

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	๗
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	๘
กิตติกรรมประกาศ	๙
สารบัญ	๗
รายการตาราง	๙
รายการรูปประกอบ	๑๐
รายการสัญลักษณ์	๑๑
ประมวลศัพท์และคำย่อ	๑๒

บทที่

1. บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 น้ำมันแก๊สโซฮอล์	4
2.1.1 เอทานอล	4
2.1.2 น้ำมันเบนซิน	6
2.1.3 สมบัติของน้ำมันแก๊สโซฮอล์	8
2.1.4 คุณสมบัติของน้ำมันแก๊สโซฮอล์ชนิด E10, E20 และ E85	9
2.1.5 การใช้งานน้ำมันแก๊สโซฮอล์กับยานพาหนะ	9
2.2 รถยนต์ที่สามารถรองรับการใช้เชื้อเพลิงได้อย่างหลากหลาย	10
2.3 วัสดุยางทนน้ำมัน	13
2.3.1 ยางฟลูออโรคาร์บอน	14
2.3.2 ยางซิลิโคน	14
2.3.3 ยางคลอโรพรีน	15

หน้า

2.3.4	ยางอะครีโลไนไตรล์บิวทาไดอิน	16
2.3.5	ยางไฮโดรเจนเนตอะครีโลไนไตรล์บิวทาไดอินหรือยางเอชเอ็นบีอาร์	18
2.4	ยางโอริง	20
2.4.1	ขนาดของโอริง	20
2.4.2	หน้าที่และกลไกการทำงานของโอริง	21
2.4.3	วัสดุที่ใช้ผลิตโอริง	21
2.4.4	การแบ่งชนิดของยางโอริงตามลักษณะการใช้งาน	22
2.4.5	การเลือกใช้อย่างโอริง	23
2.5	การเลือกชนิดยางให้เหมาะสมกับการใช้งาน	24
2.5.1	ความต้านทานต่อของเหลว	24
2.5.2	พารามิเตอร์การละลาย	25
2.6	พอลิเมอร์ผสม	28
2.6.1	ประเภทของพอลิเมอร์ผสม	28
2.6.2	วัตถุประสงค์ของการทำพอลิเมอร์ผสม	29
2.6.3	ความสามารถในการละลายเข้ากันได้และความสามารถในการผสมเข้ากันได้	29
2.7	สารตัวเติมสำหรับยาง	30
2.7.1	สารทำให้ยางคงรูป หรือ สารวัลคาไนซ์	30
2.7.2	สารกระตุ้นปฏิกิริยา	32
2.7.3	สารเสริมสภาพพลาสติก	33
2.7.4	สารแอนติออกซิแดนท์	33
2.7.5	สารตัวเติม	34
2.8	การผสมยางกับสารเคมี	47
2.8.1	การบดย่อยยางหรือมาสตีเคชัน	47
2.8.2	เครื่องผสม	47
2.9	การคงรูปยาง	49
2.9.1	การทำให้ยางคงรูปและการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง	49
2.10	การทดสอบสมบัติของยาง	51
2.10.1	การวัดความหนืดของยาง	51
2.10.2	ลักษณะการคงรูปของยาง	52
2.10.3	การทดสอบสมบัติแรงดึง	54

