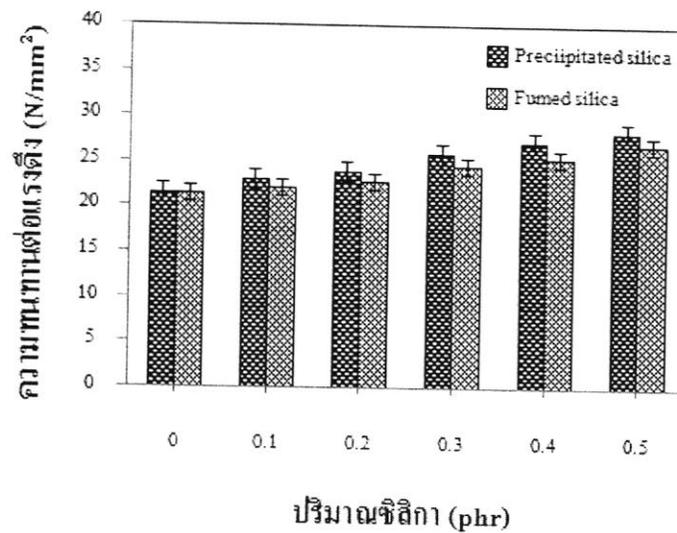


รูปที่ 15 ผลของชนิดและปริมาณซิลิกาต่อปริมาณความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำยางพรีวัลคาไนซ์

3.2 การทดสอบสมบัติเชิงกลของแผ่นยาง

2.1) ผลการทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile strength) ตามมาตรฐาน ASTM D412

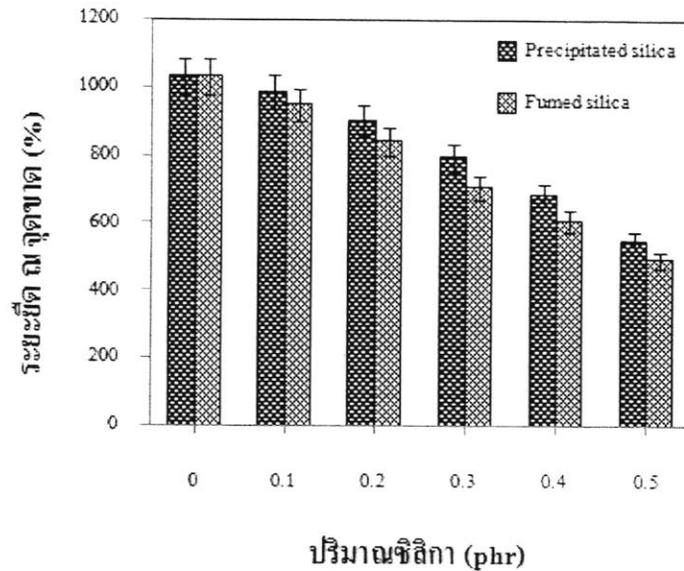
จากการทดสอบความทนทานต่อแรงดึงของสูตรยางที่มีการแปรปริมาณของพรีซิพิตเตดซิลิกาและฟูมซิลิกาซึ่งการเติมซิลิกาสูงขึ้นจะทำให้ความทนทานต่อแรงดึงสูงขึ้น เนื่องจากฟูมซิลิกามีพื้นที่ผิวจำเพาะค่อนข้างสูงและมีขนาดอนุภาคเล็ก ประมาณ 0.007 นาโนเมตร ซึ่งจะแสดงดังรูปที่ 16 จะเห็นว่าสูตรยางคอมปาวด์ปกติมีค่าความทนทานต่อแรงดึง 22 N/mm² เมื่อปริมาณพรีซิพิตเตดซิลิกาสูงขึ้นที่ 0.5 phr จะทำให้สูตรยางมีความทนทานต่อแรงดึง 28 N/mm² เนื่องจากว่าในการเติมพรีซิพิตเตดซิลิกาลงไปจะทำให้สูตรยางมีความเป็นยางลดลงและมีความแข็งแรงมากขึ้นจึงส่งผลทำให้ยางมีความทนทานต่อแรงดึงที่สูงขึ้นและซิลิกายังจัดเป็นสารตัวเติมเสริมประสิทธิภาพให้แก่ยางได้แต่ในกรณีการเติมพรีซิพิตเตดซิลิกาและฟูมซิลิกาที่ 0.5 phr จะพบว่าการเติมพรีซิพิตเตดซิลิกาจะให้ค่าความทนทานต่อแรงดึง 28 N/mm² และการเติมฟูมซิลิกาจะให้ค่าความทนทานต่อแรงดึง 26 N/mm² การเติมพรีซิพิตเตดซิลิกาจะให้ค่าความทนทานต่อแรงดึงที่สูงกว่าเนื่องจากว่าพรีซิพิตเตดซิลิกาสามารถกระจายตัวในเฟสของยางได้ดีไม่เกิดการจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนส่วนฟูมซิลิกามีขนาดอนุภาคที่เล็กมากจะเกาะกลุ่มกันเองทำให้เกิดโครงสร้างของสารตัวเติมขนาดใหญ่มากกว่าที่จะกระจายตัวในเฟสของยางจึงส่งผลทำให้สูตรยางที่เติมนาโนซิลิกามีแนวโน้มค่าความทนทานต่อแรงดึงน้อยลง [23]



รูปที่ 16 ผลของชนิดและปริมาณซิลิกาต่อความทนทานต่อแรงดึงของยางวัลคาไนซ์

2.2) ผลการทดสอบระยะยืด ณ จุดขาด (Elongation at break)

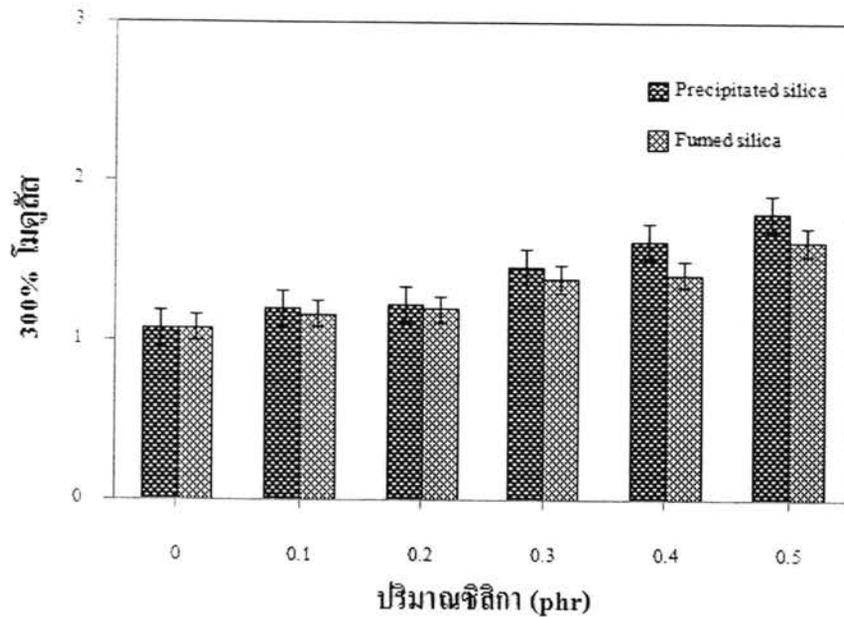
จากการทดสอบระยะยืด ณ จุดขาด ที่มีการแปรชนิดและปริมาณของซิลิกาพบว่าสูตรยางคอมปาวด์ปกติมีระยะยืด ณ จุดขาด 1100% แต่เมื่อเติมพรีซิพิเตตซิลิกา 0.1 phr จะทำให้ยางมีค่าความสามารถในการยืดจนขาดที่ 985% ซึ่งการเติมสารตัวเติมลงไปจะส่งผลทำให้ความสามารถในการยืดจนขาดของยางลดลง เนื่องจากว่าการเติมสารตัวเติมลงไปปริมาณมากจะทำให้สูตรยางมีความเป็นยางลดน้อยลงจึงส่งผลทำให้สูตรยางมีค่าความสามารถในการยืดจนขาดลดลงเมื่อเทียบกับสูตรควบคุม แต่ในกรณีของการเติมพรีซิพิเตตซิลิกาและฟุ้งซิลิกาที่ 0.1 phr พบว่าการเติมพรีซิพิเตตซิลิกาจะให้ค่าความสามารถในการยืดจนขาด 985% และการเติมฟุ้งซิลิกาจะให้ค่าความสามารถในการยืดจนขาด 948 % เนื่องจากว่าพรีซิพิเตต ซิลิกา สามารถกระจายตัวในเฟสของยางได้ดีกว่าจึงส่งผลทำให้ความสามารถในการยืดจนขาดสูงกว่าส่วนสูตรที่มีการเติมฟุ้งซิลิกานั้นฟุ้งซิลิกาเกิดการจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนมากกว่าที่กระจายตัวในเฟสของยางทำให้ยางกับสารตัวเติมเกิดการแยกเฟสกันและในขณะที่ทำการดึงยืดยางอาจจะยืดตรงบริเวณที่สารจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนจึงส่งผลทำให้สูตรยางมีความสามารถในการยืดจนขาดลดลง[24] ดังแสดงในรูปที่ 17



รูปที่ 17 ผลของชนิดและปริมาณซิลิกาต่อระยะยืด ณ จุดขาด ของยางวัลคาไนซ์

2.3) ผลการทดสอบความเค้นดึง (300% Modulus)

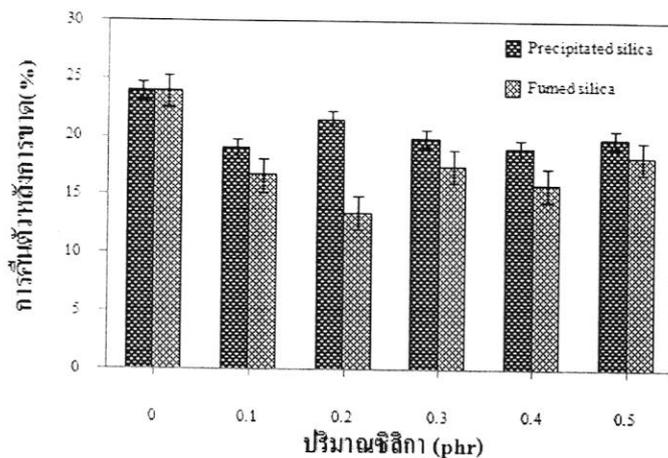
จากการทดสอบความเค้นดึงที่ 300% Modulus ที่มีการแปรชนิดและปริมาณของซิลิกาพบว่าสูตรยางคอมปาวด์ปกติมีความเค้นดึงที่ 300% Modulus 1 N/mm^2 ที่ปริมาณของฟริชปีเตตซิลิกา 0.5 phr จะให้ค่า 300% Modulus เท่ากับ 1.8 N/mm^2 ซึ่งการเติมสารตัวเติมลงไปจะส่งผลทำให้แรงที่ใช้ในการดึงเพื่อให้ยางยืดออกที่ 300% สูงขึ้นเนื่องจากว่าที่ 300% ยางจะเกิดการตกลดผลึกซึ่งยางที่ตกลดผลึกได้สูงจะมีค่า 300% Modulus ที่สูงแต่ในกรณีของยางธรรมชาติจะมีความสามารถในการตกลดผลึกได้สูงในการเติมสารตัวเติมลงไปก็สามารถช่วยทำให้ค่า 300% Modulus ยังมีค่าสูงขึ้นด้วยแต่ในกรณีของการเติมฟริชปีเตตซิลิกาและฟุ่มซิลิกาที่ 0.5 phr พบว่าการเติมฟริชปีเตตซิลิกาจะให้ค่า 300% Modulus เท่ากับ 1.8 Mpa และการเติมฟุ่มซิลิกาจะให้ค่า 300% Modulus เท่ากับ 1.63 Mpa เนื่องจากว่าฟริชปีเตตซิลิกาสามารถกระจายตัวในเมทริกซ์ของยางได้ดีกว่าส่วนฟุ่มซิลิกาจะเกิดการจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนของสารตัวเติมจึงส่งผลทำให้สูตรที่เติมฟุ่มซิลิกามีค่า 300% Modulus ที่ต่ำกว่าสูตรที่เติมฟริชปีเตตซิลิกา[20]ดังแสดงในรูปที่ 18



