

บทบาทของยางอะครีเลตผง (ACMP) ต่อสมบัติต่าง ๆ ของยางไนไตรล์ (NBR)

Roles of Acrylic Rubber Powder (ACMP) on Properties of NBR Vulcanizates

อุทัย เทพสุวรรณ^{1,2} ภูษงค์ ทับทอง^{1,2} พงษ์ธร แซ่อู๋^{1,2} ชاکริต สิริสงฆ์³

¹ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ 114 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถนนพหลโยธิน ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

²ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมยางไทย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ต.ศาลายา อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม 73170

³ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ถ. พระราม 6 ราชเทวี พญาไท กรุงเทพฯ 10400

บทคัดย่อ

จากการศึกษาผลของยางอะครีเลตผง (ACMP) ต่อสมบัติในกระบวนการผลิต สมบัติเชิงกล ความทนทานต่อน้ำมัน รวมถึงความทนทานต่อความร้อนและโอโซนของยางไนไตรล์ (NBR) โดยนำยางอะครีเลตผงปริมาณต่าง ๆ ตั้งแต่ 0 ถึง 40 phr ไปผสมกับยางไนไตรล์ในเครื่องผสมระบบปิด จากนั้นจึงนำยางคอมพาวด์ไปทดสอบสมบัติในกระบวนการผลิต พบว่า การเพิ่มปริมาณยางอะครีเลตผงแม้ว่าจะไม่ส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อความหนืดและระยะเวลาในการคงรูปของยางคอมพาวด์ แต่ก็ส่งผลทำให้ความหนาแน่นของการเชื่อมโยงของโมเลกุลยางมีแนวโน้มลดลง เมื่อนำยางคอมพาวด์ส่วนที่เหลือไปขึ้นรูปและคงรูปเพื่อทดสอบสมบัติต่าง ๆ พบว่า การเพิ่มปริมาณยางอะครีเลตผงนอกจากจะส่งผลทำให้ยางสูญเสียสมบัติความยืดหยุ่นดังจะเห็นได้จากการเพิ่มขึ้นของค่าการเสียรูปถาวรหลังกดหรือการลดลงของค่าการกระเดื่องกระดอนแล้ว ยังส่งผลทำให้สมบัติความต้านทานต่อการขัดถูด้วยด้าย อย่างไรก็ตาม การเพิ่มปริมาณยางอะครีเลตผงดังกล่าวก็ส่งผลในเชิงบวกต่อสมบัติเชิงกลบางประการของยาง เช่น ความแข็ง โมดูลัส การยืดตัว ณ จุดขาด รวมถึงความทนทานต่อแรงดึงและความทนทานต่อการฉีกขาดด้วย แม้ว่าการเติมยางอะครีเลตผงลงไปในยางไนไตรล์จะไม่ได้มีส่วนช่วยในการปรับปรุงสมบัติความทนทานต่อน้ำมันของยาง แต่ยางอะครีเลตผงก็มีส่วนช่วยทำให้ยางไนไตรล์มีสมบัติความทนทานต่อความร้อนและโอโซนดีขึ้นเล็กน้อย

Abstract

The influence of acrylate rubber powder (ACMP) on processability, mechanical properties, oil resistance as well as heat and ozone resistances of acrylonitrile butadiene rubber (NBR) was studied. Various amounts of ACMP, ranging from 0 to 40 phr, were mixed with NBR using an internal mixer. Processability of the rubber compounds was then determined. It is found that, even though increasing ACMP content appeared to have very little effects on Mooney viscosity and curing times of the rubber compounds, it caused the reduction of crosslink density. When the rubber compounds were shaped and cured, determination of vulcanizate properties was then carried out. The results reveal that increasing ACMP content not only ruined the degree of elasticity as can be seen from the increased compression set value or the decreased rebound resilience, but also caused damage to abrasion resistance of the vulcanizates. Increasing ACMP content, however, results in enhancement of some mechanical properties including hardness, modulus, elongation at break, tensile strength and tear strength. Although the addition of ACMP would not cause significant improvement of oil resistance, both heat and ozone resistances of the vulcanizates tend to improve with the presence of ACMP.

คำสำคัญ (Keywords): Acrylonitrile-butadiene rubber (NBR), Acrylic rubber powder (ACMP), Mechanical properties, Oil resistance, Ozone resistance

1. บทนำ

ยางไนไตรล์หรือยางอะคริโลไนไตรล์บิวตาไดอิน (NBR) เป็นโคพอลิเมอร์ของอะคริโลไนไตรล์และบิวตาไดอิน โดยมีสัดส่วนของอะคริโลไนไตรล์ตั้งแต่ 18-51% เนื่องจากยางไนไตรล์จัดเป็นยางที่มีความเป็นขี้ผึ้ง จึงทำให้ยางชนิดนี้สามารถทนทานต่อน้ำมันปิโตรเลียมและตัวทำละลายที่ไม่มีขี้ผึ้งต่าง ๆ ได้ดี จากการศึกษาที่พบว่าไนไตรล์ไม่สามารถตกผลึกได้เมื่อถูกยืด จึงทำให้มีค่าความทนทานต่อแรงดึง 100% มอดุลัส การยืดตัว ณ จุดขาด และความทนทานต่อแรงฉีกขาดที่ต่ำและไม่ทนต่อสภาพอากาศและโอโซน ดังนั้นจึงมีการปรับปรุงสมบัติของยาง NBR โดยใช้วิธีต่างๆ เช่นการเติมสารตัวเติมเสริมแรงลงไปเพื่อช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกลของยางให้ดีขึ้น [1-3] หรือการใช้เทคโนโลยียางผสม (Rubber blend technology) ซึ่งกำลังเป็นที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบันเพราะเป็นวิธีที่สามารถรวมเอาสมบัติเด่นของยางแต่ละชนิดเข้าไว้ด้วยกันโดยไม่ต้องใช้ชั้นตอนที่ซับซ้อนและมีต้นทุนต่ำกว่าวิธีการอื่น ๆ เช่น การตัดแปรทางเคมี (Chemical modification) เป็นต้น อย่างไรก็ตามการนำเทคโนโลยียางผสมไปประยุกต์ใช้จำเป็นต้องทำด้วยความระมัดระวังเพราะว่าสมบัติของยาง

ผสมขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ [4-9] เช่น สัดส่วนการผสม แรงยึดติดระหว่างวัฏภาค การกระจายตัวของสารเคมี ระดับการเชื่อมโยงในแต่ละวัฏภาค รวมถึงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของยางด้วย

