ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
249381

ชุมชนสหวัฒนธรรมออนไลน์ พฤติกรรมการสื่อสารเชิงสัญลักษณ์ และความคงทนของชุมชนที่มีความหลากหลายกลุ่มชาติพันธุ์ในโลกไซเบอร์

นรเชษฐ์ นิลทุ่ง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปรัญญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสื่อสาร
คณะเทคโนโลยีสื่อสารมวลชน
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
พ.ศ. 2554

b00253862 249381

สมบัติความร้อนเชิงกลพลวัต พฤติกรรมการคืนกลับตัวทางอิลาสติกและความคงทนของยางเอ็นบีอาร์ที่มีสารเสริมแรงกลุ่มซิลิกาสำหรับงานในระบบไฮดรอลิก

นางสาวปิยะภรณ์ นิลทุ้ย วศ.บ. (ปิโตรเคมีและวัสดุพอลิเมอร์)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ
คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
พ.ศ. 2554

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
249381

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์
(รศ. ดร. ชาคริต สิริสิงห)

..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ศ. ดร. ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ)

..... กรรมการ
(รศ. ดร. จตุพร วุฒิกนกกาญน์)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	สมบัติความร้อนเชิงกลพลวัต พฤติกรรมการคืนกลับตัวทางอิลาสติกและความคงทนของยางเอ็นบีอาร์ที่มีสารเสริมแรงกลุ่มซิลิกาสำหรับงานในระบบไฮดรอลิก
หน่วยกิต	15
ผู้เขียน	นางสาวปิยะภรณ์ นิลทุ้ย
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศ. ดร. ฉรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีวัสดุ
สายวิชา	เทคโนโลยีวัสดุ
คณะ	พลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ
พ.ศ.	2554

บทคัดย่อ

249381

งานวิจัยนี้ศึกษาสมบัติความร้อนเชิงกลพลวัต พฤติกรรมการคืนกลับตัวทางอิลาสติกและความคงทนของยางเอ็นบีอาร์ที่มีสารเสริมแรงกลุ่มซิลิกาสำหรับงานระบบไฮดรอลิกโดยมีการทดสอบเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 ศึกษาน้ำมันอะโรมาติกที่ปริมาณ 10-40 ส่วนในยางหนึ่งร้อยส่วน (phr) โดยเติมในยางเอ็นบีอาร์ที่มีผงเขม่าดำที่ปริมาณ 50 phr และปริมาณซิลิกาที่มีในสารตัวเติมพรีซิพิเตตซิลิกา เถ้าลอยหรือซิลิตินชนิดปรับปรุงผิวที่ปริมาณ 50 phr ทดสอบค่าความหนืดของยาง การไหลตัวและการบ่มสุก สมบัติเชิงกลทางด้านการยุบตัวเมื่อได้รับแรงกดอัด ความแข็ง การต้านทานต่อการขัดสี สมบัติความร้อนเชิงกลพลวัต และการบวมตัวในน้ำมันไฮดรอลิกที่อุณหภูมิห้อง และอุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส ผลการวิจัยพบว่า การเติมน้ำมันอะโรมาติกที่ปริมาณเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความหนืด และผลต่างแรงบิดของยางลดลง แต่ไม่ส่งผลต่อเวลาการไหลตัวในแม่พิมพ์ และเวลาการบ่มสุกของยาง ส่วนสมบัติเชิงกลของยางเอ็นบีอาร์ด้านความแข็ง สมบัติการคืนกลับตัว และความต้านทานต่อการขัดสีลดลง นอกจากนี้ ไม่พบการบวมตัวในน้ำมันไฮดรอลิกของยางเอ็นบีอาร์ที่อุณหภูมิห้อง และแต่ที่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส ยางเอ็นบีอาร์มีน้ำหนักลดลง และสมบัติความร้อนเชิงกลพลวัตของยางเอ็นบีอาร์ ที่เติมน้ำมันอะโรมาติกมีค่ามอดุลัสสะสมลดลง และค่าแทนเจนต์สูญเสียเพิ่มขึ้น ในขณะที่อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของยางเอ็นบีอาร์ที่ไม่เปลี่ยนแปลง สำหรับส่วนที่ 2 ศึกษาผลของสารตัวเติมกลุ่มซิลิกา ประกอบด้วยพรีซิพิเตตซิลิกา เถ้าลอย และซิลิตินชนิดปรับปรุงผิวและไม่ปรับปรุงผิว โดยเติมในยางเอ็นบีอาร์ที่มีผงเขม่าดำเป็นสารตัวเติมหลัก ผลการวิจัยพบว่า การเติมสารตัวเติมกลุ่มซิลิกาทำให้ค่าความหนืด และให้เวลาในการบ่มสุกเพิ่มขึ้น ส่วนการเติมพรีซิพิเตตซิลิกาให้