รูปที่ 18 ผลของชนิดและปริมาณของซิลิกาต่อความเค้นดึง (300% Modulus) ของยางวัลคาไนซ์

2.4) ผลการทดสอบการคืนตัวหลังการขาด (Set after break)

จากการทดสอบการคืนตัวหลังการขาดที่มีการแปรชนิดและปริมาณของซิลิกาพบว่า สูตรยางคอมปาวด์ปกติมีค่าคืนตัวหลังการขาด 24.8 % ยางวัลคาไนซ์ที่มีเติมนาโนซิลิกาที่ 0.5 phr มีค่าคืนตัวหลังการขาด 19.8% ซึ่งการมีค่าเปอร์เซ็นต์การคืนตัวที่สูงแสดงว่ายางเกิดการเสียรูปได้มาก เนื่องจากว่าในสูตรยางไม่มีสารตัวเติมฟริชพิเตตซิลิกาหรือฟุ่มซิลิกาอยู่เลยเมื่อทำการดึงยืดทำให้ยางยืดได้มากส่งผลทำให้ยางเกิดการคืนตัวได้น้อย เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรที่มีการเติมฟริชพิเตตซิลิกาและฟุ่มซิลิกาจะพบว่ายางจะมีเปอร์เซ็นต์การคืนตัวหลังการขาดน้อยแสดงว่ายางยืดตัวได้น้อยเนื่องจากมีความเป็นยางน้อยลงตามปริมาณของสารตัวเติมที่เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ยางเกิดการคืนตัวได้น้อยลงดังแสดงในรูปที่ 19

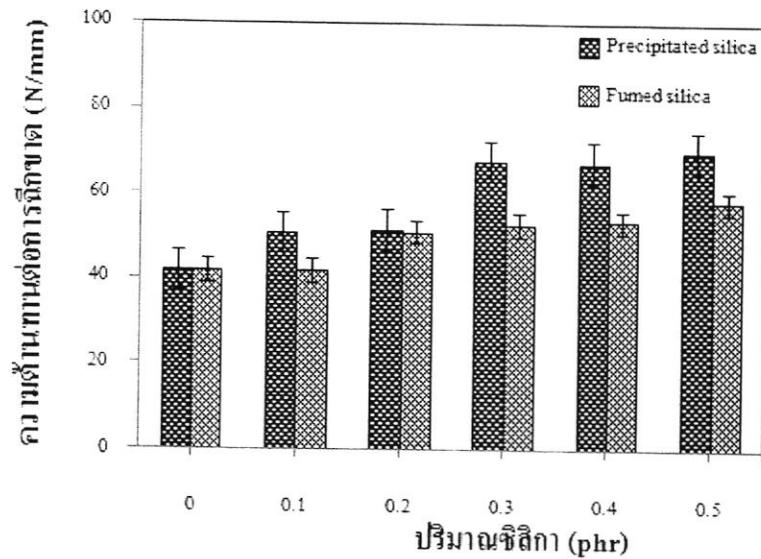


รูปที่ 19 ผลของชนิดและปริมาณซิลิกาต่อการคืนตัวหลังการขาด (set after break) ของยางวัลคาไนซ์

2.5) ผลการทดสอบความต้านทานต่อการฉีกขาด (Tear strength)

ตามมาตรฐาน ASTM D624

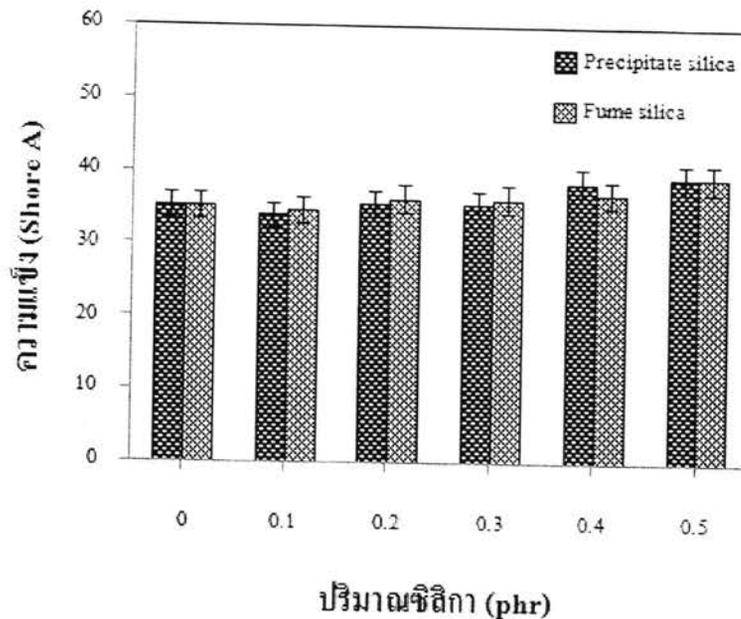
จากการทดสอบความทนทานต่อการฉีกขาด (Tear strength) ของสูตรยางที่มีการแปรปริมาณของฟริชปีเตตซิลิกาและฟุมซิลิกาซึ่งจะแสดงดังรูปที่ 20 จะเห็นได้ว่าสูตรยางคอมพาวด์ปกติมีค่าความทนทานต่อการฉีกขาด 41 N/mm เมื่อปริมาณฟริชปีเตตซิลิกาสูงขึ้นที่ 0.5 phr จะทำให้สูตรยางมีความทนทานต่อการฉีกขาด 70 N/mm เนื่องจากการเติมฟริชปีเตตซิลิกาลงไปอนุภาคของฟริชปีเตตซิลิกาจะกระจายตัวในเมทริกซ์ของยางได้ดีและฟริชปีเตตซิลิกาจัดเป็นสารตัวเติมที่สามารถเสริมประสิทธิภาพให้กับสูตรยางได้จึงทำให้มีค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดที่สูงขึ้นและกรณีที่มีการเติมฟริชปีเตตซิลิกาและฟุมซิลิกาที่ปริมาณ 0.5 phr จะพบว่าการเติมฟริชปีเตตซิลิกาจะให้ค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดที่ 70 N/mm ส่วนการเติมฟุมซิลิกาจะให้ค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดที่ 58.35 N/mm เนื่องจากว่าอนุภาคของฟริชปีเตตซิลิกาสามารถกระจายตัวในเมทริกซ์ของยางได้ดีจึงสามารถเสริมแรงให้กับสูตรยางได้ส่วนฟุมซิลิกามีขนาดอนุภาคที่เล็กมากเมื่อเติมลงในสูตรยางฟุมซิลิกาจะจับกลุ่มกันเองมากกว่าที่จะกระจายตัวในเมทริกซ์ยางทำให้เกิดโครงสร้างของสารตัวเติมแบบแอกโกโมเรตและทำให้ความต่อเนื่องของเฟสลดลงจึงทำให้ความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางลดลง [24]



รูปที่ 20 ผลของชนิดและปริมาณซิลิกาต่อความต้านทานต่อการฉีกขาด (Tear strength) ของยางวัลคาไนซ์

2.6) ผลการทดสอบความแข็ง (Hardness)ตามมาตรฐาน ASTM D2240

จากการทดสอบความแข็ง (Hardness) ของสูตรยางที่มีการแปรปริมาณของพรีซิพิเตตซิลิกาและฟุ้งซิลิกาซึ่งจะแสดงดังรูปที่ 21 จะเห็นได้ว่าสูตรยางคอมปาวด์ปกติมีค่าความแข็ง 37 Shore A เมื่อปริมาณพรีซิพิเตตซิลิกาสูงขึ้นที่ 0.5 phr ยางจะมีความแข็งที่ 39.33 Shore A เนื่องจากว่าปริมาณสารตัวเติมสูงยางจะมีค่าความแข็งเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับเนื่องจากการเพิ่มสารที่เป็นของแข็งเข้าไปในยางจะส่งผลทำให้สัดส่วนของความเป็นยางลดลง ส่วนสารตัวเติมฟุ้งซิลิกาอาจจะเกิดการเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนทำให้ยางเข้าไปเกิดอันตรกิริยาได้น้อย ส่วนของยางอยู่ในเมทริกซ์มาก ส่งผลให้มีค่าความแข็งต่ำกว่า [25]



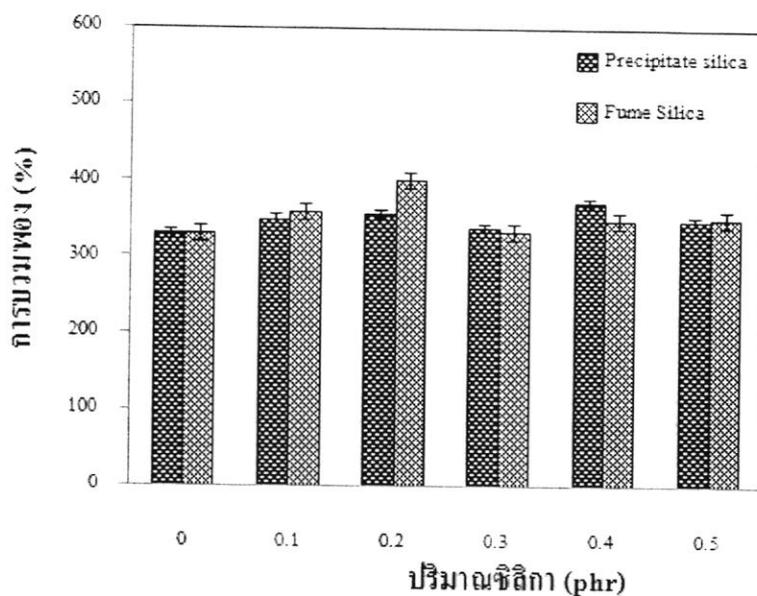
รูปที่ 21 ผลของชนิดและปริมาณของซิลิกาต่อความแข็ง (Hardness) ของยางวัลคาไนซ์