ยางพอลิอะคริเลตหรือยางอะคริเลต (ACM) เป็นโคโพลิเมอร์ของอะคริเลตและมอนอเมอร์ที่ว่องไวต่อการคงรูป (Cure site monomer) เนื่องจากแกนสายโซ่หลักของยางชนิดนี้มีเฉพาะพันธะเดี่ยว ยางอะคริเลตจึงมีความทนทานต่อความร้อนและโอโซนดีเยี่ยม ส่วนหมู่เอสเทอร์ที่มีอยู่ในโครงสร้างโมเลกุลก็ทำให้ยางชนิดนี้มีความทนทานต่อน้ำมันอยู่ในเกณฑ์ที่ดีถึงดีมาก [1] ทั้งนี้ สมบัติความทนทานต่อน้ำมันจะขึ้นอยู่กับชนิดของอะคริเลตมอนอเมอร์ที่มีอยู่ภายในโมเลกุล อย่างไรก็ตามยางชนิดนี้ก็ยังมีข้อด้อยหลักคือยางค่อนข้างแข็ง มีความยืดหยุ่นต่ำ อีกทั้งยังมีราคาแพง ทำให้ขอบเขตการประยุกต์ใช้งานของยางชนิดนี้ยังคงมีข้อจำกัด ปัจจุบัน ได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตยางอะคริเลตผง (Acrylate rubber powder; ACMP) ที่มีขนาดของอนุภาคเล็กมากโดยการนำน้ำอะคริเลตไปทำการคงรูปด้วยการฉายรังสีที่มีพลังงานสูง จากนั้นจึงใช้เทคนิคการทำให้แห้งแบบพ่นฝอย (Spray-dry) เพื่อทำให้ยางแห้งและเป็นผงละเอียด [10] แม้ว่าเดิมทีการผลิตยางผงชนิดต่าง ๆ รวมถึงยางอะคริเลตผงจะมีเป้าหมายเพื่อนำไปใช้เป็นส่วนประกอบในการผลิตเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์หรือเพื่อใช้เป็นสารช่วยเพิ่มความทนทานต่อแรงกระแทกให้แก่พลาสติกบางชนิด [11-14] แต่การนำยางอะคริเลตผงมาใช้เพื่อปรับปรุงสมบัติของยางบางชนิดก็นับเป็นเรื่องที่น่าสนใจ ด้วยเหตุนี้งานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์หลักเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการนำยางอะคริเลตผงไปใช้ในการปรับปรุงสมบัติบางประการของยางไนไตรล์

2. วิธีการวิจัย

2.1 วัสดุ

ยางไนไตรล์ (NBR; JSR N230SL) ที่ใช้ในการวิจัยนี้ได้จากบริษัทไทยบารุงเคมีเคิล จำกัด ส่วนยางอะคริเลตผง (ACMP) เป็นยางผงที่ผลิตโดยบริษัท SINOPEC Beijing Research Institute of Chemical Industry, ประเทศจีน โดยมีชื่อทางการค้าว่า Narpow™ VP-301 ซึ่งผู้ผลิตอ้างว่ายางผงดังกล่าวมีขนาดอนุภาคปฐมภูมิเฉลี่ย 50-100 นาโนเมตร ส่วนสารเคมีชนิดอื่น ๆ ที่ใช้เป็นส่วนประกอบในการเตรียมยางคอมพาวด์ ได้แก่ ซิงก์ออกไซด์ (ZnO) กรดสเตียริก (Stearic acid) และกำมะถัน (S₈) ได้รับจากบริษัท เคมีมิน คอร์ปอเรชั่น จำกัด ส่วนสารตัวเร่งปฏิกิริยาที่นำมาใช้คือ บิวทิล-2-เบนโซโซโรซิลซัลไฟนาไมด์ (Santocure® TBBS) และเตตระเบนซิลไทยเรมไดซัลไฟล์ (Perkasit® TBzTD) เป็นสารเคมีที่ได้รับจากบริษัทริไลแอนซ์ เทคโนโลยี (Flexsys) จำกัด และน้ำมันไฮโดรลิก (TELLUS 100) ผลิตโดยบริษัทเชลล์ (ประเทศไทย) จำกัด

2.2 การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของยางอะครีเลตผสม

ดำเนินการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของยางอะครีเลตผสมโดยการโปรยขยายผงลงบนฐานรองแล้วทำการเคลือบด้วยทองคำก่อนที่จะศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope (SEM), JEOL JSM-6301F)

2.3 การเตรียมและทดสอบสมบัติของยางคอมพาวด์

ดำเนินการผสมเคมียางในเครื่องผสมระบบปิด (Brabender 350E) ตามสูตรที่แสดงในตารางที่ 1 โดยตั้งอุณหภูมิเริ่มต้นของห้องผสมเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการหมุนของโรเตอร์เท่ากับ 40 รอบต่อนาที และใช้ fill factor เท่ากับ 0.7 โดยเริ่มต้นทำการบดยางในไดรฟ์เป็นระยะเวลา 2 นาที จากนั้นเติมซิงก์ออกไซด์และกรดสเตียริกแล้วผสมต่ออีก 2 นาทีจึงเติมยางอะครีเลตผสม หลังจากนั้นอีก 3 นาที จึงเติมสารตัวเร่งปฏิกิริยา (TBBS และ TBzTD) และกัมมะถันลงไปพร้อมกันแล้วผสมต่ออีกเป็นระยะเวลา 3 นาทีก่อนที่จะนำยางคอมพาวด์ไปรีดให้เป็นแผ่นด้วยเครื่องรีดแบบ 2 ลูกกลิ้ง (Two-roll mill, Collin W100T) จากนั้นจึงแบ่งยางคอมพาวด์ออกเป็น 3 ส่วน ส่วนแรกนำไปวัดค่าความหนืดมูนีตามมาตรฐาน ISO R289 ด้วยเครื่อง Mooney viscometer (TechPRO visc Tech+) ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ส่วนที่ 2 นำไปหาระยะเวลาสกอร์ช (Scorch time, t_{50}) และระยะเวลาในการคงรูปที่เหมาะสม (Optimum cure time, t_{c90}) ด้วยเครื่อง Moving Die Rheometer (MDR TechPRO MD+) ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส และส่วนที่ 3 นำไปขึ้นรูปสำหรับทดสอบสมบัติต่างๆ ของยางคงรูปในลำดับต่อไป

2.4 การเตรียมและทดสอบสมบัติของยางคงรูป

นำยางคอมพาวด์ไปขึ้นรูปและคงรูปด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ตามระยะเวลาในการคงรูปที่เหมาะสมของยาง จากนั้นจึงนำยางคงรูปที่ได้ไปทดสอบสมบัติเชิงกล ได้แก่ ความแข็ง (Hardness) ตามมาตรฐาน ISO 7619 (Part 1) การเสียรูปถาวรหลังกด (Compression set) ตามมาตรฐาน ISO 815 (Method B) โดยทำการทดสอบที่อุณหภูมิห้อง (23 องศาเซลเซียส) และที่อุณหภูมิสูง (100 องศาเซลเซียส) เป็นระยะเวลา 22 ชั่วโมง การกระเด็นตัวตามมาตรฐาน ISO 4662 ความต้านทานต่อการขัดถู (Abrasion resistance) ตามมาตรฐาน DIN 53516 ความทนทานต่อการฉีกขาด (Tear strength) ตามมาตรฐาน ISO 34 (die B) ความทนทานต่อแรงดึงตามมาตรฐาน ISO 37 (die type 1) นอกจากนี้ ยังได้ทำการทดสอบสมบัติความทนทานต่อน้ำมันตามมาตรฐาน ISO 1817 โดยนำชิ้นทดสอบไปแช่น้ำมันไฮดรอลิก (Shell-Tellus 100) เป็นระยะเวลา 7 วัน ที่อุณหภูมิห้อง (23 องศาเซลเซียส) ในงานวิจัยนี้ได้แสดงสมบัติความทนทานต่อน้ำมันของยางทั้งในรูปแบบของร้อยละการบวมตัว (% swelling) และสมบัติสัมพัทธ์ซึ่งก็คืออัตราส่วนของสมบัติของยางหลังแช่น้ำมันต่อสมบัติของยางก่อนแช่น้ำมัน ทดสอบสมบัติความทนทานต่อความร้อนตามมาตรฐาน ISO 188 โดยการนำ

