

การปรับปรุงผิวหน้าซิลิกาโดยกระบวนการแอตไมเซลล์ลาร์พอลิเมอไรเซชัน เพื่อใช้เสริมแรงในยางธรรมชาติ

Modification of Silica Surface using an Admicellar Polymerization System for Reinforcing Natural Rubber

กฤตিকা เดชะบุญ (Krittika Dachabun)

โชติกา ชะโลธร (Chotika Chalotorn)

ภรณี ศรีรมรินทร์ (Paranee Sriromreun)

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ paranee@swu.ac.th

บทคัดย่อ: ในงานวิจัยนี้ทำการปรับปรุงผิวหน้าซิลิกาด้วยกระบวนการแอตไมเซลล์ลาร์พอลิเมอไรเซชันในระบบดังปฏิกิริยาแบบต่อเนื่อง โดยใช้สไตรีนและไอโซพรีนเป็นโคโมโนเมอร์ มี CTAB เป็นสารลดแรงตึงผิว และใช้ AIBN เป็นตัวเริ่มต้นปฏิกิริยา หลังจากนั้นนำของซิลิกาที่ผ่านการปรับปรุงผิวหน้าแล้วไปผสมกับยางธรรมชาติโดยใช้ two roll mill ซึ่งผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าผิวหน้าของซิลิกาที่ปรับปรุงด้วยกระบวนการแอตไมเซลล์ลาร์พอลิเมอไรเซชันถูกปรับสภาพผิวด้วยพอลิเมอร์แล้วและซิลิกามีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งเมื่อนำไปทดสอบสมบัติเชิงกล พบว่าส่งผลให้ยางธรรมชาติมีสมบัติเชิงกล เช่น ค่าความแข็งที่ผิวหน้า ค่ามอดูลัส ค่าทนการฉีกขาด และค่าทนต่อการขัดถู ที่ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับซิลิกาที่ไม่ได้ปรับปรุงผิวหน้า โดยที่โคโมโนเมอร์ 5 กรัม เวลาทำปฏิกิริยา 30 นาทีจะให้สมบัติของยางที่เหมาะสมที่สุด

ABSTRACT: In this research, the admicellar polymerization was used to modify the silica surface by using continuous system. Styrene and isoprene were used as co-monomers, hexadecyltrimethylammonium bromide (CTAB) was used as surfactant and AIBN was used as initiator. After that, the mixed up the modified silica with natural rubber by internal mixer and two roll mill machine. The results showed that the silica surface and particle size were modified. That results effect to mechanical properties of rubber. The modified silica show that hardness, modulus, tear strength, and abrasion were improved compared with unmodified silica. At this condition, 5 g co-monomer loading per 1 kg silica at 30 minute retention time, show the optimum properties.

KEYWORDS : Filler, Natural Rubber, Surfactant, CSTR, Admicellar Polymerization

1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยผลิตยางพาราได้เป็นอันดับหนึ่งของโลก จึงทำให้ยางเป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญของไทย[1] ยางธรรมชาติใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นยางรัดของ ยางรถยนต์ ลูกโป่ง พื้นรองเท้า เป็นต้น คุณภาพของยางจึงมีความสำคัญ ซึ่งลักษณะของยางที่คั้นนั้น ต้องมีความยืดหยุ่นสามารถต้านทานแรงดันสูงได้ เป็นฉนวน ทนต่อการขูดและทนน้ำ แต่เนื่องจากยางธรรมชาติจะอ่อนตัวเมื่อได้รับความร้อน ฉะนั้นจึงต้องมีการปรับปรุงคุณภาพของยางธรรมชาติก่อนนำมาใช้งานจริง[2] ซึ่งมีหลากหลายวิธีการขึ้นอยู่กับการใช้งาน โดยในงานวิจัยนี้ต้องการเพิ่มคุณสมบัติด้านความแข็งแรง การรับแรง จึงใช้วิธีการเติมสารเติมแต่งที่ช่วยเสริมแรงยาง ซึ่งสารเติมแต่งที่ช่วยเสริมแรงให้แก่ง่ายนั้นมีหลายชนิดด้วยกัน เช่น ผงถ่าน ซิลิกา เป็นต้น ความแตกต่างของสารเติมแต่งทั้งสองชนิดนี้ คือ ซิลิกาจะมีราคาแพงกว่าแต่จะให้สมบัติที่ดีกว่า และซิลิกายังให้สีที่เป็นธรรมชาติ แต่เนื่องจากผิวของซิลิกาเป็นสารที่มีขั้ว (Hydrophilic) ซึ่งเมื่อนำมาผสมกับยางธรรมชาติซึ่งเป็นไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว (Hydrophobic) ทำให้สารทั้งสองชนิดนั้นรวมกันไม่ได้สนิท จึงต้องมีการปรับสภาพผิวซิลิกาเพื่อให้รวมตัวกันได้ดีขึ้น โดยการใส่กระบวนการแอคไมเซลลาร์พอลิเมอไรเซชัน สำหรับซิลิกาที่ผ่านการปรับสภาพผิวแล้วสามารถทำให้ยางธรรมชาติมีสมบัติดีขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาปรับปรุงผิวซิลิกาเพื่อให้ผสมกับยางธรรมชาติได้ดียิ่งขึ้น โดยใช้กระบวนการแอคไมเซลลาร์พอลิเมอไรเซชัน โดยใช้โคโมโนเมอร์ของ สไตรีนและไอโซพรีน มีสารลดแรงตึงผิวเป็นตัวเชื่อมประสานระหว่างซิลิกาและโคโมโนเมอร์ ซึ่งจะศึกษาการเปรียบเทียบปริมาณของโคโมโนเมอร์และเวลาในการทำปฏิกิริยาที่ใช้ในกระบวนการ