3.3 การทดสอบสมบัติทางเคมีของแผ่นยาง

3.1) ผลการทดสอบการต้านทานน้ำมันและตัวทำละลาย

(Oil and solvent resistance) ตามมาตรฐาน ASTM D 471

ผลของซิลิกาต่อสมบัติความต้านทานต่อตัวทำละลายโดยใช้เบนซีนจะแสดงดังรูปที่ 22 จะเห็นได้ว่าสูตรยางคอมปาวด์ปกติมีค่าการบวมพองที่ 310 % เมื่อปริมาณซิลิกาสูงขึ้นที่ 0.5 phr สูตรยางจะมีค่าการบวมพองที่ 320% เนื่องจากว่าสูตรยางทุกสูตรนั้นมีส่วนที่ดูดซึมเบนซีนเข้าไปส่วนที่บวมพองจะเป็นส่วนของโมเลกุลยางธรรมชาติที่มีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในโครงสร้างโมเลกุลยางทำให้ไม่ทนต่อสารละลายที่ไม่มีขั้ว ซึ่งเบนซีนจัดอยู่ในกลุ่มที่ไม่มีขั้วทำให้ยางมีการบวมพองมาก โดยเฉพาะสูตรที่มีการเติมฟุ่มซิลิกาจะมีการบวมพองมากที่สุดเนื่องจากว่า อนุภาคของฟุ่มซิลิกาที่อยู่ในสูตรยางนั้นเกิดการจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนขนาดใหญ่และเกิดการจับตัวกันระหว่างยางกับสารตัวเติมไม่ดี และอาจเนื่องมาจากการวัลคาไนซ์อย่างไม่สมบูรณ์ทำให้น้ำมันแทรกตัวเข้าไปอยู่ในโมเลกุลได้ส่งผลทำให้เกิดการบวมพองมาก [25]

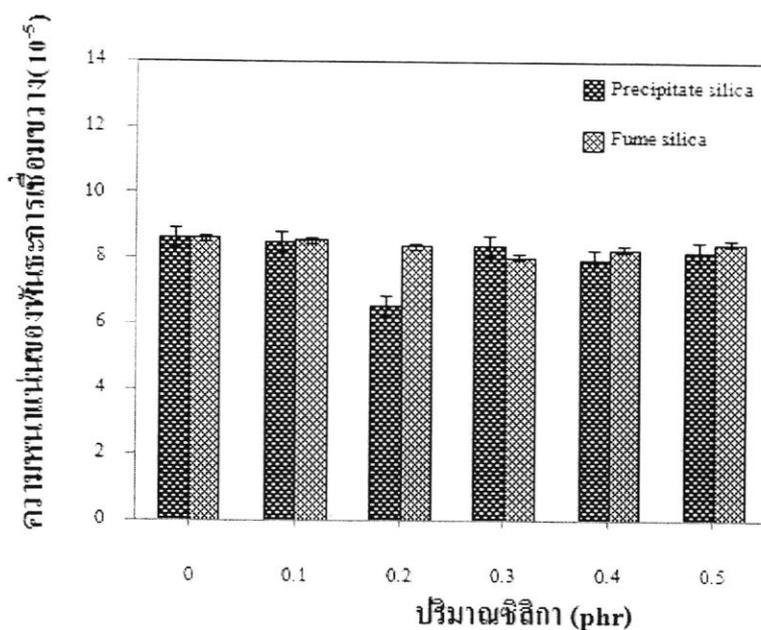


รูปที่ 22 ผลของชนิดและปริมาณของซิลิกาต่อความต้านต่อน้ำมันและตัวทำละลาย (Oil and solvent resistance) ของยางวัลคาไนซ์

3.2) ผลการทดสอบความหนาแน่นของพันธะเชื่อมขวาง

(Cross-link density) ตามมาตรฐาน ASTM D 471

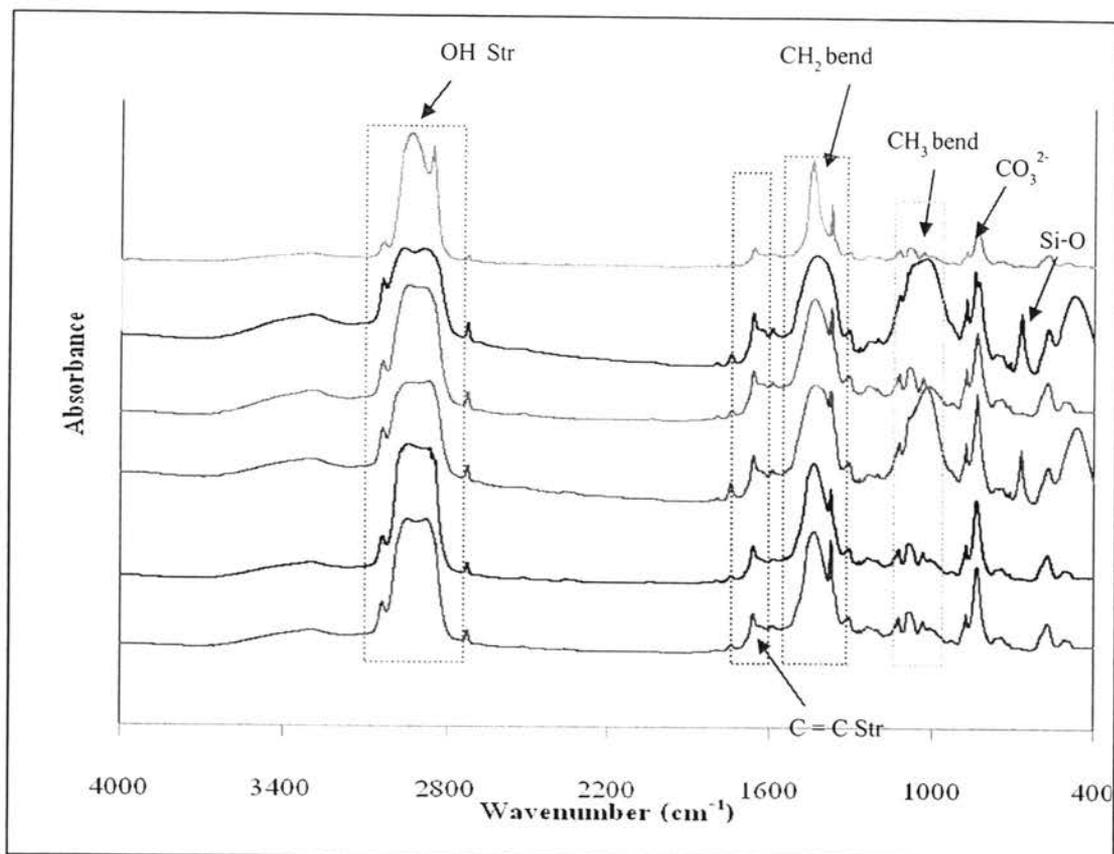
จากการทดสอบความหนาแน่นของพันธะเชื่อมขวาง (Cross-link density) ของสูตรยางที่มีการแปรปริมาณของพรีซิพิเตตซิลิกาและฟุ่มซิลิกาซึ่งจะแสดงดังรูปที่ 23 จะเห็นได้ว่าสูตรยางคอมปาวด์ปกติมีค่าความหนาแน่นของพันธะเชื่อมขวาง $8.8 \times 10^{-5} \text{ mol/cm}^3$ เมื่อปริมาณพรีซิพิเตตซิลิกาและฟุ่มซิลิกาสูงขึ้นที่ 0.5 phr ยางจะมีค่าความหนาแน่นของพันธะเชื่อมขวาง $8.2 \times 10^{-5} \text{ mol/cm}^3$ ซึ่งต่ำลงเนื่องจากการเพิ่มปริมาณของซิลิกาจะเป็นการเพิ่มการดูดซับสารกระตุ้นและสารเร่งปฏิกิริยาเนื่องจากบนพื้นผิวของซิลิกามีหมู่ไฮดรอกซิลซึ่งส่งผลให้ยางมีระดับความหนาแน่นของการเชื่อมโยงลดลง [25]



รูปที่ 23 ผลของชนิดและปริมาณซิลิกาต่อความหนาแน่นของพันธะเชื่อมขวาง (Cross-link density) ของยางวัลคาไนซ์

3.3) ผลการทดสอบวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค FT-IR

จากการทดสอบด้วยเทคนิค FT-IR จะแสดงในรูปที่ 24 เป็นสเปกตรัมของยางวัลคาไนซ์ที่มีการแปรปริมาณของฟริชปีเตตซิลิกาแตกต่างกัน และรูปที่ 25 เป็นสเปกตรัมของยางวัลคาไนซ์ที่มีการแปรปริมาณของฟุมซิลิกาแตกต่างกัน จะเห็นได้ว่าที่ตำแหน่งเลขคลื่น 2900 cm^{-1} เป็นของ CH_2 -Stretching ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1650 cm^{-1} เป็นตำแหน่งของหมู่ฟังก์ชัน $\text{C}=\text{O}$ Stretching พบหมู่ฟังก์ชัน CH_2 bending, CH_3 bending ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1465 cm^{-1} , 1450 cm^{-1} และ 1375 cm^{-1} และพบหมู่ฟังก์ชัน Si-O ที่ตำแหน่งเลขคลื่น $500\text{-}860 \text{ cm}^{-1}$ เนื่องจากในซิลิกามี SiO_2 เป็นองค์ประกอบหลัก [26] ซึ่งจากผลการทดสอบสามารถทำนายได้ว่าในสูตรยางมีซิลิกาเป็นส่วนประกอบ และพบหมู่ CO_3^{2-} ที่ความยาวคลื่น 876 cm^{-1} ซึ่งเป็นองค์ประกอบของ CaCO_3



รูปที่ 24 FT-IR สเปกตรัมของยางวัลคาไนซ์ที่มีการแปรปริมาณของเพอร์ซิปิเตตซิลิกา แตกต่างกัน (ก) 0 phr (ข) 0.1 phr (ค) 0.2 phr (ง) 0.3 phr (จ) 0.4 phr (ฉ) 0.5 phr