ขึ้นทดสอบไปบ่มเร่งในตู้อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 70 ชั่วโมงก่อนที่จะนำขึ้นทดสอบไปวัดค่าความทนทานต่อแรงดึงและแสดงผลการทดสอบในรูปของความทนทานต่อแรงดึงสัมพัทธ์ ซึ่งก็คืออัตราส่วนของสมบัติของยางหลังการบ่มเร่งต่อสมบัติของยางก่อนการบ่มเร่งนั่นเอง ทดสอบสมบัติความต้านทานต่อโอโซนตามมาตรฐาน ISO 1431-1 ด้วยเครื่อง QUV ozone resistance tester (Toyoseiki) ด้วยการนำขึ้นทดสอบรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 10 x 80 x 2 มิลลิเมตร มาดัดยืดเป็นระยะ 20% ของความยาวตั้งต้น จากนั้นนำขึ้นทดสอบไปปรับสภาวะในตู้อบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง ก่อนที่จะนำขึ้นทดสอบไปทดสอบในตู้อบโอโซนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีระดับความเข้มข้นของโอโซนเท่ากับ 50 ส่วนในร้อยล้านส่วน (pphm) และทำการทดสอบเป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง และท้ายสุดได้ทำการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของยางคงรูปโดยนำขึ้นทดสอบไปตัดด้วยเครื่อง ไมโครโทมที่อุณหภูมิต่ำเพื่อเตรียมพื้นผิวให้ราบเรียบ จากนั้นจึงศึกษาสัณฐานวิทยาของยางด้วยเครื่อง Atomic Force Microscope (AFM, Multimode Nanoscope IIIA)

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

3.1 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของยางอะครีเลตผง

รูปที่ 1 แสดง SEM ไมโครกราฟของยางอะครีเลตผงที่กำลังขยาย 300 เท่า จากรูปพบว่ายางอะครีเลตผงมีลักษณะเป็นรูปทรงกลมและมีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคที่ค่อนข้างกว้าง เนื่องจากผู้ผลิตได้อ้างว่ายางอะครีเลตผงมีขนาดอนุภาคปฐมภูมิอยู่ในช่วง 50-100 นาโนเมตร แต่จากรูปจะเห็น ได้อย่างชัดเจนว่ายางผงมีขนาดอนุภาคค่อนข้างใหญ่ในระดับไมครอน ด้วยเหตุนี้ จึงมีความเป็นไปได้ว่าขนาดของยางผงที่มองเห็นจากรูปที่ 1 นั้นอาจไม่ใช่ขนาดที่แท้จริงของอนุภาคปฐมภูมิ แต่เป็นขนาดของแอกรีเกตที่เกิดจากอนุภาคปฐมภูมิจำนวนมากมาเกาะกลุ่มกัน ซึ่งการเกาะกลุ่มกันเป็นแอกรีเกตดังกล่าวคาดว่าจะเกิดขึ้นในขั้นตอนของการทำให้แห้งแบบพ่นฝอย เพราะความร้อนที่จำเป็นต้องใช้ในขั้นตอนนี้อาจทำให้อนุภาคปฐมภูมิเกิดการหลอมรวมตัวกันเป็นแอกรีเกตที่มีขนาดใหญ่ในระดับไมครอน

3.2 สมบัติในกระบวนการผลิต (Processability)

ตารางที่ 2 แสดงผลของปริมาณยางอะครีเลตผงต่อความหนืดมูนีและลักษณะการคงรูปของยางไนไตรล์ จากตารางพบว่า ยางคอมพาวด์ที่ไม่มีการเติมยางอะครีเลตผงลงไปมีความหนืดค่อนข้างต่ำ ทั้งนี้เพราะยางไนไตรล์เกรดที่นำมาใช้ในการทดลองนี้เป็นยางที่มีความหนืดเริ่มต้นต่ำเพียงแค่ 42 MU เมื่อนำยางมาทำการผสมเคมียาง แรงเฉือนที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการผสมจะส่งผลทำให้ความหนืดของยางลดลง (ยางคอมพาวด์มีความหนืดประมาณ 34 MU) จากการสังเกตพบว่าการเพิ่มปริมาณยางอะครีเลตผงไม่ได้ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความหนืดของยางคอมพาวด์ แม้ว่ายาง

อะครีเลตผงจะมีลักษณะเป็นผงแข็ง ณ อุณหภูมิห้อง แต่เมื่อได้รับความร้อนจนมีอุณหภูมิสูงกว่า 60 องศาเซลเซียส ขางอะครีเลตก็จะเริ่มอ่อนตัวและยังคงมีความสามารถในการไหลได้ในระดับหนึ่ง ทั้งนี้เพราะยางชนิดนี้มีความเป็นพลาสติกค่อนข้างสูง จากผลการทดลองทำให้สามารถตั้งข้อสันนิษฐานได้ว่าขางอะครีเลตผงซึ่งเกิดการอ่อนตัวด้วยความร้อน ณ อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ยังคงมีความเหนียวสูงใกล้เคียงกับความเหนียวของยางไนไตรล์ ด้วยเหตุนี้ การปรับเปลี่ยนปริมาณของขางอะครีเลตผงจึงไม่ได้ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความเหนียวของขางคอมพาวด์ แม้ว่าผลการทดลองจะบ่งชี้ว่าปริมาณของขางอะครีเลตผงไม่ได้ส่งผลกระทบต่อระยะเวลาสกอรัชและระยะเวลาในการคงรูปของขางอย่างมีนัยสำคัญ แต่การเติมขางอะครีเลตผงลงไปก็ส่งผลกระทบต่อระยะเวลาของขางอย่างมีนัยสำคัญ แต่จากการลดลงอย่างต่อเนื่องของค่าผลต่างแรงบิดตามการเพิ่มปริมาณของขางอะครีเลตผง

3.3 สมบัติเชิงกล (Mechanical properties)