249381

สมบัติเชิงกลโดยรวมดีกว่าสารตัวเติมกลุ่มซิลิกาชนิดอื่น ยกเว้นสมบัติการคืนกลับตัวของยางเอ็นบีอาร์ที่เติมพรีซิพิเตตซิลิกาให้ค่าใกล้เคียงกับซิลิตินชนิดที่ปรับปรุงผิว สำหรับการเติมพรีซิพิเตตซิลิกามีค่ามอดุลัสสะสมสูงกว่าผงซิลิตินชนิดปรับปรุงผิว แต่ค่าแทนเจนต์สูญเสียและอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วไม่แตกต่างกัน และส่วนที่ 3 ทดสอบสภาวะการใช้งานจริงด้วยเครื่องทดสอบซีลในระบบไฮดรอลิกของยางเอ็นบีอาร์ที่มีสารตัวเติมพรีซิพิเตตซิลิกาและซิลิตินชนิดปรับปรุงผิว พบว่า ผลิตภัณฑ์ยางซีลกันรั่ว U-CUP ที่ได้จากงานวิจัยมีสมบัติเทียบเท่ากับผลิตภัณฑ์ซีลทางการค้าและไม่พบการเปลี่ยนแปลงของสมบัติเชิงกล/กายภาพ ก่อนและหลังการบ่มเร่งสภาวะ

คำสำคัญ: การคืนกลับตัวเมื่อได้รับแรงกดอัด/ซิลิกา/ยางเอ็นบีอาร์/สมบัติความร้อนเชิงกลพลวัต

Thesis Title	Dynamic Mechanical Thermal Properties, Elastic Recovery Behavior and Durability of Silica based Fillers in NBR for Hydraulic Applications
Thesis Credits	15
Candidate	Miss Piyaporn Niltui
Thesis Advisor	Prof. Dr. Narongrit Sombatsompop
Program	Master of Engineering
Field of Study	Materials Technology
Department	Materials Technology
Faculty	School of Energy, Environment and Materials
B.E.	2554

Abstract

249381

This research studied dynamic mechanical thermal properties, elastic recovery behavior and durability of silica based fillers in NBR for hydraulic applications. There were three parts of this study. First, the effect of aromatic oil loading varying from 10 to 40 parts per hundred rubber (phr) added into 50 phr carbon black filled acrylonitrile-butadiene rubber (NBR) containing 50 phr silica based filler (precipitated silica, fly ash or silitin with silane treatment) was investigated. Mooney viscosity, scorch time, cure time and mechanical properties; compression set, hardness, abrasion resistance, hydraulic oil resistance at room temperature and 125 degree Celsius, dynamic mechanical thermal properties were of main interest. The experimental results suggested that the addition of aromatic oil in the NBR vulcanizates decreased the Moony viscosity but did not affect scorch time and cure time. Besides, mechanical properties; hardness, compression set, abrasion resistance, of the NBR tended to decrease with increasing aromatic oil content. No swelling in hydraulic oil at room temperature of the NBR vulcanizates was observed, but the weight loss of the rubber was noted when immersion in hydraulic oil at 125 degree celsius. It was found that the storage modulus of the NBR vulcanizates decreased, but the loss tangent values tended to increased. However, the addition of aromatic oil had no effect on glass-transition temperature. The second studied the effect of silica based fillers (precipitated silica, fly ash and silitin with and without silane treatment) in the black filled NBR on properties of the NBR vulcanizates were investigated. The experimental results suggested that the addition of silica based fillers in the NBR vulcanizates