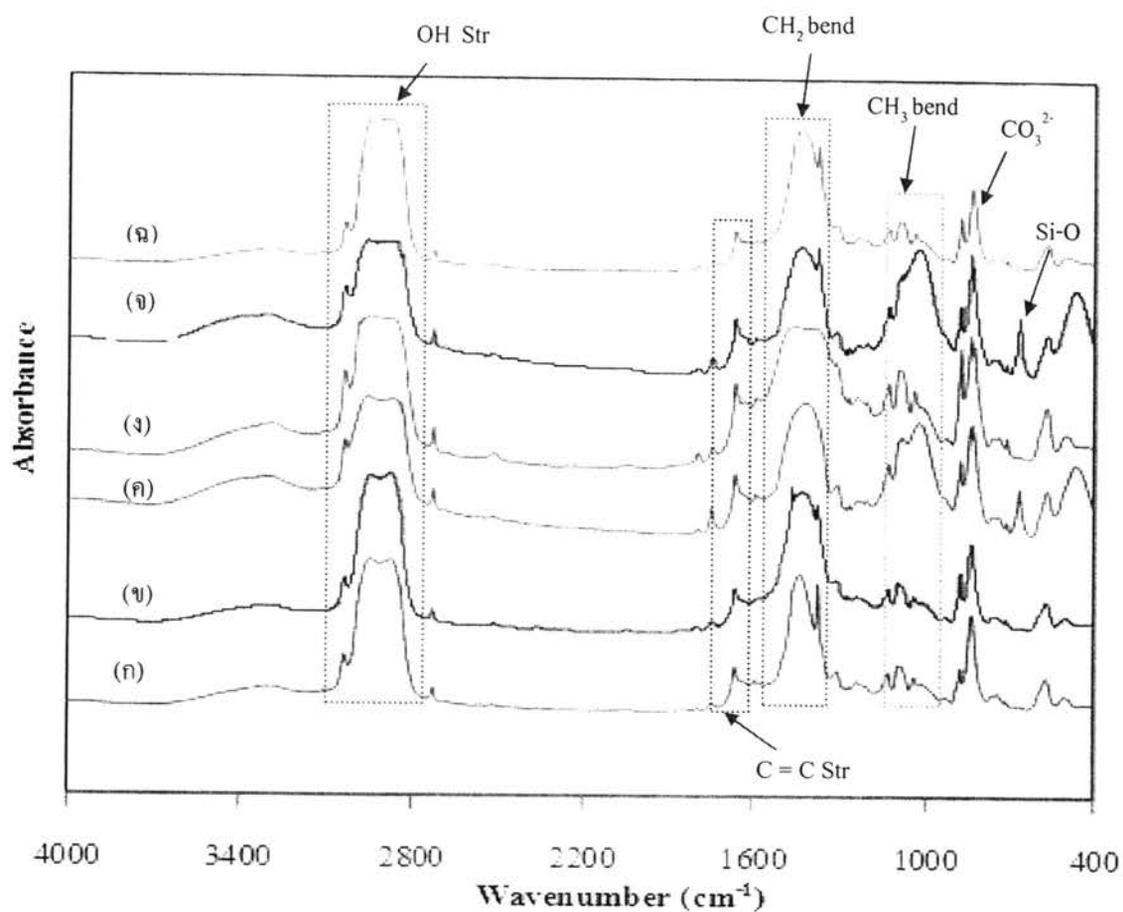
3.4 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ

1) ผลการทดสอบลักษณะการเข้ากันได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

แบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM)

จากรูปที่ 26 (ก) จะเป็นยางวัลคาไนซ์ที่ไม่เติมสารตัวเติมเพอร์ซิปิเตตซิลิกาและฟุ้งซิลิกาแต่จะมีการเติมสารตัวเติมแคลเซียมคาร์บอเนต จะเห็นได้ว่า เมื่อเติมแคลเซียมคาร์บอเนตเข้าไปในเมตริกซ์ของยาง จะทำให้แคลเซียมคาร์บอเนตสามารถแทรกเข้าไปและกระจายตัวในเฟสของยาง แสดงว่าแคลเซียมคาร์บอเนตสามารถเข้ากันได้ และการเติมสารตัวเติมซิลิกาในปริมาณเพิ่มขึ้นจะทำให้ซิลิกาเข้ากันกับยางได้ไม่ดี เนื่องจากว่าซิลิกามีความเป็นขั้วสูงและซิลิกาเป็นสารอนินทรีย์สังเคราะห์ได้จากการเติมเพอร์ซิปิเตตซิลิกาที่ปริมาณ 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 phr แสดงในรูปที่ 4.15 (ข), (ค) และ (ง) ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเมื่อเติมฟุ้งซิลิกาในปริมาณเพิ่มขึ้น จะทำให้ยางไม่เข้ากันกับฟุ้งซิลิกา และเกิดการแยกเฟสกันเป็น 2 เฟส ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการรวมกลุ่มของอนุภาคซิลิกาซิลิกา และมีการ

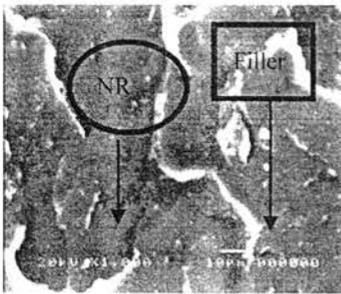
รวมมากขึ้นเมื่อมีการเติมฟลูออรีนในปริมาณที่มากขึ้นซึ่งจะสังเกตได้จากการเติมฟลูออรีนที่ปริมาณ 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 phr แสดงในรูปที่ 26 (จ), (ฉ) และ (ช) ตามลำดับ [24]



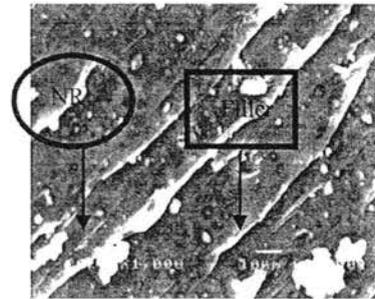
รูปที่ 25 FT-IR สเปกตรัมของยางวัลคาไนซ์ที่มีการแปรปริมาณฟลูออรีนแตกต่างกัน (ก) 0 phr (ข) 0.1 phr (ค) 0.2 phr (ง) 0.3 phr (จ) 0.4 phr (ฉ) 0.5 phr



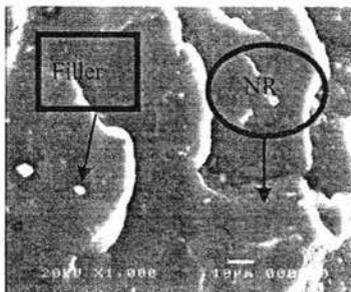
(ก) NR Pure



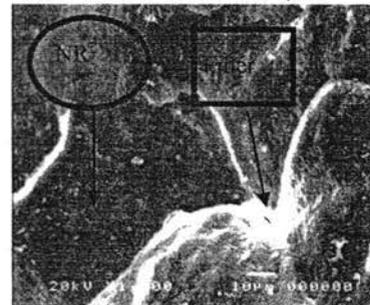
(ข) Precipitated silica 0.1 phr



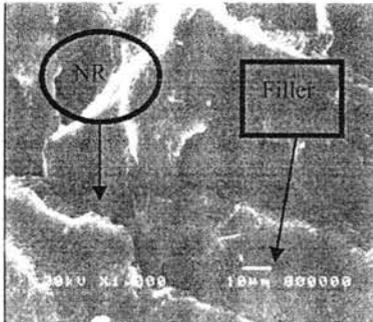
(ค) Fumed silica 0.1 phr



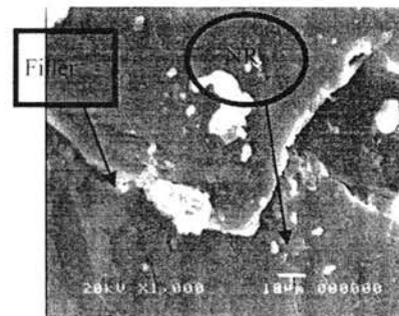
(ง) Precipitated silica 0.3 phr



(จ) Fumed silica 0.3 phr



(ฉ) Precipitated silica 0.5 phr



(ช) Fumed silica 0.5 phr

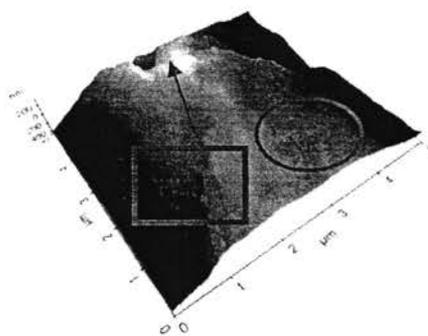
รูปที่ 26 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของยางวัลคาไนซ์ที่มีการแปรชนิดและปริมาณของซิลิกาที่ 0.1-0.5 phr

2) ผลการทดสอบลักษณะพื้นผิวของยางด้วยเทคนิคอะตอมมิกฟอส

ไมโครสโคป (Atomic Force Microscope, AFM)

จากรูปที่ 27 (ก) จะเป็นสูตรที่ไม่มีการเติมสารตัวเติมพรีซีพิตเตดซิลิกาหรือฟูมซิลิกาแต่มีการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตส่วนภาพ (ข), (ง), (ฉ) เป็นการเติมสารตัวเติมแคลเซียมคาร์บอเนตที่ปริมาณเท่ากันและเติมพรีซีพิตเตดซิลิกาที่ปริมาณ 0.1, 0.3, 0.5 phr จะพบว่าเมื่อเติมสารตัวเติมใน

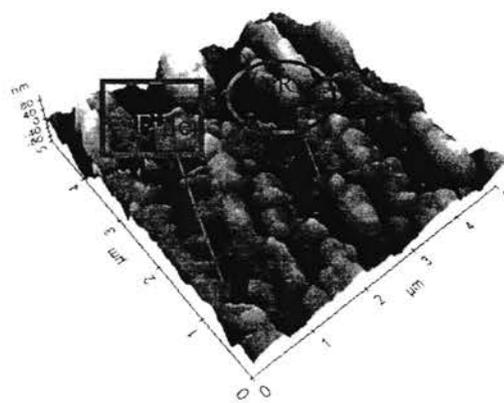
ปริมาณที่มากขึ้นจะได้พื้นผิวที่มีความขรุขระเพิ่มสูงขึ้นได้แก่ 12.4 nm, 12.553 nm, 22.1 nm และภาพ (ค), (จ), (ช) เป็นสูตรที่มีการเติมสารตัวเติมแคลเซียมคาร์บอเนตที่ปริมาณเท่ากันและเติมฟumedซิลิกาที่ปริมาณ 0.1, 0.3, 0.5 phr จะพบว่าจะมีแนวโน้มเดียวกันกับซิลิกาคือ เมื่อปริมาณสารตัวเติมที่มากขึ้นจะได้พื้นผิวที่มีความขรุขระเพิ่มสูงขึ้นได้แก่ 17 nm, 18 nm, 22 nm จากภาพจะพบว่า สารตัวเติมฟumedซิลิกาจะให้พื้นผิวที่มีความขรุขระมากกว่าฟิสิพิเตดซิลิกา เนื่องจากว่าฟumedซิลิกามีขนาดอนุภาคที่เล็กมากเมื่อเติมลงไปในสูตรยางสารตัวเติมจะไม่กระจายตัวแต่จะรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนของสารตัวเติมขนาดใหญ่ เรียกว่า แอ็กโกเมอเรต