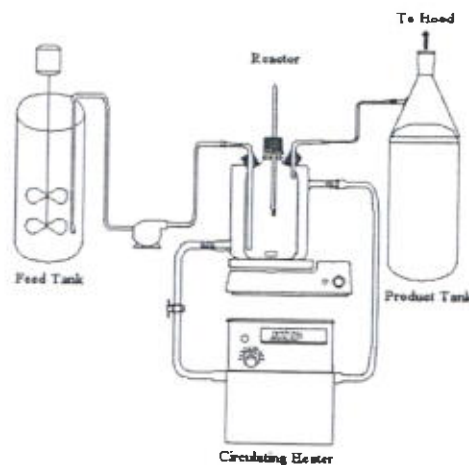
2. วิธีการทดลอง

2.1 สารเคมี

ซิลิกา TUKUSIL[®]255 (SiO₂ มีพื้นที่ผิวหน้า 160 m²/g) บริษัท Tokuyama Siam Silica Co, Ltd (ประเทศไทย), ไอโซพรีน 98% (C₅H₈) จาก บริษัท Fluka (Buchs, Switzerland), Hexadecyltrimethylammonium bromide (CTAB) 96% บริษัท Fluka (Buchs, Switzerland), สไตรีน 99% (C₆H₅CH=CH₂) บริษัท Asia Pacific Chemical Limited (Australia), โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) บริษัท VWR Infermational Ltd.(England), เอทานอล (CH₃CH₂OH) 99.96% บริษัท Mallinckrodt Baker (Maxico), 2,2'-Azobisisobutyronitrile (AIBN) บริษัท Aldrich Chemical Company (Milwaukee, WI, USA)

2.2 เครื่อง Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR) สำหรับกระบวนการแอคไมเซลลาร์พอลิเมอไรเซชัน

เตรียมอุปกรณ์ตามรูปที่ 1 โดยตั้งป้อนจะทำจากสแตนเลสสตีลมีฝาปิดและใบกวน ดังปฏิกิริยาเป็นขวดแก้วขนาด 1 ลิตร ถึงผลิตภัณฑ์ทำจากสแตนเลสสตีล การผสมในถังปฏิกิริยาใช้แท่งแม่เหล็ก (Magnetic Bar) การควบคุมอุณหภูมิของถังปฏิกิริยาประมาณ 70±2 องศาเซลเซียส โดยใช้เซอร์คูเลตติ้ง ฮีทเตอร์ (Circulating Heater) และอัตราการไหลของสารละลายควบคุมด้วยเพอร์ริสตาติกปั๊ม (Peristaltic Pump)[3]