249381

increased the Moony viscosity and cure time. The precipitated silica gave the highest mechanical properties of the black filled NBR vulcanizates, except for the compression set which was achieved by the treated silitin filler. The vulcanizates with precipitated silica filler had higher storage modulus than those with the treated silitin with similar glass-transition temperature and loss tangent values. Finally, under the actual dynamic hydraulic test for seals, the selected NBR filled with precipitated silica and silane treated silitin were produced in form of U-cup seal and it was shown that the general properties of the seals produced in this work were comparable to the commercial seal product. No changes in the mechanical/physical properties of the NBR seals before and after aging conditions.

Keywords: Dynamic Mechanical/Elastic recovery/NBR/Silica/Thermal Analysis

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี โดยได้รับความรู้และคำแนะนำต่างๆ เพื่อเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาระหว่างการทำงานวิจัย ตลอดจนได้ประสบการณ์ใหม่ๆในการทำงานโดยมี ศ. ดร. ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รวมทั้งคณาจารย์ นักวิจัย และบุคลากรทุกท่านในสายวิชาเทคโนโลยีวัสดุ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาและอำนวยความสะดวกในการทำวิจัยครั้งนี้

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผศ. เอกชัย วิมลมาลา นักวิจัยคณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี สำหรับความรู้และคำแนะนำในการวางแผนการทำงานวิจัย คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รศ. ดร. ชาคริต สิริสิงห อาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล และรศ. ดร. จตุพร วุฒิกนกกาญน์ อาจารย์สายวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี สำหรับความกรุณาในการสละเวลาเพื่อการสอบวิทยานิพนธ์นี้ ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) สำหรับทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีภายใต้โครงการเชื่อมโยงภาคการผลิตกับงานวิจัย ทุน สกว. – อุตสาหกรรม สัญญาเลขที่ MRG–WI525S074 จากโครงการวิจัยเรื่อง “สมบัติทางกลความร้อนพลวัตและพฤติกรรมการคืนกลับตัวทางอิลาสติกของยางเอ็นบีอาร์ที่มีเสริมแรงกลุ่มซิลิกาสำหรับงานในระบบไฮดรอลิก” ขอขอบคุณสถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร ที่ให้ความอนุเคราะห์สำหรับการวิเคราะห์และทดสอบ ขอขอบคุณภาควิชาเทคโนโลยีวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือในการทำวิจัย ขอขอบคุณสมาชิกกลุ่มวิจัยการผลิตและขึ้นรูปพอลิเมอร์ (P-PROF) ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือทั้งกำลังกายและกำลังใจในการทำงาน ขอขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัวสำหรับคำแนะนำและกำลังใจ และการสนับสนุนในด้านต่างๆ เสมอมา

ประโยชน์อันใดที่ก่อเกิดจากการทำวิทยานิพนธ์นี้ ย่อมเป็นผลมาจากความกรุณาของทุกท่านที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ง
กิตติกรรมประกาศ ฉ
สารบัญ ช
รายการตาราง ญ
รายการรูป ฏ
รายการสัญลักษณ์ ฒ
ประมวลศัพท์และคำย่อ ณ

บทที่

1. บทนำ 1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย 1
1.2 วัตถุประสงค์ 2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย 3
1.4 วิธีการดำเนินงานวิจัยโดยสังเขป 5
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 5

