

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



247382



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การพัฒนายางลูกกลิ้งสมรรถนะสูงเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ

โดย รองศาสตราจารย์ ชาคริต สิริสิงห และคณะ

มกราคม 2553

600252644

247382

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



247382



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การพัฒนาอย่างลูกกลิ้งสมรรถนะสูงเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ

โดย รองศาสตราจารย์ ชาศกริต สิริสิงห และคณะ

มกราคม 2553

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การพัฒนาอย่างลูกกลิ้งสมรรถนะสูงเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ

นาย ชาคกริต สิริสิงห

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

สนับสนุนโดย

สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกอ. และ สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

Executive summary

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาสูตรยางไนไตรล์ชนิดอิ่มตัว (Hydrogenated nitrile rubber; HNBR) คอมพาวด์ที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์ยางลูกกลิ้งที่ใช้งานในอุตสาหกรรมกระดาษ รวมถึงการนำองค์ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยนี้ไปประยุกต์ใช้กับการผลิตผลิตภัณฑ์ยางลูกกลิ้งที่ใช้งานในอุตสาหกรรมชนิดอื่นต่อไป

ผลการทดลองส่วนแรกที่เกี่ยวข้องกับระบบยาง HNBR ที่มีการใช้เคมีดำที่ชนิดและปริมาณต่างกัน แสดงให้เห็นว่า ปริมาณเคมีดำที่สูงขึ้นส่งผลต่อพฤติกรรมการสุกตัวของยาง HNBR compounds ในลักษณะของการส่งเสริมการสุกตัว (Cure promotion phenomenon) โดยคาดว่าเกิดจากการที่ยางคอมพาวด์มีความสามารถในการนำความร้อน (Thermal conductivity) ที่ดีขึ้น และ/หรือจากความเป็นเบสของเคมีดำ ในส่วนของสมบัติทนแรงดึงและทนต่อการฉีกขาด พบว่ากลไกการเสริมแรงเกิดขึ้นจากทั้งผลของ Cure promotion effect และ Hydrodynamic effect ร่วมกับผลของ Polymer-filler interaction และ Filler-filler interaction ในส่วนของความสามารถในกระบวนการผลิต (Processability) พบว่ายางคอมพาวด์ที่ปริมาณเคมีดำ 60 phr มีความหนืดที่สูงมากโดยเฉพาะในกรณีของสารตัวเติมขนาดเล็ก ซึ่งมักส่งผลเสียต่อกระบวนการขึ้นรูปโดยใช้เครื่อง Extruder ได้ ในส่วนของสมบัติเชิงพลวัต พบว่าข้อมูลเกี่ยวกับกลไกการเสริมแรงมีความสอดคล้องกับสมบัติการทนต่อแรงดึงและต่อการฉีกขาด นอกจากนี้ผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่าการใช้เคมีดำเกรด N550 จะให้ค่ามอดูลัสเชิงพลวัตที่สูงกว่าเกรด N326 โดยมีค่า Damping factor ต่ำกว่า ซึ่งหมายถึงความเหมาะสมในการใช้งานด้านการรับแรงเชิงพลวัต โดยคาดว่าเกิดจากที่เคมีดำเกรด N550 ให้ Crosslink density ได้สูงกว่าเกรด N326 สำหรับผลการทดลอง

เกี่ยวกับความร้อนสะสมจากการใช้งาน (Heat build-up, HBU) ของยาง HNBR vulcanisates แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณเขม่าดำจะส่งผลให้เกิดค่า HBU ที่สูงขึ้นผ่านทางกระบวนการ Hysteretic process

ผลการทดลองส่วนที่สอง เป็นการศึกษาระบบเขม่าดำผสม (Hybrid carbon black system) ของเขม่าดำต่างเกรดกันโดยมีปริมาณเขม่าดำรวมที่ 60 phr ผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่าพฤติกรรม การสุกตัวของยาง (Cure behaviour) ในระบบเขม่าดำผสมทุกระบบ กล่าวคือระบบระหว่าง (i) N326 กับ N774 (ii) ระบบ N326 กับ N990 และ (iii) ระบบ N550 กับ N990 ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณสัดส่วน เขม่าดำเท่าใดนัก ในขณะที่สมบัติเชิงกลจะสูงขึ้นมากเมื่อมีปริมาณสัดส่วน N326 ในปริมาณที่สูง แต่ผลเสียที่เกิดขึ้นได้แก่การมี Energy loss ที่สูงตามมาซึ่งส่งผลให้ยางผลิตภัณฑ์มีอัตราเสถียรลดลง โดยมีการ เกิดความร้อนสะสมขณะใช้งาน (heat-build up) สูงขึ้น