รูปที่ 2 แสดงผลของปริมาณขางอะครีเลตผงต่อความแข็งและ 100% มอดูลัสของขางคงรูป แม้ว่า การเติมขางอะครีเลตผงลงไปจะส่งผลทำให้ขางคงรูปมีระดับความหนาแน่นของการเชื่อมโยงลดลง ซึ่งน่าจะส่งผลทำให้ขางมีความแข็งและมอดูลัสลดลงด้วย แต่จากรูปกลับพบว่าทั้งค่าความแข็งและ 100% มอดูลัสของขางมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามการเพิ่มปริมาณขางอะครีเลตผง ทั้งนี้ การเพิ่มขึ้นของค่าความแข็งและมอดูลัสดังกล่าวคาดว่าจะเป็นผลจากผลของการเจือจางหรือ “dilution effect” เพราะขางอะครีเลตผงมีความแข็ง (ณ อุณหภูมิห้อง) สูงกว่ายางไนไตรล์ค่อนข้างมาก (ยางมีลักษณะเป็นผงละเอียดแข็งคล้ายสารตัวเติม) การเพิ่มปริมาณขางอะครีเลตผงจึงส่งผลทำให้สัดส่วนของยางไนไตรล์ลดลง ดังนั้น ความแข็งและมอดูลัสของขางจึงเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณของขางอะครีเลตผง

เนื่องจากขางอะครีเลตจัดเป็นขางที่มีความยืดหยุ่นต่ำหรือมีความเป็นพลาสติกสูง ดังนั้น การเติมขางอะครีเลตผงลงไปไนยางไนไตรล์จึงส่งผลทำให้ขางคงรูปที่ได้มีความยืดหยุ่นลดต่ำลง ดังจะเห็นได้จากการเพิ่มขึ้นของค่าการเสียรูปถาวรหลังกดทั้งที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิสูง (รูปที่ 3) ซึ่งการลดลงของระดับความยืดหยุ่นตามปริมาณของขางอะครีเลตผงนั้นนอกจากจะเกิดจากผลของการเจือจางแล้ว ยังเกิดจากผลของการลดลงของระดับความหนาแน่นของการเชื่อมโยงด้วย เมื่อเปรียบเทียบที่ปริมาณขางอะครีเลตผงเท่ากันจะพบว่า การเสียรูปถาวรหลังกดที่อุณหภูมิสูงมีค่าสูงกว่าการเสียรูปถาวรหลังกดที่อุณหภูมิต่ำค่อนข้างมาก ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากยางไนไตรล์มีความทนทานต่อการเสื่อมสภาพอันเนื่องมาจากความร้อนต่ำ ดังนั้น เมื่อได้รับการบ่มเร่งด้วยความร้อนในระหว่างการทดสอบ ขางจึงเกิดการเสื่อมสภาพค่อนข้างมากส่งผลทำให้ความยืดหยุ่นของขางลดลง ค่าการเสียรูปถาวรหลังกดของขางจึงสูงขึ้นเมื่อทำการทดสอบที่อุณหภูมิสูง

นอกจากการเพิ่มขึ้นของค่าการเสียดรูปถาวรหลังกดแล้ว การลดลงของค่าการกระเดื่องตัวดังแสดงในรูปที่ 4 ก็เป็นอีกหลักฐานหนึ่ง que แสดงให้เห็นถึงการลดลงของระดับความยืดหยุ่นของยางตามการเพิ่มปริมาณยางอะครีเลตผง ทั้งนี้ เนื่องจากเป็นที่ทราบกันดีว่าการกระเดื่องกระดอนเป็นสมบัติที่แปรผันโดยตรงกับระดับความยืดหยุ่นของยาง

รูปที่ 5 แสดงผลของปริมาณยางอะครีเลตผงต่อความทนทานต่อแรงดึงและการยืดตัว ณ จุดขาดของยาง จากผลการทดลองพบว่าทั้งค่าความทนทานต่อแรงดึงและการยืดตัว ณ จุดขาดมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องตามปริมาณของยางอะครีเลตผงที่เติมลงไป การเพิ่มขึ้นของค่าความทนทานต่อแรงดึงนั้นคาดว่าจะเป็นสาเหตุจากการเสริมแรงของยางอะครีเลตผงที่มีลักษณะเป็นผงแข็ง ณ อุณหภูมิห้อง เมื่อเติมลงไปในช่วงไนไตรล์ ยางอะครีเลตผงจึงทำหน้าที่เสมือนเป็นสารตัวเติมเสริมแรงชนิดหนึ่งที่มีอันตรกิริยากับยางไนไตรล์สูง เพราะทั้งยางอะครีเลตและยางไนไตรล์ต่างก็เป็นยางที่มีความเป็นขั้วสูง โมเลกุลของยางทั้ง 2 ชนิดนี้จึงมีแรงกระทำระหว่างกันสูงตามไปด้วย (เพราะดึงดูดกันด้วยแรงไดโพล-ไดโพล) ส่วนการเพิ่มขึ้นของค่าการยืดตัว ณ จุดขาดตามการเพิ่มปริมาณของยางอะครีเลตผงนั้น คาดว่าจะเป็นสาเหตุจากการลดลงของระดับความหนาแน่นของการเชื่อมโยงที่มีผลต่อค่าการยืดตัว ณ จุดขาดของยางเด่นชัดกว่าผลของการเงือจาง เพราะเป็นที่ทราบกันดีว่ายางอะครีเลตเป็นยางที่มีความเป็นพลาสติกสูง มีความยืดหยุ่นต่ำ และยืดตัวได้น้อย ดังนั้นการเติมยางอะครีเลตผงลงไปในช่วงไนไตรล์จึงควรส่งผลทำให้ระดับการยืดตัวของยางคงรูปลดลงเพราะเป็นผลจากการเงือจาง แต่ในเวลาเดียวกัน การเติมยางอะครีเลตผงลงไปก็ส่งผลทำให้ยางมีระดับความหนาแน่นของการเชื่อมโยงลดลงค่อนข้างมากดังจะเห็นได้จากการลดลงของค่าผลต่างแรงบิดตามการเพิ่มปริมาณของยางอะครีเลตผงที่แสดงไว้ในตารางที่ 2

จากการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของยางไนไตรล์ที่มีการเติมยางอะครีเลตผงลงไป ปริมาณต่าง ๆ ด้วยเครื่อง AFM ได้ผลการศึกษาดังแสดงในรูปที่ 6 ซึ่งพื้นที่สีเข้มแสดงวัฏภาคของยางไนไตรล์และพื้นที่สีอ่อนแสดงวัฏภาคของยางอะครีเลต จากรูปจะเห็นว่าเมื่อเติมยางอะครีเลตผงลงไป ปริมาณ 10 phr วัฏภาคของยางอะครีเลตจะมีรูปร่างเป็นก้อนกลมขนาดค่อนข้างเล็ก (ต่ำกว่า 2 ไมครอน) และมีการกระจายตัวในยางไนไตรล์ค่อนข้างดี ลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่ดีดังกล่าวคาดว่าจะเป็นสาเหตุจากอันตรกิริยาที่สูงระหว่างยางไนไตรล์และยางอะครีเลตดังที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้นนั่นเอง เมื่อทำการเพิ่มปริมาณยางอะครีเลตผงให้สูงขึ้นจนถึงระดับ 30 หรือ 40 phr พบว่าวัฏภาคของยางอะครีเลตมีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งการเพิ่มขึ้นของขนาดวัฏภาคดังกล่าวจะเกิดจากการเข้าร่วมตัวกัน (coalescence) ของอนุภาคยางผงในระหว่างกระบวนการผสม นอกจากนี้ จากการสังเกตจะพบว่าวัฏภาคของยางอะครีเลตที่แสดงในรูปที่ 6 มีขนาดเล็กกว่าอนุภาคยางผงที่แสดงในรูปที่ 1 ค่อนข้างมาก ดังนั้น ผลการทดลองจึงยืนยันว่าอนุภาคยางผงที่เห็นในรูปที่ 1 นั้นไม่ได้อยู่ในรูปของอนุภาคปฐมภูมิ แต่อยู่ในรูปของแอกกรีเกตที่สามารถเกิดการแตกตัวได้เมื่อได้รับแรงเฉือน