รูปที่ 1 เครื่อง CSTR สำหรับกระบวนการแอคไมเซลลาร์พอลิเมอไรเซชัน

2.3 การปรับปรุงผิวซิลิกาด้วยกระบวนการแอคไมเซลล์าร์พอลิเมอร์ไอโซไซยานูเรท

ในการปรับปรุงผิวซิลิกา นั้นจะใช้สไตรีนและไอโซไซยานูเรทในอัตราส่วนโดยโมล 1:3 จำนวนที่ใส่ในถังป้อนคือ 5 และ 20 กรัม/1 กิโลกรัม ซิลิกา เวลาที่ใช้ในกระบวนการพอลิเมอร์ไอโซไซยานูเรท คือ 30, 60 และ 90 นาที (แทนด้วยตัวอักษร S, M และ L ตามลำดับ)

เติม CTAB 200 กรัม ในน้ำกลั่น 12.5 ลิตร และกวนจนกระทั่งเข้ากันในถังกวน เติมซิลิกา 1 กิโลกรัมลงในถังป้อนปรับ ให้เป็น pH 8 โดยใช้ NaOH จากนั้นเตรียมละลาย AIBN 2.05 กรัม ในเอทานอลในอัตราส่วน 30 มิลลิลิตร ของเอทานอลต่อ 0.5 กรัมของ AIBN และเติมสไตรีนต่อไอโซไซยานูเรท ในอัตราส่วนโดยโมล 1:3 ลงในสารละลาย AIBN ที่เตรียมไว้ แล้วนำไปใส่ในถังป้อนแล้วกวน 24 ชั่วโมง จากนั้นนำสารเข้าถังปฏิกิริยาโดยใช้เพอร์ริสตาติก ปั๊ม (Peristaltic Pump) ควบคุมอัตราการไหลตามเวลาที่กำหนด ใช้เซอร์กิวเลตติ้งฮีตเตอร์ (Circulating Heater) ควบคุมอุณหภูมิในถังปฏิกิริยาที่ 70 องศาเซลเซียส และกวนตลอดเวลา สารจะไหลเข้าสู่ถังผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีการหยุดปฏิกิริยาของสารที่เข้าสู่ถังผลิตภัณฑ์ด้วยการหล่อด้วยน้ำเย็น หลังจากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ล้างน้ำ โดยใช้หลักการล้างสวนทางของน้ำจนกว่าฟองจะหมด แล้วนำซิลิกาที่ผ่านการปรับปรุงแล้วเข้าอบที่ 110 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง และร่อนด้วยตะแกรงร่อนขนาด 70 mesh [4]

2.4 วิธีการวิเคราะห์

วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสารประกอบอินทรีย์โดยใช้ FTIR (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer) ยี่ห้อ PERKIN ELMER 1760 X วิเคราะห์ขนาดและลักษณะผิวของซิลิกาโดยใช้ SEM (Scanning Electron Microscope) ยี่ห้อ JEOL JSM-5800LV วิเคราะห์ขนาดของอนุภาคซิลิกาโดยใช้ Laser Particle Size Distribution Analyzer ยี่ห้อ MALVERN Mastersizer-S วิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะของอนุภาคซิลิกาโดยใช้ BET N₂ surface area Analyzer ยี่ห้อ Quantachrome Autosord-1

2.5 วิเคราะห์คุณสมบัติของยางธรรมชาติที่ผสมซิลิกาที่ได้รับการปรับปรุงแล้ว

ในการผสมยางธรรมชาติกับซิลิกามีสูตรที่ใช้ในการผสมดังตารางที่ 1 โดยวิธีการผสมนั้นนำยางธรรมชาติ สารเติมแต่ง และส่วนผสมอื่นๆ ผสมด้วยเครื่องบดผสมยางระบบปิด (Internal Mixer) และใช้เครื่องรีดแบบสองลูกกลิ้ง (Two-Roll Mill) รีดยางออกจากกระบวนปิดออกมาเป็นแผ่น และนำชิ้นส่วนที่ใช้ไปเข้าเครื่องอัดยางขึ้นรูปต่อไป [4, 5, 6]

ตารางที่ 1 สูตรการผสมยางธรรมชาติกับซิลิกา[4]