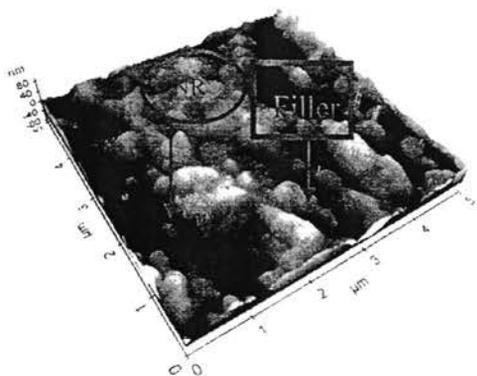
(ก) NR Pure



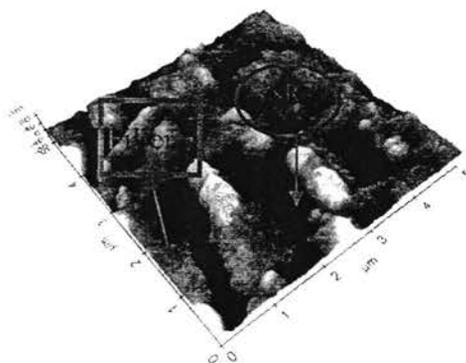
(ข) Precipitated silica 0.1 phr



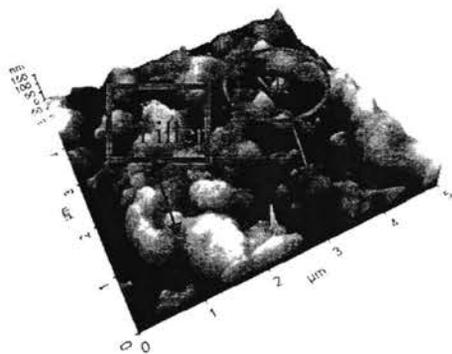
(ค) Fumed silica 0.1 phr



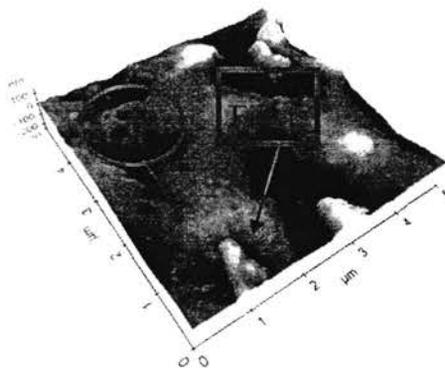
(ง) Precipitated silica 0.3 phr



(จ) Fumed silica 0.3 phr



(ฉ) Precipitated silica 0.5 phr



(ช) Fumed silica 0.5 phr

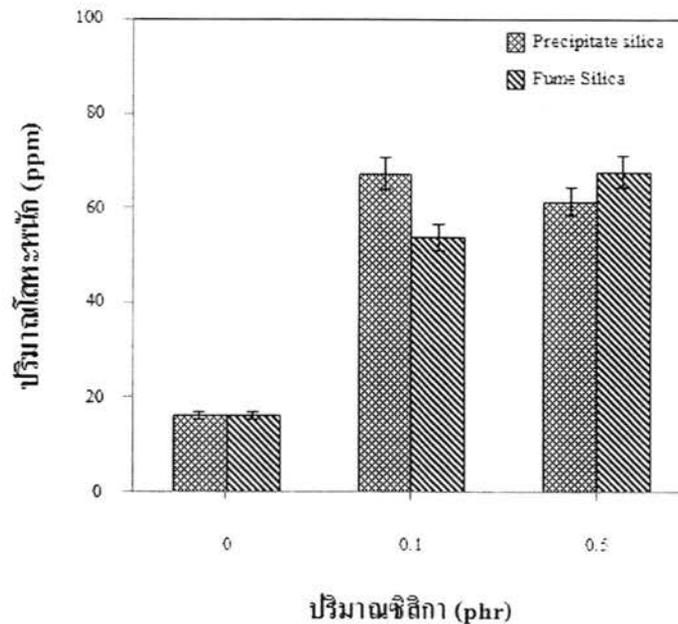
รูปที่ 27 ลักษณะพื้นผิวของยางวัลคาไนซ์ที่มีการแปรชนิดและปริมาณของซิลิกาที่ 0.1 -0.5 phr

3) ผลการทดสอบปริมาณโลหะหนัก (Heavy metal content)

ตามมาตรฐาน ASTM 2250

จากการทดสอบการหาปริมาณโลหะหนักของยางวัลคาไนซ์ที่มีการเติมสารตัวเติมพรีซีพิตเตดซิลิกาและฟุ้งซิลิกาที่ 0.1, 0.5 phr จะพบว่าเมื่อเติมซิลิกาลงไปจะทำให้ยางวัลคาไนซ์มีปริมาณโลหะเพิ่มสูงขึ้นสูตรที่ไม่มีการเติมซิลิกามีปริมาณโลหะหนักเท่ากับ 16.66 ppm ส่วนการเติมพรีซีพิตเตด 0.5 phr จะมีโลหะหนักเท่ากับ 61.66 ppm และการเติมฟุ้งซิลิกา 0.5 phr จะมีโลหะหนักเท่ากับ 67.91 ppm ซึ่งการเติมซิลิกาลงไปในปริมาณมากขึ้นจะทำให้สูตรยางมีปริมาณโลหะหนักมากขึ้นเนื่องจากสารเคมีที่เติมลงไปในสูตรยางจะมีโลหะหนัก เช่น แคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว สังกะสี พรอท และโลหะหนักอื่นๆ ปนอยู่ด้วย ส่งผลให้มีปริมาณโลหะหนักมากขึ้น และในสูตรที่มีการเติมซิลิกาพบว่ามีความเข้มข้นโลหะหนักเพิ่มมากขึ้นทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากในซิลิกามีซิลิกอนไดออกไซด์ จึงมี

ความเป็นไปได้ว่าจะมีการตรวจพบสารประกอบดังกล่าวจึงทำให้มีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้สารประกอบดังกล่าวไม่ได้เป็นโลหะหนักแต่อาจมีการตรวจพบจึงทำให้มีค่าเพิ่มขึ้นได้ แสดงดังกราฟที่ 28



รูปที่ 28 ผลการเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักของยางวัลคาไนซ์ที่มีการแปรชนิดและปริมาณของซิลิกา

3.5 การทดสอบสมบัติทางความร้อน

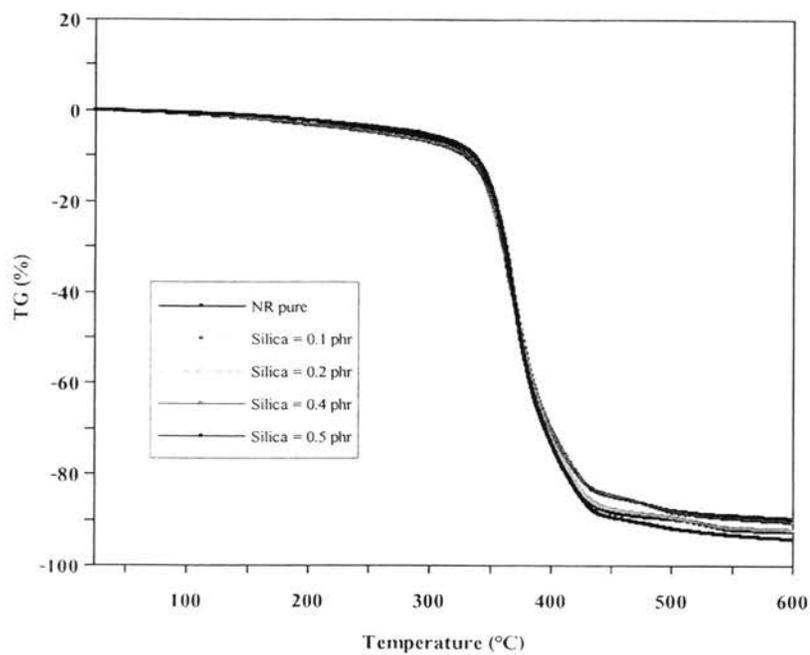
1) ผลการทดสอบการสลายตัวเชิงความร้อนของแผ่นยางด้วย

เครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกอะนาไลซิส (Thermogravimetric Analysis ,TGA)

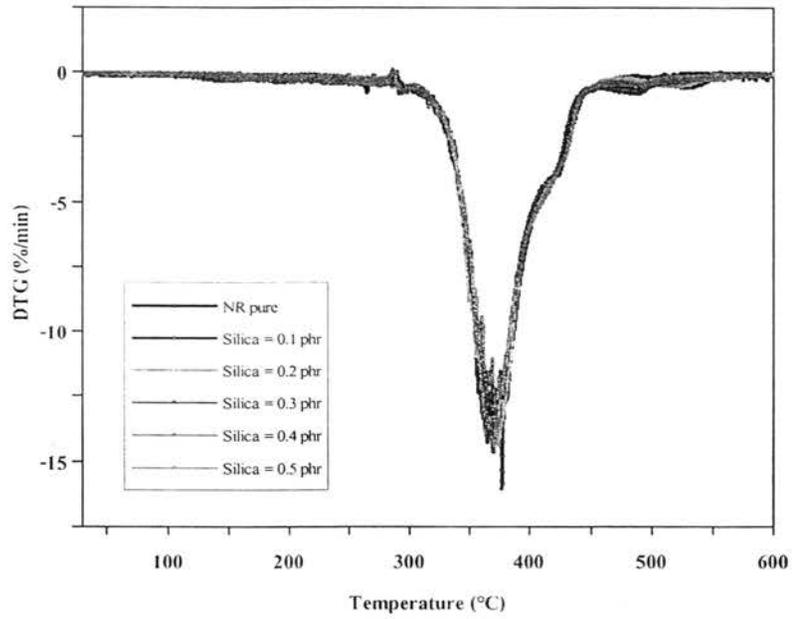
จากการทดสอบสมบัติทางความร้อนของยางวัลคาไนซ์ด้วยเทคนิค TGA จะเห็นได้ว่าเทอร์โมแกรมที่แสดงการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของตัวอย่างและอุณหภูมิแสดงดังตารางที่ 10 และ รูปที่ 29, 30, 31, 32 พบว่า ยางวัลคาไนซ์ที่มีการเติมพีริซิพิเตดซิลิกาและฟุ่มซิลิกาที่ 0.1- 0.5 phr มีพฤติกรรมทางความร้อนที่คล้ายคลึงกัน โดยสังเกตได้จาก TGA เทอร์โมแกรมซึ่งจะเกิดการสลายตัวเริ่มต้นในช่วงอุณหภูมิ 64.7-88.91 °C ซึ่งเกิดการสลายตัวของความชื้น กำมะถัน สารตัวเร่ง และสารป้องกันการเสื่อมสภาพและอุณหภูมิการสลายตัวสูงสุดในช่วงอุณหภูมิ 369-372 °C ทั้งนี้อาจเกิดจากการสลายตัวของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมลงไปจากกราฟ DTG เทอร์โมแกรมที่อัตราส่วนต่างกันพบว่าเมื่อเติมซิลิกาลงในยางธรรมชาติจะทำให้หนต่อการสลายตัวจากความร้อนของแผ่นยางวัลคาไนซ์เพิ่มขึ้นเนื่องจากว่าพีริซิพิเตดซิลิกาหรือฟุ่มซิลิกาเป็นสารตัวเติมที่มีสมบัติทนความร้อนได้สูงจึงทำให้ระยะเวลาในการสลายตัวของแผ่นยางวัลคาไนซ์เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 10 อุณหภูมิการสลายตัวและอุณหภูมิสุดท้ายของยางวัลคาไนซ์ที่มีการแปรชนิดและปริมาณของ ซิลิกาต่างกันภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน (N₂)