2. ทฤษฎีเบื้องต้นและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 7
2.1 ทฤษฎีเบื้องต้น 7
2.1.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับยางซีล 7
2.1.2 วัสดุยางทนน้ำมัน 7
2.1.3 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับยางอะคริโลไนไตรต์บิวตะไดอีน 9
2.1.4 สารเติมแต่งสำหรับยาง 11
2.1.5 สารคู่ควบไซเลน 17
2.1.6 กลไกการยึดเกาะระหว่างยางกับสารเติมแต่ง 19
2.1.7 สารเคมีที่ใช้ในยาง 22
2.1.8 การผสมและกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง 28

หน้า

2.1.9 การพิสูจน์เอกลักษณ์สารตัวเติม 33
2.1.10 สมบัติของยาง 39
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 47

3. วัตถุดิบและขั้นตอนการดำเนินงาน 52
3.1 วัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย 52
3.2 การเตรียมสารเติมแต่งที่ใช้ในงานวิจัย 54
3.3 แผนการดำเนินงานวิจัย 55

4. ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง 52
4.1 การตรวจสอบคุณลักษณะของพรีซิพิเตตซิลิกาเถ้าลอย และซิลิติน 73
4.1.1 การตรวจสอบขนาดและรูปร่าง 73
4.1.2 การตรวจสอบส่วนประกอบทางเคมี 77
4.1.3 การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันทางเคมี 78
4.2 การศึกษาปริมาณสารเสริมสภาพพลาสติก (น้ำมันอะโรมาติก) ที่มีต่อสมบัติของยางเอ็นบีอาร์ 80
4.2.1 การตรวจสอบความหนืด เวลาในการไหลตัวในแม่พิมพ์ และเวลาการบ่มสุกของยางเอ็นบีอาร์ที่ปรับเปลี่ยนปริมาณน้ำมันอะโรมาติก 10-40 phr 81
4.2.2 การตรวจสอบสมบัติเชิงกลของยางเอ็นบีอาร์ และการต้านทานการบวมตัวจากน้ำมันไฮดรอลิก ที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส 85
4.2.3 การตรวจสอบสมบัติความร้อนเชิงกลพลวัตของยางเอ็นบีอาร์ 88
4.3 การศึกษาชนิด และปริมาณซิลิกาของสารตัวเติม พรีซิพิเตตซิลิกา เถ้าลอย และซิลิติน (ชนิดปรับปรุงผิวและไม่ปรับปรุงผิว) ที่มีต่อสมบัติของยางเอ็นบีอาร์ 93
4.3.1 การตรวจสอบความหนืด เวลาในการไหลตัวในแม่พิมพ์ และเวลาการบ่มสุกของยางเอ็นบีอาร์ 93
4.3.2 การตรวจสอบสมบัติเชิงกล และการต้านทานการบวมตัวของยางเอ็นบีอาร์ในน้ำมันไฮดรอลิกที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส 95
4.3.3 การตรวจสอบสมบัติความร้อนเชิงกลพลวัตของยางเอ็นบีอาร์ 98
4.4 การทดสอบจำลองสภาวะการใช้งานจริงด้วยเครื่องทดสอบซีลระบบไฮดรอลิก 103

หน้า

4.4.1 การวิเคราะห์เชิงกายภาพและเชิงกล 103
4.4.2 การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ 105

5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 108
5.1 สรุปผลการทดลอง 108
5.1.1 การศึกษาปริมาณของสาร (น้ำมันอะโรมาติก) ที่มีต่อสมบัติของยางเอ็นบีอาร์ที่มีสารตัวเติมพรีซิพิเตตซิลิกาซิลิติน และเถ้าลอย 108
5.1.2 การศึกษาชนิด และปริมาณซิลิกาของสารตัวเติม พรีซิพิเตตซิลิกา เถ้าลอย และซิลิติน (ชนิดปรับปรุงผิว และไม่ปรับปรุงผิว) ที่มีต่อสมบัติของยางเอ็นบีอาร์ 109
5.1.3 การทดสอบสภาวะการใช้งานจริงด้วยเครื่องทดสอบซีลของยางเอ็นบีอาร์ที่มีสารตัวเติมพรีซิพิเตตซิลิกาและซิลิตินชนิดปรับปรุงผิว 109
5.2 ข้อเสนอแนะ 110