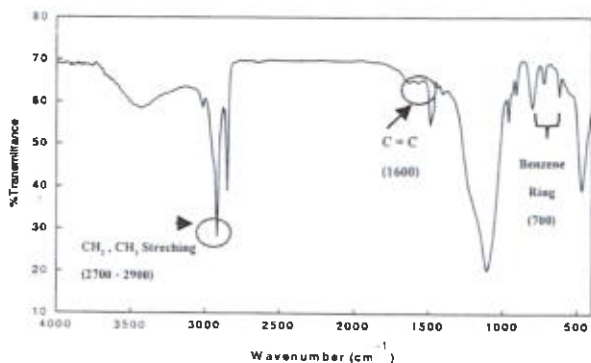
ส่วนผสม	อัตราส่วนต่อยาง 100 ส่วน (PHR)
ยางธรรมชาติ (STR 5L)	100
ซิลิกา	40
ซิงค์ออกไซด์	5
กรดสเตียริก	2
น้ำมันพาราฟิน	5
แอนติออกซิแดนท์ (6PPD)	1
เบนโซอิลไดซัลไฟด์ (MBTS)	1.8
ไดฟีนิลทิวบีน (DPG)	0.25
ซัลเฟอร์	5

นำยางผสมที่ได้มาขึ้นรูปแล้วจึงนำไปทดสอบสมบัติต่างๆ ดังนี้ การทดสอบมอดูลัส (Modulus Test) โดยใช้ยี่ห้อ Instron Model 1011 การทดสอบแรงดึงขึ้นยาง (Tensile Strength) โดยใช้ยี่ห้อ Instron Model 1011 การทดสอบการฉีกขาดของยาง (Tear Strength) โดยใช้ยี่ห้อ Lloyd Instruments LS 500 การหาค่าความแข็งของยาง (Hardness) โดยใช้ยี่ห้อ Lever Loader Model 716 การทดสอบความต้านทานการขัดถู (Abrasion) โดยใช้ยี่ห้อ Akron Abrasion Tester การทดสอบการกระดอน (Resilience) โดยใช้ยี่ห้อ Wallace Dunlop Tripsometer และการทดสอบการกดอัด (Compression) โดยใช้ยี่ห้อ Compression Set Tester MILANO/ITALIA (สำหรับการทำให้อายุยางเสื่อมสภาพ (Aging) จะทำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 22 ชั่วโมง)

3. ผลการทดลอง

3.1 ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน โดย Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR)

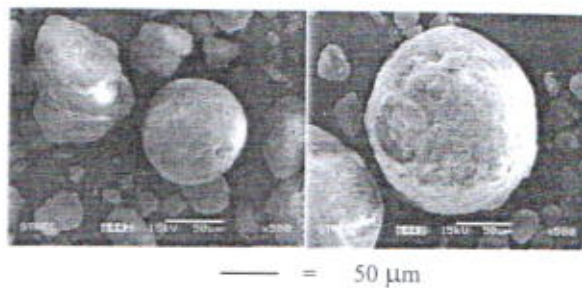
การทดสอบด้วยวิธี FTIR เป็นการศึกษาเพื่อยืนยันว่าซิลิกาที่ปรับปรุงมีพอลิเมอร์มาเกาะที่ผิวจริง การสกัดพอลิเมอร์ที่เกาะอยู่บนผิวซิลิกาทำโดยการรฟลัดด้วยเตตระไฮโดรฟูแลน (THF) ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR เพื่อแสดงหมู่ฟังก์ชันที่อยู่บนผิวหน้าซิลิกา จากรูปที่ 2 ที่ช่วงคลื่นที่ 2700-2900 ซม.⁻¹ จะเป็น CH₂, CH₃ Stretching แสดงถึงหมู่ฟังก์ชันของ CTAB ที่ช่วงคลื่น 700 ซม.⁻¹ จะเป็นกลุ่มของวงแหวนเบนซีน บอกลถึงการมีอยู่จริงของพอลิสไตรีน และที่ช่วงคลื่น 1600 ซม.⁻¹ จะเป็นกลุ่มของพันธะคู่ของคาร์บอนซึ่งแสดงถึงการมีอยู่จริงของพอลิไอโซพรีน [7]



รูปที่ 2 FT-IR สเปกตรัมของซิลิกาที่ปรับปรุงผิวแล้ว(SM)

3.2 ผลการวิเคราะห์ภาพถ่ายผิวหน้าของซิลิกา จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดโดยใช้ Scanning Electron Microscope (SEM)

ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดนั้น เป็นการศึกษาถึงลักษณะภายนอกของผิวหน้าซิลิกาจากภาพถ่ายผิวหน้า จากรูปที่ 3 พบว่าผิวหน้าของซิลิกาที่ผ่านการปรับปรุงจะมีลักษณะผิวหน้าขรุขระ และมีขนาดของอนุภาคซิลิกาที่ใหญ่มากกว่าซิลิกา ที่ยังไม่ผ่านการปรับปรุง จึงแสดงให้เห็นว่ามีพอลิเมอร์เข้าไปเคลือบผิวซิลิกาเอาไว้ จึงทำให้ซิลิกามีขนาดอนุภาคที่ใหญ่ขึ้น



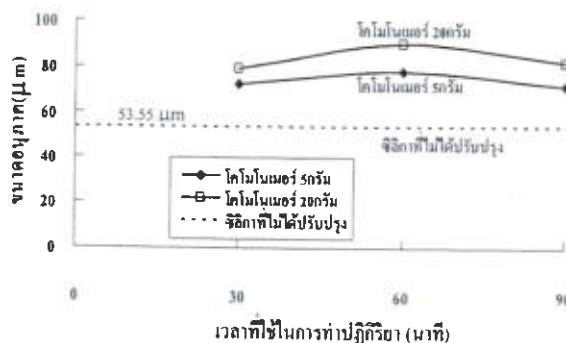
(ก) (ข)

รูปที่ 3 ภาพถ่ายของซิลิกา

(ก) ยังไม่ได้ผ่านการปรับปรุง (ข) ผ่านการปรับปรุงแล้ว

3.3 ผลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคซิลิกาโดยใช้เครื่อง Laser Particle Size Analyzer

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโคโมโนเมอร์และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่มีผลต่อขนาดอนุภาคซิลิกา จากรูปที่ 4 พบว่าอนุภาคของซิลิกาที่ปรับปรุงแล้วมีขนาดเพิ่มขึ้นจากซิลิกาที่ยังไม่ได้ปรับปรุง ซึ่งหลังจากการปรับปรุงซิลิกา ขนาดของอนุภาคจะเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 46.85 % เมื่อเทียบกับ ซิลิกาที่ยังไม่ได้ปรับปรุง เมื่อปริมาณโคโมโนเมอร์เพิ่มขึ้น ขนาดของอนุภาคเพิ่มขึ้นน่าจะเกิดจากการที่โคโมโนเมอร์ที่ทำปฏิกิริยากันเป็นพอลิเมอร์ ไปเคลือบที่ผิวหน้าของซิลิกา ทำให้อนุภาคของซิลิกามีขนาดเพิ่มขึ้นจากเดิม ส่วนเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยานั้นมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโคโมโนเมอร์และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่มีผลต่อขนาดอนุภาคของซิลิกาที่ผ่านการปรับปรุง

แต่ถึงอย่างไรก็ตามการทดสอบด้วยเครื่องมือนี้ ขนาดอนุภาคต้องมีลักษณะเป็นทรงกลมสมมาตรเท่านั้นซึ่งถ้าดูจากผลการทดสอบจาก SEM รูปร่างของซิลิกามีหลากหลายต่างกันไป อาจเป็นสาเหตุทำให้ความน่าเชื่อถือจากผลการทดลองนั้นลดลง

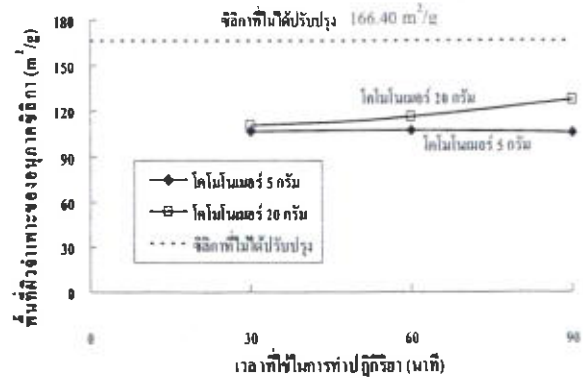
3.4 ผลการวิเคราะห์ห้ขนาดพื้นที่ผิวของซิลิกา โดย ใช้ BET N₂ Surface Area Analyzer