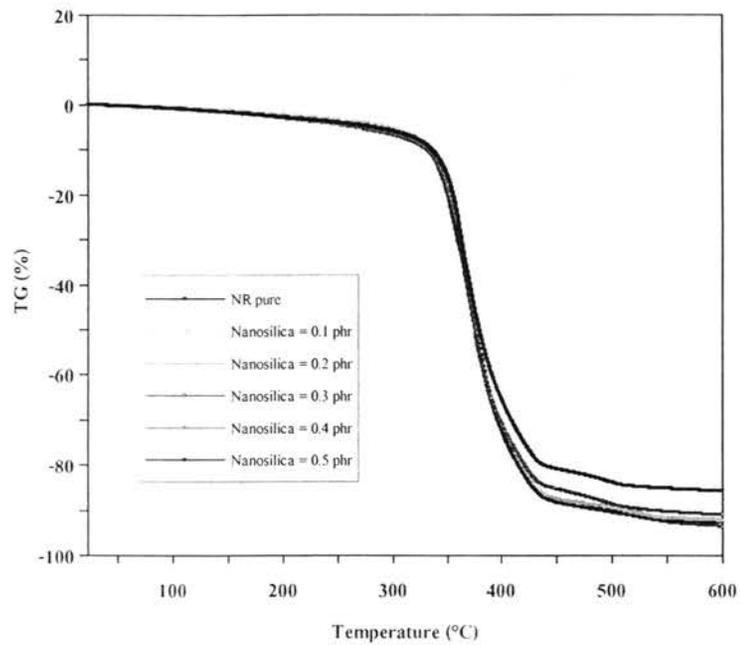
ชนิดของซิลิกา	ปริมาณซิลิกา (phr)	อุณหภูมิการสลายตัว (°C)		
		Td ₅	Td ₁₀	T _{max}
พรีซิพิตเตดซิลิกา	0	64.7	97.9	376.7
	0.1	64.63	103.28	371.2
	0.2	88.91	130.20	369.4
	0.3	64.64	103.28	370.9
	0.4	70.98	106.51	371.8
	0.5	84.85	133.12	369.9
ฟุ่มซิลิกา	0.1	88.91	130.20	369.9
	0.2	65.84	99.39	369.4
	0.3	74.44	116.87	371.9
	0.4	71.43	106.74	370.0
	0.5	65.09	97.29	372.9



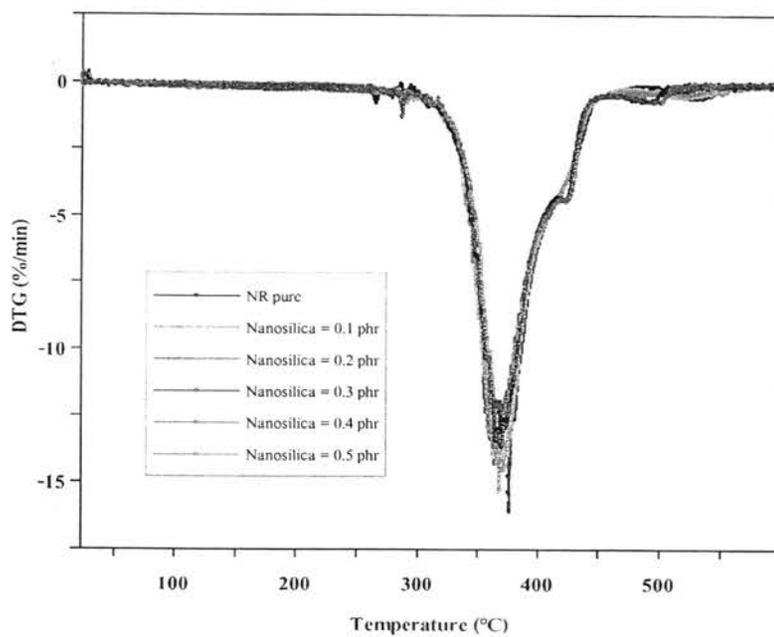
รูปที่ 29 TGA เทอร์โมแกรมของยางวัลคาไนซ์ที่มีการแปรปริมาณของพรีซิพิตเตดซิลิกาที่อัตราส่วนต่างๆ



รูปที่ 30 DTG เทอร์โมแกรมของยางวัลคาไนซ์ที่มีการแปรปริมาณของพรีซิพิตเตดซิลิกา ที่อัตราส่วนต่างๆ



รูปที่ 31 TGA เทอร์โมแกรมของยางวัลคาไนซ์ที่มีการแปรปริมาณของฟุ่มซิลิกา ที่อัตราส่วนต่างๆ



รูป 32 DTG เทอร์โมแกรมของแผ่นยางที่มีการแปรปริมาณของฟุ่มซิลิกาที่อัตราส่วนต่างๆ

บทที่ 4 สรุปและเสนอแนะ

4.1 สรุปผลการทดลอง

1. สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ (prevulcanized latex)
 - 1) การเตรียมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ พบว่า การปั่นน้ำยางผสมกับสารเคมีด้วยความเร็วคงที่และใช้เวลา 1 ชั่วโมง จะทำให้สารเคมีกระจายตัวในน้ำยางได้ดี
 - 2) ในขณะที่ปั่นน้ำยางผสมกับสารเคมีแล้วเปิดฝาเครื่องปั่นสารไว้ จะทำให้น้ำยางไม่เกิดเป็นฝ้า
 - 3) การบ่มน้ำยางเป็นระยะเวลา 3 วัน เมื่อนำไปทดสอบด้วยคลอโรฟอร์มจะให้ป็นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์โดยสมบูรณ์
2. การทดสอบสมบัติเบื้องต้นของน้ำยางพรีวัลคาไนซ์
 - 1) การเติมฟุ่มซิลิกาจะทำให้น้ำยางต้องใช้ระยะเวลาในการวัลคาไนซ์นานกว่าการเติมพรีซีพีเตตซิลิกา
 - 2) ระยะเวลาที่เหมาะสมในการบ่มน้ำยางพรีวัลคาไนซ์เท่ากับ 3 วัน
 - 3) การเติมฟุ่มซิลิกาที่ 0.5 phr จะทำให้ปริมาณเนื้อยางแห้งลดลงกว่าการเติมพรีซีพีเตตซิลิกาซึ่งมีค่า 49.45% และ 50% ตามลำดับ
 - 4) ปริมาณของแข็งมีค่ามากขึ้นเมื่อเติมพรีซีพีเตตและฟุ่มซิลิกามากขึ้น
 - 5) ปริมาณความเป็นต่างของน้ำยางคอมปาวด์ที่มีการเติมพรีซีพีเตตซิลิกาและฟุ่มซิลิกาไม่แตกต่างกัน
 - 6) การเติมฟุ่มซิลิกาลงในน้ำยางจะมีความเป็นกรดมากกว่าการเติมพรีซีพีเตตซิลิกา
3. การทดสอบสมบัติเชิงกลของแผ่นยาง
 - 1) การเติมพรีซีพีเตตซิลิกาจะส่งผลให้ค่า Tensile strength , Elongation at break , 300 %modulus, Tear resistance สูงกว่าการเติมฟุ่มซิลิกา
 - 2) การเติมพรีซีพีเตตซิลิกาและฟุ่มซิลิกาจะส่งผลให้ค่า Set after break, และ Hardness ไม่แตกต่างกัน
4. การทดสอบลักษณะสัณฐานวิทยา

ยางวัลคาไนซ์ที่มีการเติมพรีซีพีเตตซิลิกาที่ 0.5 phr สามารถกระจายตัวในเมทริกซ์ยางได้ดีกว่าการเติมฟุ่มซิลิกาและการเติมฟุ่มซิลิกาจะเกิดการจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อน
5. การทดสอบสมบัติทางเคมี
 - 1) การเติมฟุ่มซิลิกาจะมีอัตราการบวมพองไม่ต่างกับการเติมพรีซีพีเตตซึ่งมีค่า 322% และ 320 % ตามลำดับ
 - 2) การเติมพรีซีพีเตตซิลิกาจะมีระดับการเชื่อมขวางสูงกว่าการเติมฟุ่มซิลิกา

3) จาก FT-IR สเปกตรัมของยางวัลคาไนซ์พบหมู่ฟังก์ชันของยางธรรมชาติที่เลขคลื่น 1450 cm^{-1} , 1375 cm^{-1} และ 1650 cm^{-1} พบหมู่ฟังก์ชันของซิลิกา SiO_2 ที่เลขคลื่น 500-860 cm^{-1} และ CO_3^{2-} ที่เลขคลื่น 876 cm^{-1}

6. การทดสอบสมบัติทางความร้อน

จากการทดสอบสมบัติทางความร้อนของยางวัลคาไนซ์ด้วยเทคนิค TGA จะเห็นว่าเทอร์โมแกรมที่แสดงการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของตัวอย่างและอุณหภูมิแสดงดังตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.18, 4.19, 4.20, 4.21 พบว่า ยางวัลคาไนซ์ที่มีการเติมพรีซิพิเตตซิลิกาและฟุ้งซิลิกาที่ 0.1-0.5 phr มีพฤติกรรมทางความร้อนที่คล้ายคลึงกัน โดยสังเกตได้จาก TGA เทอร์โมแกรมซึ่งจะเกิดการสลายตัวเริ่มต้นในช่วงอุณหภูมิ 64.7-88.91 $^{\circ}\text{C}$ และอุณหภูมิการสลายตัวสูงสุดในช่วงอุณหภูมิ 369-372 $^{\circ}\text{C}$ จากกราฟ DTG เทอร์โมแกรมที่อัตราส่วนต่างกันพบว่าเมื่อเติมซิลิกาในยางธรรมชาติจะทำให้การสลายตัวจากความร้อนของแผ่นยางวัลคาไนซ์ใช้เวลาในการสลายตัวที่ยาวนานขึ้นเนื่องจากพรีซิพิเตตซิลิกาหรือฟุ้งซิลิกาเป็นสารตัวเติมที่มีสมบัติทนความร้อนได้สูงจึงทำให้ระยะเวลาในการสลายตัวของแผ่นยางวัลคาไนซ์นานขึ้น

4.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการเตรียมสารเคมีในรูปดีสเปอร์ชันควรใช้เครื่องมือสำหรับการเตรียมที่มีแรงบดที่สูงกว่านี้เพราะถ้าแรงบดไม่พอสารเคมีที่เตรียมจะไม่เกิดการแตกตัวหรือแตกตัวไม่ดีเท่าที่ควร อาจส่งผลทำให้สมบัติของยางที่ได้ต่ำลง

2. ควรมีการใช้สารคู่ควบเพื่อที่จะทำให้ยางกับซิลิกาเข้ากันได้มากกว่านี้เช่น ใช้สารโพลีเอทิลีนไกลคอล

3. เครื่องมือกวนน้ำยางสำหรับทำน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ควรจะใช้เครื่องที่มีแรงกวนที่สูงปานกลางถ้าเครื่องมือมีแรงกวนน้อยจะทำให้สารเคมีไม่กระจายตัวในน้ำยางและเกิดการตกตะกอนของสารเคมีที่ก้นของขวดโหล