รูปที่ 7 แสดงผลของปริมาณยางอะครีเลตผดต่อสมบัติความทนทานต่อการฉีกขาดและความต้านทานต่อการขีดข่วนของยางคงรูป จากรูปจะเห็นได้ว่าการเพิ่มปริมาณยางอะครีเลตผดส่งผลในเชิงบวกต่อค่าความทนทานต่อการฉีกขาด (เช่นเดียวกับค่าความทนทานต่อแรงดึง) ซึ่งสามารถอธิบายผลการทดลองโดยใช้เหตุผลเดียวกัน นอกจากนี้ การเพิ่มขึ้นของค่าความทนทานต่อการฉีกขาดยังอาจมีสาเหตุมาจากการลดลงของระดับความหนาแน่นของการเชื่อมโยงได้ด้วย เพราะโดยทั่วไปแล้ว ยางที่มีระดับความหนาแน่นของการเชื่อมโยงต่ำจะมีสมบัติความทนทานต่อการฉีกขาดสูงกว่ายางที่มีระดับความหนาแน่นของการเชื่อมโยงสูง [15] แม้ว่าการเติมยางอะครีเลตผดจะส่งผลทำให้ยางมีสมบัติเชิงกลส่วนใหญ่ดีขึ้น แต่เมื่อพิจารณาผลของยางอะครีเลตผดต่อสมบัติความต้านทานต่อการขีดข่วนซึ่งแสดงผลการทดสอบในรูปของปริมาตรที่สูญหาย (cm³) กลับพบว่าการเพิ่มปริมาณของยางอะครีเลตผดส่งผลเสียต่อสมบัติความต้านทานต่อการขีดข่วนของยางเพราะผลการทดลองบ่งชี้ว่าปริมาตรที่สูญหายของยางมีแนวโน้มสูงขึ้นตามการเพิ่มปริมาณยางอะครีเลตผด ที่เป็นเช่นนี้คาดว่าน่าจะเกิดจากผลของการเงี้ยวและการลดลงของระดับความหนาแน่นของการเชื่อมโยงนั่นเอง

3.4 ความทนทานต่อน้ำมัน (Oil resistance)

ผลของปริมาณยางอะครีเลตผดต่อสมบัติความทนทานต่อน้ำมันของยางคงรูปได้แสดงไว้ในรูปที่ 8 จากรูปพบว่าการเพิ่มปริมาณของยางอะครีเลตผดไม่ได้ส่งผลกระทบบ่อย่างมีนัยสำคัญต่อสมบัติความทนทานต่อน้ำมันของยางไนไตรล์แต่อย่างใด เพราะการปรับเพิ่มปริมาณยางอะครีเลตผดส่งผลเพียงเล็กน้อยเท่านั้นต่อค่าการบวมพองในน้ำมันและค่าความทนทานต่อแรงดึงสัมพัทธ์ของยาง แม้ว่าการเติมยางอะครีเลตผดลงไปจะส่งผลทำให้ความหนาแน่นของการเชื่อมโยงในโมเลกุลยางลดลงซึ่งควรจะส่งผลในเชิงลบต่อสมบัติความทนทานต่อน้ำมัน แต่เนื่องจากผลการทดลองในงานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่าสมบัติความทนทานต่อน้ำมันของยางไม่ได้เปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้น จึงมีความเป็นไปได้ว่ายางอะครีเลตผดที่เติมลงไปนั้นมีความเป็นขี้สูงกว่ายางไนไตรล์เล็กน้อย การเติมยางอะครีเลตผดลงไปจึงส่งผลทำให้ยางคงรูปมีระดับความเป็นขี้สูงขึ้น ซึ่งผลของการเพิ่มขึ้นของระดับความเป็นขี้จะเข้าไปหักล้างกับผลของการลดลงของระดับความหนาแน่นของการเชื่อมโยง จึงทำให้สมบัติความทนทานต่อน้ำมันของยางไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ

3.5 ความทนทานต่อความร้อนและโอโซน (Heat and Ozone resistance)

จากการศึกษาสมบัติความทนทานต่อความร้อนของยางคงรูปที่มีการเติมยางอะครีเลตผดในปริมาณต่าง ๆ (รูปที่ 9) พบว่าการเพิ่มปริมาณยางอะครีเลตผดส่งผลทำให้ค่าความทนทานต่อแรงดึงสัมพัทธ์มีแนวโน้มสูงขึ้นเล็กน้อย หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือการเติมยางอะครีเลตผดลงไปสามารถช่วยทำให้ยางไนไตรล์มีสมบัติความทนทานต่อความร้อนสูงขึ้น ทั้งนี้ การปรับปรุงสมบัติความทนทานต่อความร้อนดังกล่าวคาดว่าน่าจะเกิดจากผลของการเงี้ยว เพราะยางอะครีเลตเป็นยางที่

อิมตัว นั่นคือแกนสายโซ่หลักของโมเลกุลมีเฉพาะพันธะเดี่ยวเท่านั้น ขางชนิดนี้จึงมีความทนทานต่อความร้อนและโอโซนอยู่ในเกณฑ์ที่ดีเยี่ยม ด้วยเหตุนี้ การเพิ่มปริมาณของยางอะครีเลตจึงส่งผลทำให้ยางไนไตรล์ (ที่เกิดการเชื่อมสภาพได้ง่ายกว่า) มีสัดส่วนที่ลดลง ขางคงรูปที่ได้จึงมีสมบัติความทนทานต่อความร้อนสูงขึ้น นอกจากนี้ การเติมยางอะครีเลตลงไปไนยางไนไตรล์ยังมีส่วนช่วยในการปรับปรุงสมบัติความทนทานต่อโอโซนของยางคงรูปด้วย เพราะจากผลการทดสอบที่แสดงในรูปที่ 10 พบว่าชิ้นทดสอบที่ไม่มีการเติมยางอะครีเลตจะมีรอยแตกขนาดใหญ่และลึกอยู่เป็นจำนวนมากอยู่บนพื้นผิว แต่เมื่อทำการเติมยางอะครีเลตลงไปปรากฏว่ารอยแตกที่พบอยู่บนพื้นผิวของชิ้นทดสอบมีระดับของความรุนแรงลดลง (มีขนาด ความลึก และจำนวนลดลง) ซึ่งการปรับปรุงสมบัติความทนทานต่อโอโซนนั้นก็เกิดจากผลของการเจือจางดังที่ได้กล่าวไว้แล้วนั่นเอง