จากรูปที่ 5 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโคโมโนเมอร์และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่มีผลต่อขนาดอนุภาคซิลิกา พบว่าพื้นที่ผิวจำเพาะของอนุภาคซิลิกาที่ปรับปรุงแล้วจะน้อยกว่าพื้นที่ผิวจำเพาะของอนุภาคซิลิกาที่ยังไม่ได้ปรับปรุง โดยรวมแล้วพื้นที่ผิวของซิลิกาที่ปรับปรุงแล้วจะลดลงโดยเฉลี่ย 40.11 % ของซิลิกาที่ไม่ผ่านการปรับปรุง ซึ่งการที่พื้นที่ผิวจำเพาะของซิลิกาตกลงนั้น เพราะเกิดจากมีพอลิเมอร์เข้าไปเกาะบนผิวหน้าของอนุภาค จึงทำให้พื้นที่ผิวจำเพาะลดลงจากเดิมและทำให้ขนาดของอนุภาคใหญ่ขึ้น

โดยจากผลการวิเคราะห์พบว่าที่โคโมโนเมอร์ 20 กรัม มีขนาดของพื้นที่ผิวจำเพาะมากกว่าที่โคโมโนเมอร์ 5 กรัม อาจสรุปได้ว่า เมื่อโคโมโนเมอร์เพิ่มขึ้นพื้นที่ผิวจำเพาะของอนุภาคซิลิกาจะเพิ่มขึ้น หรือเทียบได้ว่าขนาดอนุภาคซิลิกาตกลง การที่โคโมโนเมอร์เพิ่มขึ้น และทำให้ขนาดอนุภาคตกลงนั้น อาจมีสาเหตุเนื่องจากการเกิดพอลิเมอร์ที่มีขนาดใหญ่ทำให้ไม่สามารถแทรกเข้าไปในรูพรุนของซิลิกาได้แต่จะเคลือบเพียงผิวนอกเท่านั้น เมื่อผ่านกระบวนการล้าง CTAB ส่วนทางน้ำ จะทำให้พอลิเมอร์หลุดออกไปพร้อมกับCTAB ด้วย จึงทำให้พื้นที่ผิวจำเพาะของซิลิกาเพิ่มขึ้น หรือขนาดของอนุภาคตกลงนั่นเอง[4]

ที่เวลาทำปฏิกิริยา 30 นาที จะเห็นว่าโคโมโนเมอร์ทั้งสองจะให้พื้นที่ผิวใกล้เคียงกันแต่เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นที่ 60 และ 90 นาทีจะเริ่มเห็นความแตกต่างของโคโมโนเมอร์ทั้งสองอย่างชัดเจน โดยเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นพื้นที่ผิวจำเพาะของซิลิกาจะเพิ่มขึ้น หรือเทียบได้ว่าขนาดของอนุภาคซิลิกาตกลงและการที่ขนาดของอนุภาคซิลิกาตกลง อาจเนื่องมาจากเมื่อมีเวลาในการทำปฏิกิริยาของกระบวนการพอลิเมอ

ไรเซชันนานขึ้น การเกิดพอลิเมอร์จะเพิ่มขึ้นจึงทำให้พอลิเมอร์มีขนาดใหญ่ เมื่อเข้าไปเคลือบซิลิกาจะเคลือบเฉพาะบริเวณผิวหน้าโดยรอบเท่านั้น ไม่ได้เข้าไปในรูพรุนของซิลิกา เมื่อผ่านกระบวนการล้าง CTAB ส่วนทางน้ำ จะทำให้พอลิเมอร์หลุดออกไปพร้อมกับ CTAB ด้วย จึงทำให้ขนาดของอนุภาคซิลิกาตกลง หรือพื้นที่ผิวจำเพาะของซิลิกาเพิ่มขึ้นนั่นเอง



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโคโมโนเมอร์และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ที่มีผลต่อพื้นที่ผิวของอนุภาคซิลิกา

จากผลการทดสอบผิวหน้าของซิลิกาที่ผ่านมา นั้น ยังไม่สามารถสรุปผลได้ชัดเจนนัก และเพื่อให้เห็นถึงสมบัติที่แท้จริงของการใช้งานนั้น จึงต้องนำซิลิกานั้นมาผสมกับยางธรรมชาติและทดสอบสมบัติการใช้งานจริงอีกครั้งหนึ่ง

3.5 สมบัติของยางธรรมชาติที่ผสมกับซิลิกา

เมื่อนำซิลิกาที่ปรับปรุงแล้วไปผสมกับยางธรรมชาติด้วยเครื่องผสมยางระบบปิด (internal mixer) และใช้เครื่องรีดแบบสองลูกกลิ้ง (two-roll mill) รีดยางออกจากระบบปิดออกมาเป็นแผ่น แล้วนำชิ้นส่วนไปเข้าเครื่องอัดขยงขึ้นรูปตามที่ต้องการ และนำไปทดสอบสมบัติต่อไป