เอกสารอ้างอิง

- [1] นงเยาว์ เทพยา. 2549. “ความมหัศจรรย์ของสบู่มุนไพร” Vol. 1, no. 2(July-December) : 156-164.
- [2] พงษ์ธร แสง้อย. 2547. ยาง ชนิด สมบัติ และการใช้งาน. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี แห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.
- [3] หลีกชัย กิตติพล. 2009. “สถานการณ์ราคายางพารา”.The Rubber International Magazine. Vol. 11, no. 1(January) : 18-21.
- [4] เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังษี.การผลิตยางธรรมชาติ. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี, 2547
- [5] บุญธรรม นิธิอุทัย. ยางธรรมชาติ ยางสังเคราะห์และคุณสมบัติ.คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี, 2530, หน้า 1-3
- [6] วราภรณ์ ขจรไชยกูล. ม.ป.ป. ผลิตภัณฑ์จากน้ำยางธรรมชาติ. กรุงเทพฯ : ศูนย์วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ยาง สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร.
- [7] พรพรรณ นิธิอุทัย. สารเคมีสำหรับน้ำยาง. ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2540, หน้า 209-220
- [8] www.navy.mi.th/sattahippase/unit/wfrock/rock2.php วันสืบค้นข้อมูล 31/03 /56
- [9] www.wikipedia.org/wiki วันสืบค้นข้อมูล 31/03 /56
- [10] www.kr.ac.th/tech/det48m2/soil10.htm วันสืบค้นข้อมูล 31/03 /56
- [11] พิมพ์ ลีลาพรพิสิฐ. 2532. เครื่องสำอางเพื่อความสะอาด. ภาควิชาเทคโนโลยีเภสัชกรรม, คณะเภสัชศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่, 254 น.
- [12] อัญญรัตน์ ดำรงชัยเสน, 2551, การวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนทางการเงิน ของกิจการผลิตสบู่ธรรมชาติที่ทำด้วยมือแห่งหนึ่งในอำเภอเมืองจังหวัดเชียงใหม่ คณะเศรษฐศาสตร์ การค้นคว้าแบบอิสระระดับมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- [13] www.sci.buu.ac.th วันสืบค้นข้อมูล 18/04/2556
- [14] วิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง.,Scsanning Electron Microscopy (SEM).
- [15] วินิช พรหมอาร์ักษ์ และกานต์ตะรัตน์ วุฒิสเลลา.เอกสารประกอบการเรียนการวิเคราะห์ พอลิเมอร์ ด้วยเครื่องมือ (Instrumental Methods of Polymer Analysis)2533.
- [16] จีราพร พันธุ์ธีรานุกษ์. Atomic Force Microscopy, การศึกษาทางชีวภาพสมัยใหม่ด้วย เครื่อง Atomic Force Microscopy. <http://www.vcharkarn.com>
- [17] พันธุ์ทิพย์ ธรสาธิตกุล. Atomic absorption Spectrophotometer, เครื่องมือวิเคราะห์ ทดสอบทางเคมี <http://www.mfu.ac.th>
- [18] Qinfu Liu, Yude Zhang, and Hongliang Xu. 2007. “Properties of vulcanized

- rubber nanocomposites filled with nanokaolin and precipitated silica".
Journal
of Applied Clay Science. Vol. 42, no. 1(December) : 232-237.
- [19] Niyompanich, N., 2004, "Effect of Silane Coupling Agent on In situ Silica Reinforcement of Natural Rubber by Sol-gel Reaction in Latex", Master of Science Program in Petrochemistry and Polymer Science, Faculty of Science ,Chulalongkorn University.
- [20] Hel : Analysis of variance of the effect of rice husk ash and commercial fillers in NR compounds. *Polymet Bulletin.*, 58, 597-610
- [21] Ishak, Z.A.M. and Bakar, A.A. (1995). An investigation on the potential of rice husk ash as fillers for epoxidized natural rubber (ENR). *Eur polym J.*, 31,259-269.
- [22] ปราณี รววมวงศ์.การเตรียมเขม่าดำจากเปลือกข้าวเพื่อใช้เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ.คณะวิทยาศาสตร์.มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี,2553
- [23] ปวีณา แต่งอุดม และคณะ. คุณลักษณะเฉพาะการคงรูปและสมบัติเชิงกลของยางที่เติมซิลิกาผสม. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ,คณะวิศวกรรมศาสตร์,มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.2552
- [24] กุชงค์ ทับทอง และคณะ. 2551. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเสริมแรงระหว่างนาโนแคลเซียมคาร์บอเนตและซิลิกาในยางธรรมชาติ. *วารสารวิทยาศาสตร์* .
- [25] Sae – oui, P., Rakdee, C. and Thanmathorn, P. 2002. Use of Rice Husk Ash as Filler in Nrtural Rubber Vancanized: in Comparision With Other Commercial Fillers. *Journal of Applied Polymer Science* 83: 2485-2493.
- [26] แม้น อมรสิทธิ์. 2539. หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ. กรุงเทพฯ : ชวนพิมพ์
- [27] Prasertsri, S., Rattanasom N. Fumed and Precipitate silica reinforced natural rubber composites pepared from latex system: Mechanical and dynamic properties. *Journal of Polymer Testing* 31:2012,593-605.

ภาคผนวก ก
บทความสำหรับการเผยแพร่

สมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติที่เติมฟุ้งซิลิกาและพรีซิพิเตตซิลิกา
โดยใช้โพลีเอทรีลีนไกลคอลเป็นสารคู่ควบ

**Mechanical Properties of Fumed and Precipitated Silica Filled
Natural Rubber by using Polyethylene Glycol as Coupling Agent**

นันทยา ชาติพา อรพรรณ ทองอบ ปราณีย์ นุ้ยหนู* สายันต์ แสงสุวรรณ สราวุธ ประเสริฐศรี
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

N. Chatipa, O. Tongop, P. Nuinu*, S. Saengsuwan, S. Prasertsri

Department of Chemistry, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติ เชิงกลของยางธรรมชาติ ที่เติมฟุ้งซิลิกา (FSi) และพรีซิพิเตตซิลิกา (PSi) ที่เติมจากวิธีการเทแผ่น โดยใช้ปริมาณของซิลิกา 2 ชนิดเท่ากับ 5 ส่วนในยางร้อยละ (phr) และใช้โพลีเอทรีลีนไกลคอล (PEG) เป็นสารคู่ควบที่ความเข้มข้น 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ทำการเตรียมน้ำยาง คอมปาวด์ โดยการผสม น้ำยางชั้นกับสารเคมีในรูปดิสเพอร์ชัน โดยป้อนอย่างต่อเนื่อง ด้วยแรงกลที่ความเร็ว 65 รอบ/นาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นทำการบ่มน้ำยางเพื่อให้เกิดการวัลคาไนซ์บางส่วนที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 4 วัน แล้วนำน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ไปทำการหล่อขึ้นรูปบนแผ่นกระจก อบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 ชั่วโมง และทดสอบสมบัติเชิงกลของแผ่นยางที่เตรียมได้ จากผลการศึกษาพบว่า ค่า 300 เปอร์เซ็นต์มอดูลัสและความทนทานต่อแรงดึงสูงกว่ายางที่เติม FSi ในทางตรงกันข้ามค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดและความสามารถในการคืนตัวหลังขาดมีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเติม FSi ซึ่งอาจเป็นผลมาจากFSi กระจายตัวในยางได้ไม่ดีส่งผลให้แผ่นยางที่ได้มีรอยแตกเกิดขึ้น นอกจากนี้การเติม PEG ลงไป 5 phr เป็นสารคู่ควบทำให้ยางกับซิลิกาเข้ากันได้ดีมากขึ้นเนื่องจากการเกิดอันตรกิริยาระหว่างยางและซิลิกาส่งผลให้สมบัติเชิงกลเพิ่มขึ้นกิริยาระหว่างยางและสารตัวเติมส่งผลให้สมบัติเชิงกลเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: น้ำยางพรีวัลคาไนซ์ ซิลิกา โพลีเอทรีลีนไกลคอล สมบัติเชิงกล

Mechanical Properties of Fumed and Precipitated Silica Filled Natural Rubber by using Polyethylene Glycol as Coupling Agent

Abstract
 The mechanical properties of fumed and precipitated silica filled natural rubber (NR) by using polyethylene glycol (PEG) as coupling agent were investigated. The results showed that the mechanical properties of NR/SiO₂ composite increased with increasing the silica content. The PEG coupling agent improved the mechanical properties of NR/SiO₂ composite. The results showed that the mechanical properties of NR/SiO₂ composite increased with increasing the silica content. The PEG coupling agent improved the mechanical properties of NR/SiO₂ composite.

Keywords

The mechanical properties of fumed and precipitated silica filled natural rubber (NR) by using polyethylene glycol (PEG) as coupling agent were investigated. The results showed that the mechanical properties of NR/SiO₂ composite increased with increasing the silica content. The PEG coupling agent improved the mechanical properties of NR/SiO₂ composite. The results showed that the mechanical properties of NR/SiO₂ composite increased with increasing the silica content. The PEG coupling agent improved the mechanical properties of NR/SiO₂ composite.

Introduction

The mechanical properties of fumed and precipitated silica filled natural rubber (NR) by using polyethylene glycol (PEG) as coupling agent were investigated. The results showed that the mechanical properties of NR/SiO₂ composite increased with increasing the silica content. The PEG coupling agent improved the mechanical properties of NR/SiO₂ composite. The results showed that the mechanical properties of NR/SiO₂ composite increased with increasing the silica content. The PEG coupling agent improved the mechanical properties of NR/SiO₂ composite.



Materials

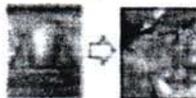


Figure 1. Furnace used for curing the samples.



Figure 2. Oven used for curing the samples.

Method

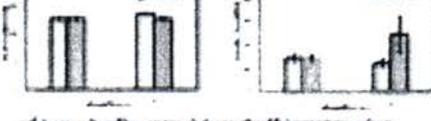
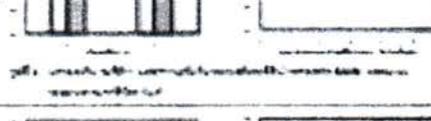
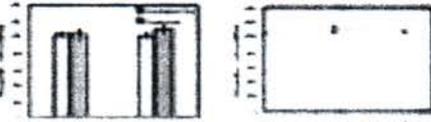
The mechanical properties of fumed and precipitated silica filled natural rubber (NR) by using polyethylene glycol (PEG) as coupling agent were investigated. The results showed that the mechanical properties of NR/SiO₂ composite increased with increasing the silica content. The PEG coupling agent improved the mechanical properties of NR/SiO₂ composite.

Results and Discussion

The mechanical properties of fumed and precipitated silica filled natural rubber (NR) by using polyethylene glycol (PEG) as coupling agent were investigated. The results showed that the mechanical properties of NR/SiO₂ composite increased with increasing the silica content. The PEG coupling agent improved the mechanical properties of NR/SiO₂ composite.

Conclusions

Mechanical Properties



References

1. ...
2. ...
3. ...
4. ...
5. ...