เอกสารอ้างอิง 111
ภาคผนวก 118
ก. ผลงานตีพิมพ์ทางวิชาการ 118
ข. กราฟผลการทดลองจากเครื่องทดสอบ 125
ประวัติผู้วิจัย 156

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 สูตรยางที่ใช้ในงานวิจัย	4
2.1 ส่วนประกอบทางเคมีของเถ้าลอย	15
3.1 ส่วนประกอบของยางที่ใช้ในงานวิจัยส่วนที่ 1	59
3.2 ลำดับการผสมสารเคมีและเวลาในการเติมสารเคมีในยางที่ใช้ระบบการบ่มสุกด้วยกำมะถัน	60
3.3 ส่วนประกอบของยางที่ใช้ในงานวิจัยส่วนที่ 2	66
3.4 สภาวะของการทดสอบยางซีลกันรั่ว U-CUP เกรดการค้าเปรียบเทียบกับยางซีลกันรั่ว U-CUP จากงานวิจัย	69
3.5 เกณฑ์ที่ใช้ในการผลิตและพัฒนาผลิตภัณฑ์ยางซีลกันรั่ว	71
4.1 ส่วนประกอบทางเคมีของสารตัวเติมกลุ่มซิลิกา	77
4.2 อิทธิพลของปริมาณน้ำมันอะโรมาติกที่มีต่อค่าแรงบิดสูงสุดและต่ำสุดของยางเอ็นบีอาร์	84
4.3 อิทธิพลของปริมาณน้ำมันอะโรมาติกที่มีต่อการยุบตัวถาวรเมื่อได้รับแรงกดอัดของยางเอ็นบีอาร์ที่มีสารตัวเติมพรีซิพิเตตซิลิกาซิลิกาในเถ้าลอย และซิลิกาในซิลิตินชนิดปรับปรุงผิว	85
4.4 อิทธิพลของปริมาณน้ำมันอะโรมาติกยางเอ็นบีอาร์ที่มีต่อสัดส่วนการบวมตัวในน้ำมันไฮดรอลิกที่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส โดยมีสารตัวเติมพรีซิพิเตตซิลิกาเถ้าลอยและซิลิตินชนิดปรับปรุงผิว	87
4.5 อิทธิพลของปริมาณน้ำมันอะโรมาติกที่มีต่ออุณหภูมิของการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของยางเอ็นบีอาร์โดยมีสารตัวเติมพรีซิพิเตตซิลิกา เถ้าลอย และซิลิติน	89
4.6 การเปรียบเทียบอิทธิพลของน้ำมันอะโรมาติกที่มีต่อกระบวนการผสมยางเอ็นบีอาร์ที่มีสารตัวเติมพรีซิพิเตตซิลิกาซิลิติน และเถ้าลอย	92
4.7 อิทธิพลของปริมาณซิลิกาในสารตัวเติมพรีซิพิเตตซิลิกาเถ้าลอย และซิลิติน (ชนิดปรับปรุงผิวและไม่ปรับปรุงผิว) ที่มีต่อความหนืดมูนีของยางเอ็นบีอาร์	93
4.8 อิทธิพลของปริมาณสารตัวเติมกลุ่มซิลิกา พรีซิพิเตตซิลิกาเถ้าลอย และซิลิติน (ชนิดปรับปรุงผิวและไม่ปรับปรุงผิว) ที่มีต่อการยุบตัวถาวรเมื่อได้รับแรงกดอัดของยางเอ็นบีอาร์	95