ผลการทดลองส่วนที่สามเป็นการทดลองใช้สารเสริมแรงประเภท Non-black ที่มีความจำเป็น ในการผลิตผลิตภัณฑ์ลูกกลิ้งประเภทที่ต้องสัมผัสกับวัสดุสีอ่อน ซึ่งการใช้เขม่าดำอาจเกิดปัญหาสีของ เขม่าดำหลุดติดไปกับวัสดุที่ลูกกลิ้งสัมผัสอยู่ได้ ในงานวิจัยนี้พิจารณาเลือกใช้สารตัวเติมลักษณะนี้อยู่ 2 ชนิด อันได้แก่ ซิลิกา และดินขาวอนุภาคนาโน ผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นถึงการเกิด Cure promotion phenomenon จากการที่ซิลิกาและดินขาวอนุภาคนาโนเป็นสารเสริมแรง และการเสริมแรงที่เกิดขึ้นจาก Physical interaction เป็นหลักทำให้มี Paynes effect และ Energy loss สูง ซึ่งส่งผลต่อการมี Heat-build up ที่สูง อย่างไรก็ตาม เนื่องดินขาวอนุภาคนาโนมีขนาดอนุภาคที่เล็ก จึงมีปริมาณพื้นที่ผิวสูง ทำให้ สามารถเกิด Interaction กับโมเลกุลยางได้มาก และที่ปริมาณสารเสริมแรงเท่ากัน ดังนั้นในการผลิต ผลิตภัณฑ์ที่ค่ามอดูลัสค่าหนึ่งๆ ปริมาณการใช้ดินขาวอนุภาคนาโนจะต่ำกว่าการใช้ซิลิกา ซึ่งส่งผลให้ ผลิตภัณฑ์ที่มีดินขาวอนุภาคนาโนเป็นสารเสริมแรงเกิด Heat- build up ที่ต่ำกว่า

ผลการทดลองส่วนสุดท้ายเป็นการปรับปรุงแก้ไขปัญหาของกระบวนการขึ้นรูป โดยเฉพาะการอัดรีดผ่านหัวตาย (Extrusion) ที่ต้องอาศัยความหนืดที่ไม่สูงเกินไปเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดปัญหาทางตาย (Scorch) ผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่าการใช้สารประเภท Trimethylolpropane trimethacrylate (TRIM) สามารถการปรับปรุง Processability ของยางคอมพาวด์ที่มีสารเสริมแรงปริมาณสูงได้ดี โดยไม่ส่งผลเสียต่ออย่าง HNBR ผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะในงานที่ต้องการมอดูลัสที่สูงและมีความเป็นอีลาสติกที่ดี

บทคัดย่อ

247382

ยางไนไตรล์ชนิดอิมิตัวจัดเป็นยางชนิดพิเศษที่มีสมรรถนะการใช้งานที่สูงเหมาะกับงานประเภทที่ต้องทนต่อน้ำมันและความร้อนสูงต่อเนื่อง ซึ่งรวมถึงงานด้านอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ อย่างไรก็ตาม แม้ว่ายางไนไตรล์ชนิดอิมิตัวมีสมบัติเชิงกลที่สูง แต่การเสริมแรงยางชนิดนี้ด้วยสารตัวเติมเสริมแรงยังคงมีความจำเป็นทั้งในแง่ของสมบัติเชิงกล สมบัติทนต่อน้ำมันและความร้อนที่ขึ้นตลอดจนราคาที่ลดลงของผลิตภัณฑ์ งานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ยางไนไตรล์ชนิดอิมิตัวนี้เพื่อนำไปใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ยางลูกกลิ้งอุตสาหกรรม (Industrial rolls) ที่เน้นใช้งานในอุตสาหกรรมกระดาษ (Paper mill industry) โดยตัวแปรที่ทำการศึกษาได้แก่ ชนิดและปริมาณของสารตัวเติมเสริมแรง อันได้แก่เซม่าดำ (ทั้งชนิดระบบเดี่ยวและระบบผสม) ซิลิกา และดินขาวอนุภาคนาโน

ผลการทดลองด้านพฤติกรรมการสุกตัว แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยของสมบัติการสุกตัวต่อการใส่เซม่าดำทั้งชนิดระบบเดี่ยวและระบบผสม ในทางตรงกันข้ามการเติมซิลิกาและดินขาวอนุภาคนาโนส่งผลอย่างชัดเจนต่อพฤติกรรมการสุกตัวโดยแสดงปรากฏการณ์การส่งเสริมการสุกตัว (Cure promotion phenomenon) ส่งผลให้มีค่าเวลาไหลตัวหรือเวลาสก็อต (Scorch time) และเวลาการสุกตัว (Optimum cure time) ที่สั้นลงพร้อมกับมีค่าความหนาแน่นพันธะเชื่อมโยงที่สูงขึ้น ปรากฏการณ์ดังกล่าวเกิดจากการเกิดโครงสร้างตาข่ายสามมิติระหว่างอนุภาคสารตัวเติมและระหว่างยางกับอนุภาคสารตัวเติม