NESTC2013



สมบัติของน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ที่เติมฟumedซิลิกาและพรีซิพิเตตซิลิกา
กาโดยใช้พอลิเอทรีลีนไกลคอลเป็นสารคู่ควบ

**Properties of Prevulcanized Natural Rubber Latex Filled with
Fumed Silica and Precipitated Silica Using Polyethylene Glycol as
Coupling Agent**

อรพรรณ ทองอบ นันทยา ชทธิพา ปราณ นุ้ยหนู* นิภาวรรณ พงพรหม สราวุธประเสริฐศรี
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

O. Tongop, N. Chatipa, P. Nuinu*, N. Pongprom, S. Prasertsri

Department of Chemistry, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อ เตรียมและศึกษาสมบัติของน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ที่เติมฟumedซิลิกา (FSi) และพรีซิพิเตตซิลิกา (PSi) 5 ส่วนในน้ำยางร้อยละ โดยใช้พอลิเอทรีลีนไกลคอล (PEG) เป็นสารคู่ควบที่ ความเข้มข้น 10% โดยน้ำหนัก และแปรระยะเวลาในการบ่มน้ำยางคอมปาวด์ตั้งแต่ 1-4 วันทำการเตรียมน้ำ ยางพรีวัลคาไนซ์โดยการผสมน้ำยางชั้นกับสารเคมีในรูปดิสเพอร์ชันและปั่นด้วยแรงกลที่ความเร็ว 65 รอบ/ นาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมงจากนั้นทำการบ่มน้ำยางเพื่อให้เกิดการวัลคาไนซ์บางส่วนที่อุณหภูมิห้อง ณ เวลาที่ กำหนด ก่อนทดสอบสมบัติต่างๆ เช่น ปริมาณเนื้อยางแห้ง ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณความเป็นต่างและ คลอโรฟอร์มนัมเบอร์ จากผลการทดลองพบว่า น้ำยางที่เติม FSi และ PSi มีปริมาณเนื้อยางแห้งลดลง เมื่อ เปรียบเทียบกับสูตรควบคุมที่ไม่มีการเติมซิลิกา นอกจากนี้การเติมซิลิกาและ PEG ส่งผลทำให้น้ำยางพรีวัลคา ไนซ์มีปริมาณของแข็งทั้งหมดสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการเติม PEG จะไม่ส่งผลต่อค่าปริมาณเนื้อยางแห้ง และปริมาณความเป็นต่าง จากการทดสอบคลอโรฟอร์มนัมเบอร์พบว่า น้ำยางที่เติมซิลิกาจำเป็นต้องใช้เวลาใน การบ่มนานขึ้นจึงจะได้คลอโรฟอร์มนัมเบอร์ 3-4 ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากพื้นผิวของซิลิกามีความเป็นกรดสูงจึง ทำให้ห่วงสารตัวเร่งให้ทำงานช้าลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของน้ำยางที่เติม FSi

คำสำคัญ: น้ำยางธรรมชาติ น้ำยางพรีวัลคาไนซ์ ฟumedซิลิกา พรีซิพิเตตซิลิกา พอลิเอทรีลีน ไกลคอล

ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์กิจกรรมที่วางแผนไว้ กิจกรรมที่ดำเนินการมา และผลที่ได้รับตลอดโครงการ

กิจกรรม	ช่วงเวลา (เดือน)												กิจกรรมแผนที่วางไว้	กิจกรรมที่ดำเนินการจริง	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
1. การเตรียมงานวิจัย/บททวนศึกษาเอกสาร	■	■												ได้แนวทางการทำวิจัย	ได้ข้อมูลที่สามารถนำมาทำงานวิจัยได้
2. กำหนดแผนการ/วิธีการดำเนินงานวิจัย	■	■												ระยะเวลาในการทำวิจัย	ตรงตามที่ตั้งเอาไว้
3. ดำเนินงานวิจัย/เก็บข้อมูล		■	■												
3.1 จัดหาวัสดุดิบและอุปกรณ์เครื่องมือ		■	■											วัสดุและอุปกรณ์ที่ทำวิจัย	จัดหาได้เพียงพอสำหรับการทำวิจัย
3.2 เตรียมน้ำยาล้างพริวัลคาโนซ์และหาสภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปแบบพิมพ์				■	■	■	■							ได้สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมน้ำยาล้างพริวัลคาโนซ์	ได้สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทำวิจัย
3.3 เตรียมตัวอย่างทดสอบ				■	■	■	■							ได้ดีอย่างทดสอบตามมาตรฐาน ASTM	ตามตรงมาตรฐานที่กำหนด
3.4 ทดสอบสมบัติเชิงกล ได้แก่ ความหนาแน่นต่อแรงดึง ASTM D 412 ความหนาแน่นต่อการฉีกขาด ASTM D 624 ความแข็ง ASTM D 2240				■	■	■	■							ได้ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล	ได้ผลการทดสอบ
3.5 สมบัติทางเคมี ได้แก่ โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค FTIR, การต้านต่อน้ำมันละลายตัว ทำละลาย ความหนาแน่นของพันธะเชื่อมขวาง ASTM D 471				■	■	■	■							ได้ผลการทดสอบสมบัติทางเคมี	ได้ผลการทดสอบ
3.6 สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ลักษณะการเข้ากันได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และปริมาณโลหะหนัก				■	■	■	■							ได้ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ	ได้ผลการทดสอบ
3.7 สมบัติทางความร้อน ได้แก่ หาอุณหภูมิหลอมเหลวและอุณหภูมิกลาสทรานซิชันด้วยเทคนิคดีพีเออร์เรนเซียสแกนนิงแคลอริมิเตอร์ และทดสอบอุณหภูมิการละลายตัวด้วย				■	■	■	■							ได้ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อน	ได้ผลการทดสอบ

เทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริกแอนนาไลเซอ์									
3.8 สร้างแบบพิมพ์จากผลิตภัณฑ์ต้นแบบด้วยปูนพลาสเตอร์									ได้แบบพิมพ์ปูนพลาสเตอร์สำหรับเตรียมต้นแบบ
3.9 เตรียมแบบพิมพ์จากยางธรรมชาติ									ได้แบบพิมพ์จากยางธรรมชาติ
3.10 ทำการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์สุดท้ายของกระบวนการหล่อแบบด้วยแบบพิมพ์ยางธรรมชาติ									ได้ป่าแบบพิมพ์จากยางธรรมชาติไปประยุกต์ใช้ในการหล่อแบบ
4. การวิเคราะห์ - สมบัติเชิงกล ได้แก่ ความทนทานต่อแรงดึง, ความทนทานต่อการฉีกขาด, ความแข็ง - สมบัติทางเคมี ได้แก่ การต้านต่อน้ำมันและตัวทำละลาย, ความหนาแน่นของพันธะเชื่อมขวาง - สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ลักษณะการเข้ากันได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และปริมาณโลหะหนัก - สมบัติทางความร้อน ได้แก่ พลาอุณหภูมิหลอมเหลวผลึกและอุณหภูมิกลาสรานขึ้นด้วย, เทคนิคดีพีพีเออร์เรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ และทดสอบอุณหภูมิการสลายตัวด้วยเทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริกแอนนาไลเซอ์									ได้ผลการทดสอบที่เหมาะสมสำหรับการนำไปขึ้นรูปได้จริง ได้ผลการทดสอบและสถานะที่เหมาะสมสำหรับการนำไปขึ้นรูปเป็นแบบพิมพ์ยางธรรมชาติ
5 จัดทำรายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์									ได้รายงานฉบับสมบูรณ์
6 เสนอผลงานทางวิชาการ									ได้บทความทางวิชาการ
									ตรงตามระยะเวลาที่กำหนด
									ได้เสนอผลงานทางวิชาการแบบ poster

รายงานการเงิน
 รหัสโครงการ 541204000 เงินอุดหนุนทั่วไป-ค่าใช้จ่ายอุดหนุน
 โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงบประมาณแผ่นดิน
 ประจำปีงบประมาณ 2555
 ชื่อโครงการ...การเตรียมและสมบัติของแบบพิมพ์สำหรับขึ้นรูปผลิตภัณฑ์สุรูปุธรรมชาติ
 จากน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์โดยใช้นาโนซิลิกาเป็นสารตัวเติม
 รายงานสรุปการเงินในรอบ 12 เดือน

รายงานตั้งแต่วันที่.... 20 มิถุนายน 2555..... ถึงวันที่19 มิถุนายน 2556.....

ผู้รับทุน : ...นางสาวปราณี น้อยหนู

ร่วมวิจัย : ...ดร. นิภาวรรณ พงษ์พรหม

หน่วยงาน : ภาควิชาเคมี.. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ระยะเวลาดำเนินการ : ..12..เดือน ตั้งแต่วันที่ 20 มิถุนายน 2555.. ถึงวันที่..19 มิถุนายน 2556.....

รายจ่าย

หมวดงบประมาณ	งบประมาณที่ตั้งไว้	ค่าใช้จ่ายปัจจุบัน	งบประมาณคงเหลือ	หมายเหตุ
1. ค่าตอบแทน	9000	0	0	
2. ค่าวัสดุ	1,5800	16344.85	-544.85	
3. ค่าใช้สอย	20,200	20537.00	-377.00	
รวมทั้งโครงการ	45,000	36,881.85	-881.85	

ตารางที่ 1 แสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นตลอดทั้งโครงการ

รายการ	รายรับ	รายจ่าย	คงเหลือ	หมายเหตุ
ได้รับเงินจากมหาวิทยาลัย งวดที่ 1	22,500.00			จ่ายแล้ว
ได้รับเงินจากมหาวิทยาลัย งวดที่ 2	13,500.00			จ่ายแล้ว
1. หมวดค่าตอบแทน	9,000.00			จ่ายแล้ว
2. หมวดค่าใช้สอย	20,200.00			
ค่าถ่ายเอกสาร		45.00		
ค่าถ่ายเอกสาร		182.00		
ค่าถ่ายเอกสาร		55.00		
ค่าถ่ายเอกสาร		255.00		
ค่าเช่าเล่มเอกสาร		800.00		
ค่าทดสอบ tensile 12 ตัวอย่าง		3,600.00		
ค่าทดสอบ tear strength 12 ตัวอย่าง		3,600.00		
ค่าทดสอบ FT-IR 12 ตัวอย่าง		2,400.00		
ค่าทดสอบ SEM 10 ตัวอย่าง		2,000.00		
ค่าทดสอบ AFM 7 ตัวอย่าง		2,100.00		
ค่าทดสอบปริมาณโลหะหนัก 6 ตัวอย่าง		3,000.00		
ค่าทดสอบสมบัติเบื้องต้นของน้ำยาง		2,500.00		
รวมทั้งหมด		20,537.00		
3. หมวดค่าวัสดุ	15,800.00			
ค่าสาร hydrocal		454.75		
ค่าแบบพิมพ์กระจกจำนวน 10 อัน		1,000.00		
ค่าเทพผ้า+ถุงมือยาง+ผ้าปิดจมูก		108.00		
ค่า thiourea		674.10		
ค่าน้ำยางข้น		3,400.00		
ค่าสารเคมีสำหรับน้ำยาง		6,955.00		
ค่า polyethylene glycol		963.00		
ค่ากระดาษ A4		240.00		

ค่าตลับหมึก 4 ตลับ		2,520.00		
รวมทั้งหมด		<u>16,314.85</u>		
รวมสุทธิทั้งโครงการ	36,000.00	36,851.85		