ตาราง (ต่อ) **หน้า**

4.9 อิทธิพลของปริมาณซิลิกาในสารตัวเติมพรีซิพิเตตซิลิกาเถ้าลอย และซิลิติน (ชนิดปรับปรุงผิว และไม่ปรับปรุงผิว) ที่มีต่อสัดส่วนการบวมตัวในน้ำมันไฮดรอลิกของยางเอ็นบีอาร์ที่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส 98

4.10 อิทธิพลของปริมาณสารตัวเติมพรีซิพิเตตซิลิกาและซิลิตินชนิดปรับปรุงผิวในยางเอ็นบีอาร์ที่มีต่อโมดูลัสการสะสมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิของการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว 101

4.11 การเปรียบเทียบข้อดี / ข้อเสีย ของกระบวนการผสมยางเอ็นบีอาร์ที่มีการปรับเปลี่ยนชนิดของสารตัวเติมพรีซิพิเตตซิลิกาซิลิติน และเถ้าลอย 102

4.12 การทดสอบยางซีลกันรั่ว U-CUP ทางการค้าเปรียบเทียบกับยางซีลกันรั่ว U-CUP จากงานวิจัย 104

4.13 การคำนวณราคาของผลิตภัณฑ์ยางซีลกันรั่ว U-CUP จากการวิจัย 106

4.14 การเปรียบเทียบราคาของผลิตภัณฑ์ยางซีลกันรั่ว U-CUP จากการวิจัยกับผลิตภัณฑ์ยางซีลกันรั่ว U-CUP ทางการค้า 107

รายการรูปประกอบ

รูป		หน้า
2.1	โครงสร้างของยางเอ็นบีอาร์	9
2.2	ลักษณะของซิลิติน	12
2.3	โครงสร้างทางเคมีบนผิวของซิลิกา	13
2.4	อันตรกิริยาระหว่างหมู่ฟังก์ชันพื้นผิวซิลิกา สารคู่ควบไซเลนและยาง	14
2.5	รูปร่างลักษณะของเถ้าลอย	15
2.6	หมู่ฟังก์ชันเคมีบนพื้นผิวของซิลิกาและผงเขม่าดำ	17
2.7	แบบจำลองสารคู่ควบทำหน้าที่เป็นตัวกลางระหว่างพอลิเมอร์กับสารตัวเติม	18
2.8	โครงสร้างทางเคมีของสารคู่ควบไซเลนชนิด Couplink 89C	18
2.9	การยึดติดระหว่างพื้นผิวขรุขระของของแข็งสองชนิด	19
2.10	มุมสัมผัส (θ)และแรงตึงผิว (γ) ของหยดของเหลวบนพื้นผิวของแข็ง	19
2.11	การแพร่ของสารเข้าหากัน	20
2.12	กลไกการยึดเกาะแบบแรงดึงดูดประจุ	21
2.13	แบบจำลองการเกิดปฏิกิริยาเคมี	21
2.14	กลไกการยึดเกาะแบบการยึดเกาะเชิงกล	22
2.15	ชนิดของการเชื่อมโยงด้วยกำมะถัน	23
2.16	เครื่องบดผสมลูกกลิ้งคู่	29
2.17	แบบจำลองแสดงลักษณะการผสม	30
2.18	แบบแสดงลักษณะการผสม	31
2.19	แม่พิมพ์แบบอัดที่บรรจุเนื้อยาง	32
2.20	แม่พิมพ์แบบกึ่งฉีดที่บรรจุเนื้อยาง	32
2.21	ขั้นตอนการเกิดรังสีเอ็กซ์ฟูออเรสเซนต์ของสารตัวอย่าง	34
2.22	ส่วนประกอบหลักในเครื่อง XRF	35
2.23	การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ในระนาบผลึก	35
2.24	เปรียบเทียบอินฟราเรดสเปกตรัมของ Betamethasone และDexamethasone	38
2.25	ส่วนประกอบของเครื่อง SEM	39
2.26	การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของก้อนยางเมื่อได้รับแรงกด	41