ผลที่ได้จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่ายางที่ผสมซิลิกาที่ผ่านการปรับปรุงในทุกๆ อัตราส่วนจะมีสมบัติต่างๆ ดีขึ้นจากเดิม

จากตารางที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบสมบัติของซิลิกา ที่ผ่านการปรับปรุงแล้ว กับซิลิกาที่ยังไม่ได้ผ่านการปรับปรุง โดยที่ค่าสมบัติของซิลิกาที่ปรับปรุงแล้วดีขึ้น

มากกว่า 10 % แทนด้วย +1 สมบัติที่ลดลงมากกว่า 10% แทนด้วย -1 และมีสมบัติระหว่าง -10 ถึง 10 % แทนด้วย 0 [4]

ตารางที่ 2 สมบัติของยางที่ผสมกับซิลิกา

สมบัติ	ซิลิกายังไม่ได้ปรับปรุง(๑)	5S	5M	5L	20S	20M	20L
100% Modulus (MPa) before aging	0.77	1.76	1.68	1.71	1.83	0.68	1.33
200% Modulus (MPa) before aging	1.57	2.69	2.59	2.63	2.77	1.00	2.18
300% Modulus (MPa) before aging	2.84	3.91	3.85	4.02	4.19	1.37	3.19
Tensile Strength (MPa) before aging	19.84	20.17	21.80	21.63	20.60	16.58	23.39
Tear Strength (N/mm) before aging	30.27	50.90	54.67	56.90	51.36	35.04	56.45
Hardness (shore A) before aging	51.40	54.00	57.70	57.40	61.90	42.70	49.40
Hardness (shore A) after aging	52.80	61.50	64.70	64.80	64.80	57.60	58.40
Abrasion (ml/kcycle)	0.96	0.34	0.43	0.44	0.36	0.59	0.41
Resilience (%)	56.70	68.80	66.00	67.70	53.60	68.50	69.80
Compression Set (%)	83.11	48.56	48.00	54.91	56.39	56.73	53.21

ตารางที่ 3 แสดงผลการทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของยางที่ผสมกับซิลิกาที่ผ่านการปรับปรุงทั้ง 6 ตัว

สมบัติ	ซิลิกายังไม่ได้ปรับปรุง(๑)	5S	5M	5L	20S	20M	20L
100% Modulus (MPa) before aging	0.77	+1	+1	+1	+1	-1	+1
200% Modulus (MPa) before aging	1.57	+1	+1	+1	+1	-1	+1
300% Modulus (MPa) before aging	2.84	+1	+1	+1	+1	-1	+1
Tensile Strength (MPa) before aging	19.84	0	0	0	0	-1	+1
Tear Strength (N/mm) before aging	30.27	+1	+1	+1	+1	+1	+1
Hardness (shore A) before aging	51.40	0	+1	+1	+1	-1	0
Hardness (shore A) after aging	52.80	+1	+1	+1	+1	0	+1
Abrasion (ml/kcycle)	0.96	+1	+1	+1	+1	+1	+1
Resilience (%)	56.70	+1	+1	+1	0	+1	+1
Compression Set (%)	83.11	+1	+1	+1	+1	+1	+1
รวม		+8	+9	+9	+8	-1	+9

โดยยางธรรมชาติที่ผสมกับซิลิกาที่ผ่านการปรับปรุงจะมีสมบัติต่าง ๆ ดีขึ้นเมื่อเทียบกับเดิมซิลิกาที่ไม่ผ่านการปรับปรุง โดยเฉพาะค่าโมดูลัสที่เพิ่มขึ้นถึงเกือบเท่าตัว ซึ่งค่าโมดูลัสแสดงถึงว่ายางมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น และผลการทดสอบการฉีกขาดมีเปอร์เซ็นต์เพิ่มขึ้นมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่ายางธรรมชาติและซิลิกามีการยึดเกาะกันได้ดีมาก เช่นเดียวกันกับการทนต่อการขีดข่วน ซึ่งมีสมบัติที่เพิ่มขึ้น โดยมีเปอร์เซ็นต์การทนต่อการขีดข่วนเพิ่มขึ้นมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ และจากผลการทดสอบสมบัติยาง จะเห็นว่ายางธรรมชาติมีสมบัติโดยรวมที่ดีขึ้นเกือบทุกๆ สภาวะ