หน้า

2.10.4	การทดสอบความทนทานต่อการนึ่ง	55
2.10.5	การทดสอบวัดความแข็งของยาง	56
2.10.6	การทดสอบการยุบตัวหลังการอัด	56
2.10.7	การทดสอบสมบัติการสึกหรอ	57
2.10.8	การทดสอบสมบัติความทนทานต่อของเหลว	59
2.10.9	การบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อน	60
2.11	บทความทางวิชาการที่เกี่ยวข้อง	60
3.	วัตถุดิบและขั้นตอนการดำเนินงาน	65
3.1	วัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย	65
3.1.1	ยางไนไตรล์หรือยางเอ็นบีอาร์	65
3.1.2	ยางไนไตรล์ไฮโดรจีเนตหรือยางเอชเอ็นบีอาร์	65
3.1.3	ซิงค์ออกไซด์	65
3.1.4	ไดออกทิลฟลาธาเลต	65
3.1.5	ไดคิมิลเปอร์ออกไซด์	65
3.1.6	ไทรมที่ลอลโพรเพนไทรมทาโครเลต	66
3.1.7	สารต้านการเสื่อมสภาพจากออกซิเจน 6PPD	66
3.1.8	ผงเขม่าดำ	66
3.1.9	พรีซิพิเตตซิลิกา	66
3.1.10	สารคู่ควบ	66
3.1.11	น้ำมันแก๊สโซฮอลล์	67
3.2	เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย	67
3.3	แผนการดำเนินงานวิจัย	68
3.4	วิธีการทดลอง	73
3.4.1	การเตรียมปรับปรุงผิวพรีซิพิเตตซิลิกาที่ใช้ในการวิจัย	73
3.4.2	การเตรียมยางผสมระหว่างยางเอ็นบีอาร์และยางเอชเอ็นบีอาร์	74
3.4.3	การตรวจสอบสมบัติการไหลและการบ่มสุกของยางคอมปาวด์	77
3.4.4	การขึ้นรูปชิ้นงานตัวอย่าง	78
3.4.5	การตรวจสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุยางผสม	79
3.4.6	การตรวจสอบสมบัติการทนต่อน้ำมันแก๊สโซฮอลล์	82

3.4.7	การทดสอบบ่มแรงสภาวะขึ้นงานด้วยความร้อน	84
4.	ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล	85
4.1	การศึกษาสมบัติเชิงกล และการทนต่อน้ำมันแก๊สโซฮอลล์ ของผลิตภัณฑ์โอริง ทางการค้าชนิดยางเอ็นปีอาร์และยางเอชเอ็นปีอาร์ เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ เปรียบเทียบกับโอริงจากงานวิจัย	86
4.2	การศึกษาสัดส่วนการผสมของยางเอ็นปีอาร์กับยางเอชเอ็นปีอาร์ ที่มีต่อสมบัติ การไหล สมบัติการบ่มสุก สมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ และการทนต่อ น้ำมันแก๊สโซฮอลล์	87
4.2.1	การตรวจสอบสมบัติด้านการไหล และการบ่มสุกของยางผสม NBR:HNBR	87
4.2.2	การตรวจสอบสมบัติเชิงกล และการทนต่อน้ำมันแก๊สโซฮอลล์ของยางผสม NBR:HNBR	89
4.2.3	การตรวจสอบสมบัติด้านขุบตัวถาวรหลังได้รับแรงอัด และการต้านทานต่อ การขัดถูของยางผสม NBR:HNBR	101
4.2.4	การบ่มแรงสภาวะด้วยความร้อนของยางเอ็นปีอาร์ ยางผสมระหว่างยาง เอ็นปีอาร์กับยางเอชเอ็นปีอาร์ และยางเอชเอ็นปีอาร์	102
4.3	การศึกษาปริมาณฟริชพิเตตซิลิกาที่เติมในยางผสมระหว่างยางเอ็นปีอาร์กับ ยางเอชเอ็นปีอาร์ ที่มีต่อสมบัติการไหล สมบัติการบ่มสุก สมบัติเชิงกล สมบัติ ทางกายภาพ และการทนต่อน้ำมันแก๊สโซฮอลล์	107
4.3.1	การตรวจสอบสมบัติด้านการไหลและการบ่มสุกของยางผสม NBR:HNBR ที่สัดส่วน 50:50 ที่เติมฟริชพิเตตซิลิกาเป็นสารเติมแต่งรอง	107
4.3.2	การตรวจสอบสมบัติเชิงกล และการทนต่อน้ำมันแก๊สโซฮอลล์ของยางผสม NBR:HNBR	108
4.3.3	การตรวจสอบสมบัติด้านขุบตัวถาวรหลังได้รับแรงอัด และการต้านทานต่อ การขัดถูของยางผสม NBR:HNBR	117
4.4	การศึกษาและเปรียบเทียบสมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ และการทนต่อ น้ำมันแก๊สโซฮอลล์ ของยางซีลจากงานวิจัยกับผลิตภัณฑ์ยางซีลทางการค้า	118
4.4.1	การเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพโอริงงานวิจัยกับผลิตภัณฑ์โอริงทางการค้า	119
4.4.2	การเปรียบเทียบโอริงจากงานวิจัย ที่มีการปรับเปลี่ยนปริมาณยางเอ็นปีอาร์ และยางเอชเอ็นปีอาร์ กับผลิตภัณฑ์โอริงทางการค้า	120