รูป (ต่อ) หน้า

2.27 แบบจำลองการกระดอนของบอลแสดงสมบัติวิสโคอิลาสติก 44
2.28 แบบจำลองวิธีการให้แรงกระทำต่อชิ้นงาน 45
2.29 ค่า Storage modulus, Loss modulus และค่า Tan delta ของ Epoxy resin ที่เสริมแรงด้วย เส้นใยคาร์บอน 46
2.30 ค่า Storage modulus และค่า Tan delta ของ Polybutylene terepthalate; PBT ที่เสริมแรงด้วยเส้นใยแก้ว 30% 46
3.1 แผนผังการดำเนินงานวิจัยโดยรวม (ส่วนที่ 1) 56
3.2 แผนผังการดำเนินงานวิจัยโดยรวม (ส่วนที่ 2) 57
3.3 การผสมยางเอ็นบีอาร์กับสารตัวเติม 59
3.4 เครื่อง Oscillating Disk Rheometer (ODR) 61
3.5 เครื่องอัดขึ้นรูปร้อน 62
3.6 เครื่องทดสอบความแข็ง 62
3.7 การเตรียมชิ้นงานทดสอบการต้านทานต่อการขัดถู 63
3.8 ชุดทดสอบการคืนกลับตัวของยางเอ็นบีอาร์ 64
3.9 เครื่อง Dynamic Mechanical Analyzer 64
3.10 การทดสอบการบวมตัวในน้ำมัน 65
3.11 ผลิตภัณฑ์ซีลยางกันรั่วแบบ U-CUP ที่ใช้ในการทดสอบ 67
3.12 รายละเอียดอุปกรณ์เครื่องทดสอบซีลที่จำลองสภาวะการใช้งานจริงในระบบไฮดรอลิก 70
4.1 ลำดับผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง 72
4.2 การตรวจสอบขนาดอนุภาคของพรีซิพิเตตซิลิกาด้วยเครื่อง LS Particle size analyzer 73
4.3 ลักษณะรูปร่างอนุภาคพรีซิพิเตตซิลิกาด้วยเทคนิค SEM 74
4.4 การตรวจสอบขนาดอนุภาคของเถ้าลอยด้วยเครื่อง LS Particle size analyzer 74
4.5 ลักษณะรูปร่างอนุภาคเถ้าลอยด้วยเทคนิค SEM 75
4.6 การตรวจสอบขนาดอนุภาคของซิลิตินด้วยเครื่อง LS Particle size analyzer 76
4.7 ลักษณะรูปร่างอนุภาคซิลิตินด้วยเทคนิค SEM 76
4.8 สเปกตรัมของหมู่ฟังก์ชันทางเคมีของพรีซิพิเตตซิลิกา 78
4.9 สเปกตรัมของหมู่ฟังก์ชันทางเคมีของเถ้าลอยชนิดที่ปรับปรุงผิว 79
4.10 สเปกตรัมของหมู่ฟังก์ชันทางเคมีของซิลิตินชนิดที่ปรับปรุงผิว 79