4. สรุปผลการทดลอง

แม้ว่ายางอะครีเลตจะมีลักษณะเป็นผงละเอียดแข็งที่อุณหภูมิห้อง แต่เมื่อได้รับความร้อนยางจะเริ่มอ่อนตัว จึงทำให้การเติมยางลงไปไนยางไนไตรล์ไม่ได้ส่งผลกระทบต่อความหนืด รวมถึงระยะเวลาในการคงรูปของยางคอมพาวด์อย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากยางอะครีเลตมีความแข็งแรงสูงและมีความยืดหยุ่นต่ำ อีกทั้งยังทำให้ยางไนไตรล์มีระดับความหนาแน่นของการเชื่อม โยงลดลง ดังนั้น การเพิ่มปริมาณของยางอะครีเลตจึงส่งผลเสียต่อระดับความยืดหยุ่นของยางคงรูป แม้ว่าการเพิ่มปริมาณของยางอะครีเลตจะส่งผลทำให้ยางคงรูปมีความต้านทานต่อการขัดถูด้วยล้อ แต่การเพิ่มปริมาณของยางอะครีเลตดังกล่าวก็ส่งผลทำให้ยางคงรูปมีความทนทานต่อแรงดึง ความทนทานต่อการฉีกขาด มอดูลัส ความแข็งแรง และการยืดตัว ณ จุดขาดสูงขึ้น และถึงแม้ว่าการเพิ่มปริมาณของยางอะครีเลตจะไม่ได้มีส่วนช่วยในการปรับปรุงสมบัติความทนทานต่อน้ำมันของยาง แต่การเพิ่มปริมาณของยางอะครีเลตดังกล่าว ส่งผลทำให้ยางคงรูปมีสมบัติความทนทานต่อความร้อนและโอโซนสูงขึ้นเล็กน้อย

เอกสารอ้างอิง

- [1] พงษ์ธร แซ่ฮุย, ยาง: ชนิด สมบัติ และการใช้งาน. พิมพ์ครั้งที่ 2, ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค), 2548, 25 p, 114-115p
- [2] กุซงค์ ทับทอง, ชาคริต สิริสิงห และพงษ์ธร แซ่ฮุย ผลของคลอรีเนตเตดพาราฟินต่อสมบัติของยางไนไตรล์ที่เสริมแรงด้วยซิลิกา. วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง, 2550, 16(1), 33-46p
- [3] กุซงค์ ทับทอง, ชาคริต สิริสิงห และพงษ์ธร แซ่ฮุย ผลของคลอรีเนตเตดพาราฟินต่อสมบัติของยางไนไตรล์ที่เสริมแรงด้วยเขม่าดำ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ภาษาไทย) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2551, 16(2), 17-27p

- [4] Sirisinha, C., Thunyarittikorn, J. and Yartpakdee, S. "A study of carbon black distribution in BR/NBR blends, based on damping properties: Effect of some grades of carbon black Plastics." **Rub. Compos. Process. App.**, 1998, 27, 373-375.
- [5] Sirisinha, C. and Prayoonchatphan, N. "Study of carbon black distribution in BR/NBR blends: Influences of carbon black particle size, filler and rubber polarity." **J. App. Polym. Sci.**, 2001, 81, 3198-3203.
- [6] Andrew, J. T. and Kevin, P. J. "Blend of Natural Rubber: Novel Techiques for Blending with Speciality Polymers. London. Chapman and Hall. P. 2.
- [7] Sirinha, C., Baulek-Limcharoen, S. And Thuyarittikorn, J. "Relationships among Blending Condition, Size of Dispersed Phase, and Oil Resistance in Natural Rubber and Nitrile Rubber Blends." **J. App. Polym. Sci.**, 2001, 82, 3442-3447.
- [8] Sirinha, C., Limcharoen, S. and Thunyarittikron, J. "Oil Resistance Controlled by Phase Morphology in Natural Rubber/Nitrile Rubber Blends." **J. App. Polym. Sci.**, 2003, 87, 83-89.
- [9] Kanika de Silva, K.G. and Michael, V.L. Improving the Morphology and properties of NR/NBR Blends with NR/PMMA Graft Copolymers. In Andrew, J.T. and Kevin, P.J. Blends of Natural Rubber: Novel Techniques for blending with Speciality Polymer. London. Chapman and Hall. 1998 P.68.
- [10] Qiao, J., Wei, G., Zhang, X., Gao, J., Zhang, W., Liu, Y., Li, J., Zhang, F., Zhai, R., Shao, J., Yan, K. and Yin, J. 2000. U.S. Pat. 6, 423, 760.
- [11] Zhang, M., Liu, Y., Zhang, X., Gao, J., Huang, F., Song, Z., Wei, G. and Qiao, J. "The Effect of Elastomeric Nano-Particles on the Mechanical Properties and Crystallization Behavior of Polypropylene." **Polymer**, 2002, 43, 5133-5138.
- [12] Peng, J., Zhang, X., Qiao, J and Wei, G. "Radiation Preparation of Ultrafine Carboxylated Styrene-Butadiene Rubber Powder and Application for Nylon 6 as an Impact Modifier." **J. App. Polym. Sci**, 2002, 86, 3040-3046.
- [13] Liu, Y., Zhang, X., Gao, J., Huang, F., Tan, B., Guo, M., Wei, G. And Qiao, J. "Toughening of Polypropylene by Combined Rubber System of Ultrafine Full-Vulcanized Powdered Rubber and SBS." **Polymer**, 2004, 45, 275-286.
- [14] Liua, Y., Fana, Z., Maa, H., Tana, Y. And Qiao, J. "Application of Nano Powderred Rubber in Friction Materials." *Wear* 261(2), 225-229.

[15] John, S. D. "Rubber Technology: Compounding and Testing for Performance." Munich. Hanser Publishers. 2001. P.47

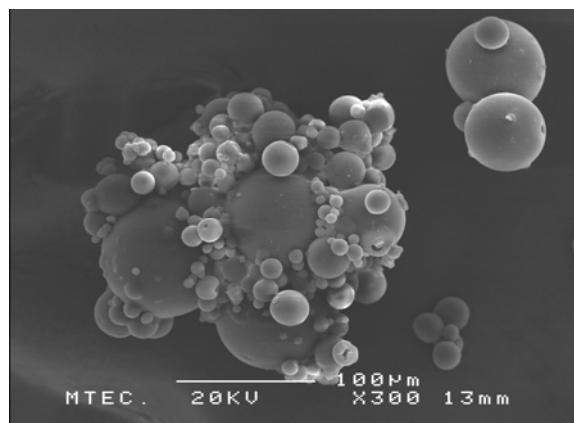
ตารางที่ 1 สูตรการผสมเคมีของยางคอมพาวด์

ส่วนประกอบ	ปริมาณ (phr)				
	ยางไนไตรล์	100	100	100	100
ยางอะครีเลตผง	0	10	20	30	40
ซิงก์ออกไซด์	5	5	5	5	5
กรดสเตียริก	2	2	2	2	2
บิวทิล-2-เบนโซโซโรซิลซัลไฟน์ไมด์ (Santocure® TBBS)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
เตตระเบนซิลไทยเรมไดซัลไฟล์ (Perkasit® TBzTD)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
กำมะถัน	2	2	2	2	2