4.4.3	การเปรียบเทียบโอริงจากงานวิจัย ที่มีสารตัวเติมพีซีพีเตตซิลิกา กับผลิตภัณฑ์โอริงทางการค้า	125
4.5	การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์โอริงจากงานวิจัยกับผลิตภัณฑ์โอริงทางการค้า	129
5.	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	133
5.1	สรุปผลการทดลอง	133
5.1.1	การศึกษาสัดส่วนการผสมของยางเอ็นบีอาร์กับยางเอชเอ็นบีอาร์ ที่มีต่อสมบัติการไหล การบ่มสุก สมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ และการทนต่อน้ำมัน แก๊สโซฮอล์	133
5.1.2	การศึกษาปริมาณผงพีซีพีเตตซิลิกาที่เติมในยางผสมระหว่างยางเอ็นบีอาร์กับยางเอชเอ็นบีอาร์ ที่มีต่อสมบัติการไหล การบ่มสุก สมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ และการทนต่อน้ำมันแก๊สโซฮอล์	134
5.1.3	การศึกษาและเปรียบเทียบสมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ และการทนต่อน้ำมันแก๊สโซฮอล์ ของยางซีลจากงานวิจัยกับผลิตภัณฑ์ยางซีลทางการค้า	134
5.1.4	การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์โอริงจากงานวิจัยกับผลิตภัณฑ์โอริงทางการค้า	135
5.2	ข้อเสนอแนะ	135
	เอกสารอ้างอิง	136
	ภาคผนวก	142
	ก. ผลงานตีพิมพ์ทางวิชาการ	143
	ข. เอกสารรับรองคุณภาพยางเอ็นบีอาร์	149
	ค. เอกสารรับรองคุณภาพยางเอชเอ็นบีอาร์	151
	ง. ใบรับรองคุณภาพโอริงยางเอ็นบีอาร์ทางการค้า	153
	จ. ใบรับรองคุณภาพโอริงยางเอชเอ็นบีอาร์ทางการค้า	156
	ประวัติผู้วิจัย	158

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 ข้อดีของการใช้น้ำมันแก๊สโซฮอลล์	9
2.2 การเปรียบเทียบสมบัติระหว่างยางเอ็นบีอาร์กับยางเอชเอ็นบีอาร์	19
2.3 ตัวอย่างการเลือกใช้ยางในการผลิตโอริง	23
2.4 ค่าคงที่การดึงดูดเชิงโมลแบบกลุ่ม	26
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย	67
3.2 ส่วนประกอบสูตรยางที่ใช้ในงานวิจัย	75
3.3 ขั้นตอนการผสมยางคอมปาวด์	76
4.1 สมบัติเชิงกล และการทนต่อน้ำมันแก๊สโซฮอลล์ของผลิตภัณฑ์โอริงทางการค้า	86
4.2 สมบัติด้านการไหลและการบ่มสุกของยางผสม NBR:HNBR	88
4.3 สมบัติด้านแรงบิด (Torque) ของยางผสม NBR:HNBR	88
4.4 พารามิเตอร์การละลายของยางและตัวทำละลายในงานวิจัย	92
4.5 ผลต่างพารามิเตอร์การละลายของยางและตัวทำละลายในงานวิจัย	92
4.6 การยุบตัวถาวรหลังได้รับแรงอัด และปริมาตรที่สูญเสียของยางผสม NBR:HNBR	101
4.7 สมบัติการไหล การบ่มสุก ผลต่างแรงบิด และความหนืดของยางผสม NBR:HNBR ที่สัดส่วน 50:50 ที่เติมผงฟริชพิเตตซิลิกาเป็นสารเติมแต่งรอง	107
4.8 การยุบตัวถาวรหลังได้รับแรงอัด และปริมาตรที่สูญเสียของยางผสม NBR:HNBR ที่สัดส่วน 50:50 ที่เติมผงฟริชพิเตตซิลิกาเป็นสารเติมแต่งรอง	117
4.9 ลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์โอริงก่อนและหลังการแช่น้ำมันแก๊สโซฮอลล์	119
4.10 การคำนวณราคาของสูตรยางผสม NBR:HNBR ที่สัดส่วน 50:50 จากงานวิจัย	130
4.11 การเปรียบเทียบราคาของยางโอริงจากงานวิจัยกับผลิตภัณฑ์ยางโอริงทางการค้า	131