รูป (ต่อ) หน้า

4.11 สเปกตรัมของหมู่ฟังก์ชันทางเคมีของซิลิตินชนิดที่ไม่ปรับปรุงผิว 80
4.12 อิทธิพลของปริมาณน้ำมันอะโรมาติกที่มีต่อความหนืดมูนี 81
4.13 อิทธิพลของปริมาณน้ำมันอะโรมาติกที่มีต่อเวลาการไหลตัวในแม่พิมพ์ 82
4.14 อิทธิพลของปริมาณน้ำมันอะโรมาติกที่มีต่อเวลาบ่มสุก 82
4.15 อิทธิพลของปริมาณน้ำมันอะโรมาติกที่มีต่อค่าผลต่างแรงบิด 84
4.16 อิทธิพลของปริมาณน้ำมันอะโรมาติกที่มีต่อปริมาณยางบาวด์ 84
4.17 อิทธิพลของปริมาณน้ำมันอะโรมาติกที่มีต่อความแข็งที่ผิว 86
4.18 อิทธิพลของปริมาณน้ำมันอะโรมาติกที่มีต่อความต้านทานต่อการขัดสี 86
4.19 ลักษณะสีของน้ำมันไฮดรอลิกที่ใช้ในการทดสอบการบวมตัวในน้ำมันของยางเอ็นบีอาร์ 88
4.20 โมดูลัสการสะสมของยางเอ็นบีอาร์ที่ปริมาณน้ำมันอะโรมาติก10-40 phr 90
4.21 Tan δ ของยางเอ็นบีอาร์ที่ปริมาณน้ำมันอะโรมาติก 10-40 phr 91
4.22 อิทธิพลของปริมาณซิลิกาในสารตัวเติมพรีซิพิเตตซิลิกาเถ้าลอย และซิลิติน (ชนิดปรับปรุงผิวและไม่ปรับปรุงผิว) ที่มีต่อเวลาการไหลตัวในแม่พิมพ์ของยางเอ็นบีอาร์ 94
4.23 อิทธิพลของปริมาณซิลิกาในสารตัวเติมพรีซิพิเตตซิลิกาเถ้าลอย และซิลิติน (ชนิดปรับปรุงผิวและไม่ปรับปรุงผิว) ที่มีต่อเวลาบ่มสุกของยางเอ็นบีอาร์ 95
4.24 อิทธิพลของปริมาณซิลิกาในสารตัวเติมพรีซิพิเตตซิลิกาเถ้าลอย และซิลิติน (ชนิดปรับปรุงผิวและไม่ปรับปรุงผิว) ที่มีต่อความแข็งที่ผิวของยางเอ็นบีอาร์ 96
4.25 อิทธิพลของปริมาณซิลิกาในสารตัวเติมพรีซิพิเตตซิลิกาเถ้าลอย และซิลิติน (ชนิดปรับปรุงผิว และไม่ปรับปรุงผิว) ที่มีต่อความต้านทานต่อการขัดสีของยางเอ็นบีอาร์ 97
4.26 อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อโมดูลัสการสะสมของยางเอ็นบีอาร์ที่มีปริมาณซิลิกาในสารตัวเติม 0-50 phr 99
4.27 อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อ Tan δ ของยางเอ็นบีอาร์ที่มีปริมาณซิลิกาในสารตัวเติม 0-50 phr 100
4.28 ชนิดของซีล U-CUP ที่ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบซีลในระบบไฮดรอลิกที่ระยะทาง 20 กิโลเมตร รับแรงจากภายนอก 65 กิโลกรัม 105

รายการสัญลักษณ์

ODR	=	Oscillating Disk Rheometer
ts_1	=	เวลาในการไหลตัวในแม่พิมพ์
tc_{90}	=	เวลาการบ่มสุกของยางที่มีการบ่มสุกร้อยละ 90
M_H	=	Maximum torque
M_L	=	Minimum torque
E'	=	Storage modulus
E''	=	Loss modulus
tan δ	=	Loss tangent
Si69	=	Bis-(3-triethoxysilylpropyl)-tetrasulfide

ประมวลศัพท์และคำย่อ

NBR	=	Acrylonitrile butadiene rubber
CB	=	Carbon black
Si	=	Silica
FA	=	Fly ash
FA-Si	=	Silica from fly ash
P-Si	=	Precipitated Silica or Pure silica
phr	=	Part per hundred of rubber
SEM	=	Scanning Electron Microscope
FTIR	=	Fourier Transform Infrared
DMTA	=	Dynamic Mechanical Thermal Analysis
XRF	=	X-Ray Fluorescence Spectrometer
DMA	=	Dynamic Mechanical Analysis