ในด้านของสมบัติเชิงกล พบว่าการเพิ่มปริมาณสารตัวเติมเสริมแรงส่งผลให้มีค่าความแข็งและมอดูลัสที่สูงขึ้น และเมื่อลดขนาดอนุภาคสารตัวเติมเสริมแรงส่งผลให้มีการเสริมแรงที่ดี แต่มีค่าความร้อนสะสมจากการใช้งานที่สูงผ่านทางกระบวนการฮิสเทอรีซิส และเมื่อเปรียบระบบเซม่าดำแบบระบบ

เกี่ยวกับระบบลูกผสม พบว่าระบบผสมให้ความยืดหยุ่นในการออกสูตรยางเพื่อให้ได้สมบัติที่ดีทั้งในแง่สมบัติเชิงกลและเชิงพลวัตได้ดีกว่า ส่วนในกรณีการใช้ซิลิกาเป็นสารตัวเติมเสริมแรง พบว่าได้ค่ามอดูลัสที่ความเครียดต่ำสูงมากอันเนื่องมาจากการโครงตาข่ายสามมิติของสารตัวเติมดังที่ได้กล่าวมาก่อนหน้านี้ และค่ามอดูลัสดังกล่าวมีค่าลดลงชัดเจนเมื่อความเครียดเพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากแตกตัวของโครงร่างตาข่ายสามมิติที่จับกันแบบหลวมผ่านทางอันตรกิริยาระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลบนผิวซิลิกากับหมู่อะคลิโรไนไตรล์บนยางไนไตรล์ชนิดอิมิตัวส่งผลให้มีค่าความร้อนสะสมจากการใช้งานที่สูง สำหรับระบบดินขาวอนุภาคนาโนพบผลการทดลองในลักษณะแนวโน้มเดียวกันกับซิลิกาแต่ด้วยความเด่นชัดที่มากกว่าอันเนื่องมาจากปริมาณพื้นผิวที่มากกว่าของดินขาวขนาดอนุภาคนาโน

การปรับปรุงความสามารถของกระบวนการผลิต (Processability) ในงานนี้ สามารถทำได้โดยมีประสิทธิภาพโดยอาศัยการใช้สารประเภทไตรเมธิลโพรเพน ไตรเมธาไครเลท (Trimethylolpropane trimethacrylate; TRIM) ซึ่งนอกจากให้สมบัติด้านการไหลที่ดีแล้วยังไม่ส่งผลเสียต่อความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ที่ได้ภายหลังการสุกตัว ซึ่งเหนือกว่าการใช้ซิงค์ไดอะคริเลท (zinc diacrylate; ZDA) และไตรออกทิล ไตรเมลลิเตท (Trioctyl trimellitate; TOTM)

คำสำคัญ: การเสริมแรง; สมบัติหยุ่นเหนียว; เขม่าดำ; ความร้อนสะสมจากการใช้งาน;

ยางไนไตรล์ชนิดอิมิตัว

Abstract

247382

Hydrogenated acrylonitrile butadiene rubber (HNBR) is a high-performance rubber specifically used in applications where high resistances to hydrocarbon oil and thermal ageing are required. Consequently, HNBR is widely adopted in automotive, industrial, and performance-demanding applications [1,2]. Despite its high mechanical properties, further reinforcement with the uses of reinforcing fillers is still of interest in order to gain the HNBR vulcanisates having excellent mechanical properties, oil resistance and thermal ageing resistance in conjunction with reduced production cost in some circumstances. The present work deals with the development of HNBR vulcanisates to be used for manufacturing the industrial rolls for paper mill application. Parameters to be investigated include types and loadings of reinforcing fillers, namely, carbon black (single and hybrid systems), precipitated silica and organoclay.

Results of cure behaviour show that there is only small alteration in cure characteristics by the addition of carbon black either single or hybrid system. By contrast, in the cases of precipitated silica and organoclay, the cure promotion phenomenon is observed leading to decreases in scorch and optimum cure time with the increase in crosslink density. The formation of transient filler network via filler-filler and rubber-filler interactions is believed to be responsible for the cure promotion effect.

In the cases of mechanical properties, the increase in filler loading gives rise to the increase in modulus and hardness as expected. The smaller the filler size, the greater the reinforcement magnitude, and the poorer the heat-build up via hysteretic process. Compared with single system, the hybrid systems of carbon blacks provide more flexibility in balancing the mechanical and dynamic mechanical properties. With the use of precipitated silica, the modulus increases sharply particularly at low deformation strain which could be explained by the high magnitude of transient filler network caused by the interaction between silanol groups of silica aggregates and acrylonitrile groups of HNBR as well as between silica aggregated themselves. However, at high strain, such transient network could be disrupted leading to the high magnitude of hysteresis loss and thus heat-build up. This circumstance is more pronounced in organoclay than precipitated silica due to the greater surface area.

In order to enhance processability in this work, the use of Trimethylolpropane trimethacrylate (TRIM) is found to offer good processability with minimal reduction in modulus of vulcanisates, as compared with the zinc diacrylate (ZDA) and Trioctyl trimellitate (TOTM).

Key words: Reinforcement; Viscoelastic properties; Carbon black; Heat buildup;

Hydrogenated nitrile rubber