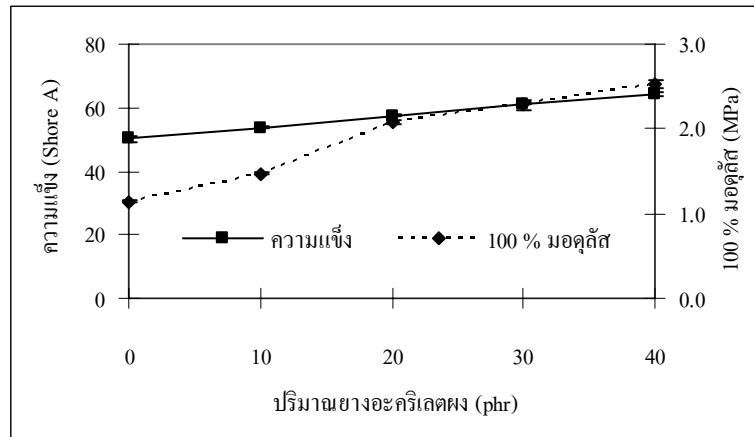
ตารางที่ 2 ผลของปริมาณยางอะครีเลตผงต่อความหนืดมูนนี่และลักษณะการคงรูปของยางคอมพาวด์

ปริมาณยางอะครีเลตผง (phr)	ความหนืดมูนนี่* (MU)	ลักษณะการคงรูป		
		ระยะเวลาในการคงรูป t_{c90} (นาที)	ระยะเวลาสกอรัช t_{s1} (นาที)	ผลต่างของแรงบิด (dNm)
0	33.8	9.69	5.53	0.79
10	35.9	8.33	5.11	0.67
20	35.6	8.17	4.96	0.57
30	34.6	7.93	4.91	0.48
40	35.2	8.12	5.00	0.41

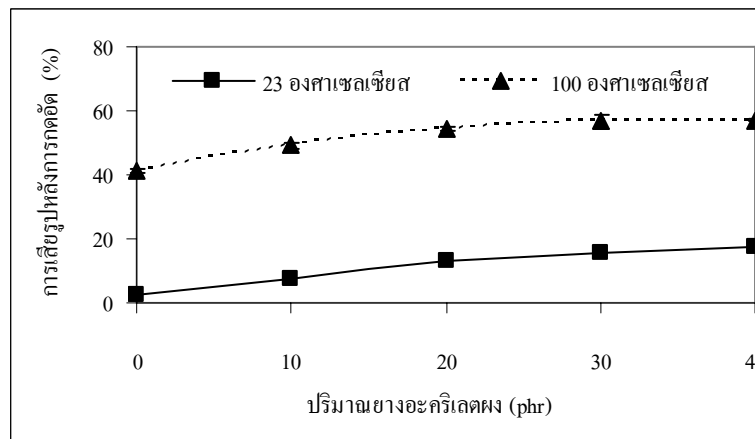
หมายเหตุ: *(ML1+4@100°C)



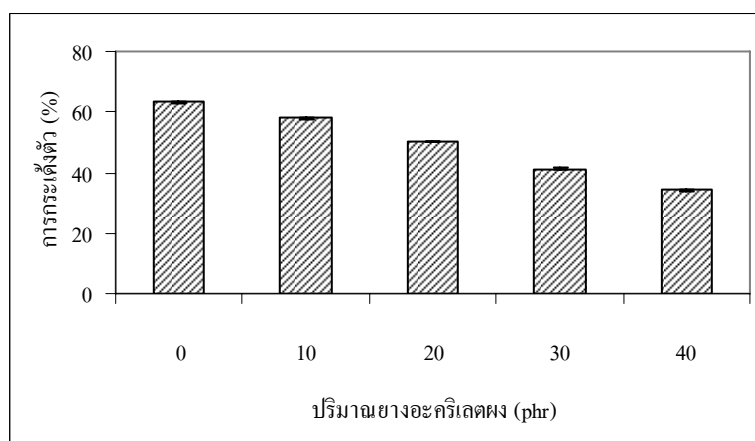
รูปที่ 1 SEM ไมโครกราฟของยางอะครีเลตผงที่กำลังขยาย 300 เท่า



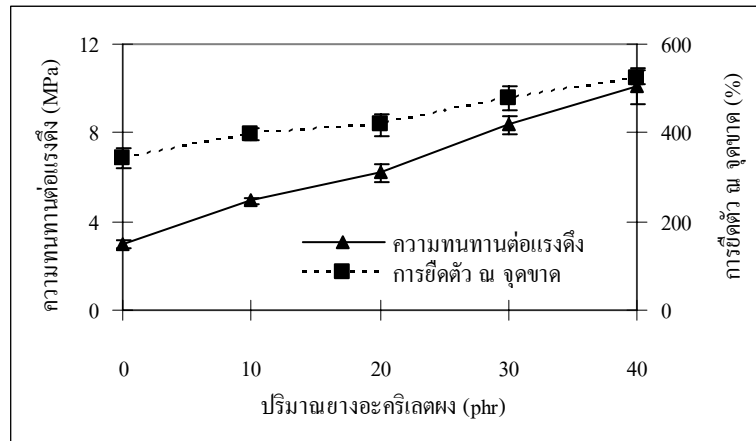
รูปที่ 2 ผลของปริมาณยาง อะครีเลตผงต่อความแข็งและ 100% มอดุลัสของยางคงรูป