4. สรุปผลการทดลอง

ซิลิกาที่ผ่านการปรับปรุงผิวหน้าด้วยขบวนการแอคไมเซลลาร์พอลิเมอไรเซชัน สามารถยืนยันได้ว่ามีพอลิซิลิโคนและพอลิโอไซพรีนเกิดขึ้นจริง และอนุภาคซิลิกามีขนาดใหญ่ขึ้น และมีพื้นที่ผิวลดลง จึงสามารถสรุปได้ว่ามีพอลิเมอร์เข้าไปเกาะบริเวณผิวหน้าของซิลิกาที่ปรับปรุงผิวแล้ว และเมื่อนำซิลิกาที่ผ่านการปรับปรุงผิวแล้วไปผสมกับยางธรรมชาติ พบว่าสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติมีค่าดีกว่าเมื่อผสมกับซิลิกาที่ยังไม่ผ่านการปรับปรุง เช่น ค่าความแข็งที่ผิวหน้า ค่ามอดูลัส ค่าทนต่อการฉีกขาด ค่าทนต่อการขีดข่วน ค่าการกระดอน และค่าการไม่ยุบตัว สำหรับความเหมาะสมที่จะเลือกไปใช้งานจริงนั้นจึงเลือกที่สถานะ โคลโมโนเมอร์ 5 กรัม เวลาทำปฏิกิริยา 30 นาที (SS) เพราะให้คุณสมบัติโดยรวมที่ดีแล้วยังใช้สารเคมีและเวลาน้อยกว่าอีกด้วย โดยยางธรรมชาติที่ผสมกับซิลิกาที่ผ่านการปรับปรุงแล้ว เหมาะสมสำหรับนำไปใช้งานที่ต้องการความทนทาน ทนต่อแรงกระทำ หรืองานที่ต้องการรับแรง

กิตติกรรมประกาศ

ในงานวิจัยนี้ได้รับเงินทุนวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ปี 2548 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ทางคณะผู้จัดทำขอขอบคุณบริษัทโทกุยาม่า สยามซิลิกา จำกัด ที่ให้ซิลิกา TUKUSIL[®]255 เพื่อใช้ในการทดลอง ขอขอบพระคุณ

ดร.นุชนาฏ วัฒนอง จากสถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร ที่ให้ความช่วยเหลือในการทดสอบคุณสมบัติยางขอขอบพระคุณ รศ.ดร.พิชญ์ สุพผล จากวิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ AIBN เพื่อใช้ในการทดลอง ขอขอบพระคุณ วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ใช้สถานที่ และเครื่องมือในการทำการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

- [1] กนกวรรณ จุมที. (2544 มกราคม). ยางธรรมชาติที่มีโปรตีนต่ำ. วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ. 49(155) : 26-28
- [2] พงษ์ธร แสงอุย. (2547). ยางชนิด สมบัติ และการใช้งาน. พิมพ์ครั้งที่ 1. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, ปทุมธานี.
- [3] Chaisirimahamorakot, S.(2001) Modification of Silica Surface for Rubber Reinforcement Using Continuous Admicellar Polymerization System. M.S. thesis, The Petroleum and Petrochemical College, Chulalongkorn University, Bangkok
- [4] Nontason, P., et al. (2005). Admicellar Polymerization Modified Silica via a Continuous Stirred-Tank Reactor System: Comparative Properties of Rubber Compounding. Chemical Engineering Journal. 108 (2005) 213-218
- [5] Chinpan , N.(1996). Comparison of Rubber Reinforcement Using Various Surface Modified Silicas. M.S.f.dthesis, The Petroleum and Petrochemical College ,Chulalongkorn University, Bangkok
- [6] Thammathanakul, V. (1995). Comparison of Rubber Reinforcement Using Various Surface Modified Silicas. M.S. thesis, The Petroleum and Petrochemical College , Chulalongkorn University, Bangkok
- [7] ไกรสิทธิ์ อัมพรายน. (2543). การวัดขนาดอนุภาคและเทคโนโลยีเครื่องมือ. พิมพ์ครั้งที่ 3. บ.โซคอนันต์การพิมพ์และบรรจุกัมพ์ จำกัด , กรุงเทพฯ