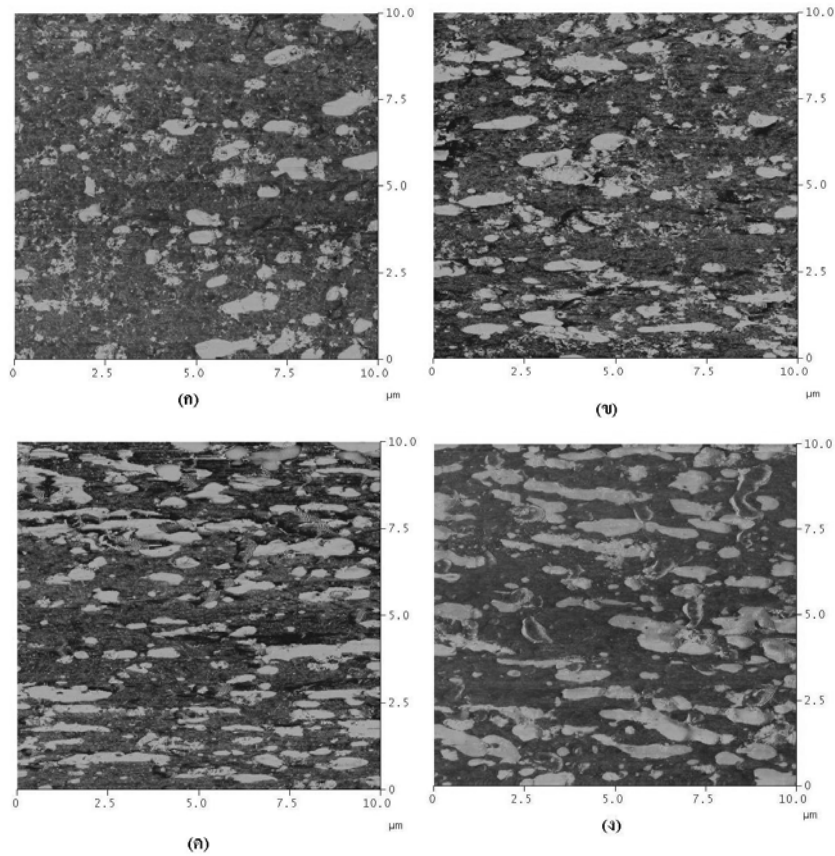
รูปที่ 3 ผลของปริมาณยางอะครีเลตผงต่อค่าการเสียรูปถาวรหลังกดของยางคงรูป



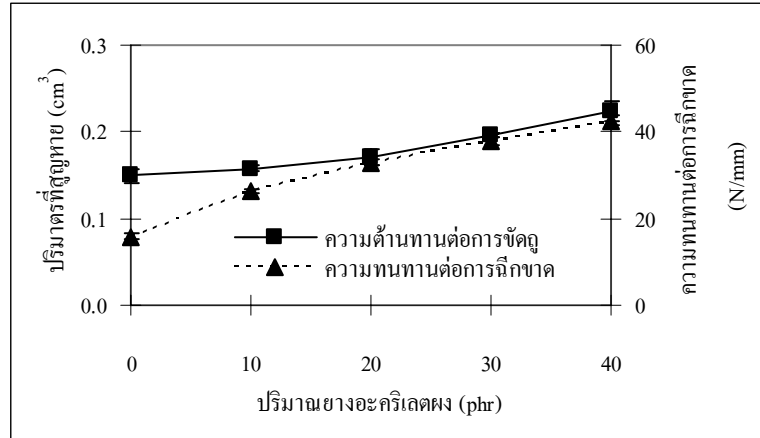
รูปที่ 4 ผลของปริมาณยางอะครีเลตผงต่อค่าการกระเดื่องตัวของยางคงรูป



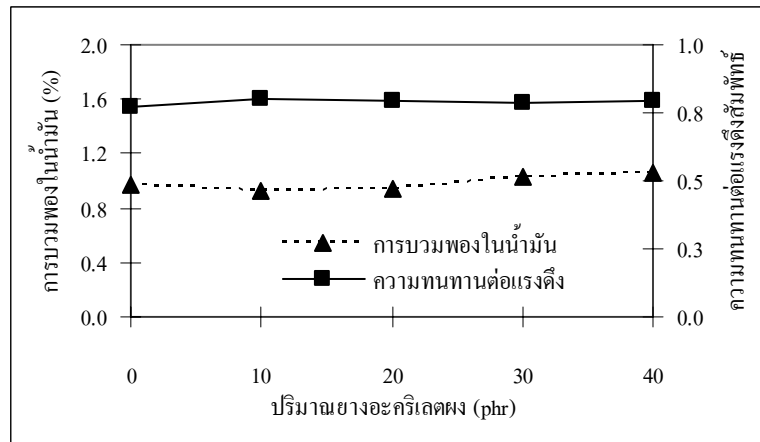
รูปที่ 5 ผลของปริมาณยางอะครีเลตผงต่อความทนทานต่อแรงดึงและการยี่ดตัว ณ จุดขาดของยางงรูป



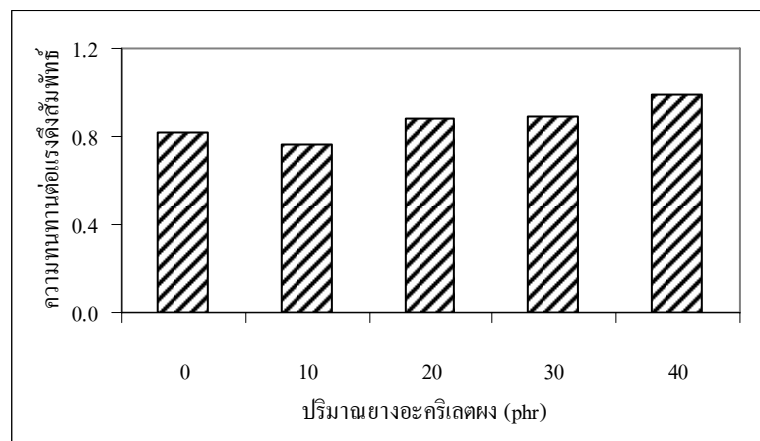
รูปที่ 6 AFM ไมโครกราฟของยางไนไตรล์ที่มีการเติมยางอะครีเลตผงในปริมาณต่าง ๆ (ก) 10 phr (ข) 20 phr (ค) 30 phr และ (ง) 40 phr



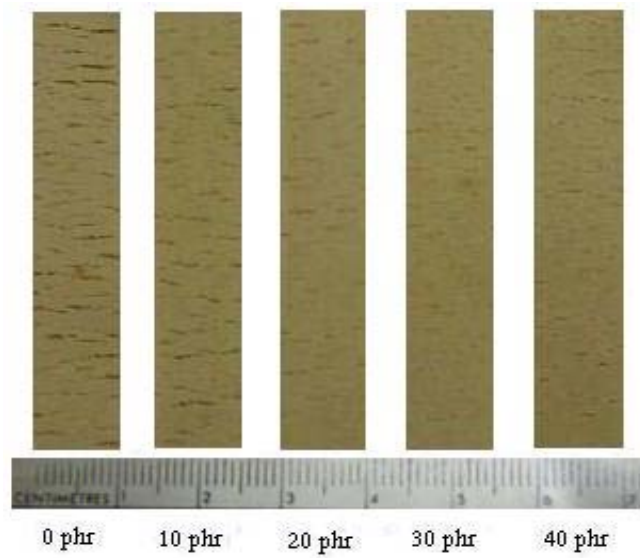
รูปที่ 7 ผลของปริมาณขยาอะครีเลตผงต่อความทนทานต่อการฉีกขาดและความต้านทานต่อการซัดถูของขยา
คงรูป



รูปที่ 8 ผลของปริมาณขยาอะครีเลตผงต่อสมบัติความทนทานต่อน้ำมันของขยา
คงรูป



รูปที่ 9 ผลของปริมาณขยาอะครีเลตผงต่อสมบัติความทนทานต่อความร้อนของขยา
คงรูป



รูปที่ 10 ผลของปริมาณยางอะครีเลตผงต่อความทนทานโอโซนของยางคงรูป