รายการรูปประกอบ

รูป	หน้า
2.1 รถยนต์ที่สามารถใช้เชื้อเพลิงได้อย่างหลากหลาย	11
2.2 การทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ในรถยนต์ FFV	11
2.3 ตัวอย่างวัฏระบบเชื้อเพลิงที่สัมผัสน้ำมันแก๊สโซฮอล์	13
2.4 โครงสร้างของยางฟลูออโรคาร์บอน	14
2.5 โครงสร้างของยางซิลิโคน	14
2.6 โครงสร้างของยางคลอโรพรีน	15
2.7 โครงสร้างของยางเอ็นบีอาร์	16
2.8 โครงสร้างของยางเอชเอ็นบีอาร์	18
2.9 ลักษณะของผลิตภัณฑ์ยางโอริง	20
2.10 การระบุขนาดของโอริง	20
2.11 ตัวอย่างการใช้งานโอริงแบบอยู่กับที่	22
2.12 ตัวอย่างการใช้งานโอริงแบบเคลื่อนที่ได้	22
2.13 สูตรโครงสร้างของแก๊สโซลีน	26
2.14 องค์ประกอบทางเคมีของพื้นผิวเขม่าดำ	36
2.15 การรวมตัวเป็นแอกริเกตของผงเขม่าดำ	37
2.16 กลไกการเกิดพันธะซิดเกาะระหว่างเขม่าดำกับยางเอ็นบีอาร์	40
2.17 โมเดลแสดงลักษณะโครงสร้างของซิลิกา	42
2.18 ลักษณะของหมู่ไฮดรอกซิลบนพื้นผิวของซิลิกา	43
2.19 โครงสร้างทางเคมีของสารก่อกวนไฮโดรเจน Si-69	45
2.20 อันตรกิริยาระหว่างซิลิกาที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารก่อกวนไฮโดรเจนและยาง	46
2.21 การกรีดยางและสลักรูเพื่อให้สารเคมีกระจายตัวได้ดียิ่งขึ้น	48
2.22 ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องอัดไฮดรอลิก	50
2.23 โรเตอร์และช่องใส่ยางของเครื่องมือวัดความดัน	51
2.24 กราฟการคงรูปที่วัดได้จากเครื่อง ODR	52
2.25 แผนภาพแสดงการทำงานของเครื่องเอ็มดีอาร์	54
2.26 รูปแบบของชิ้นงานสำหรับการทดสอบสมบัติแรงดึง	54
2.27 ลักษณะการดึงขึ้นทดสอบแบบวงแหวน	55
2.28 ลักษณะชิ้นงานทดสอบสมบัติความทนทานต่อการฉีกขาด	55

รูป (ต่อ)	หน้า
2.29 ลักษณะของหัวกดแบบต่างๆ	56
2.30 อุปกรณ์สำหรับทดสอบการเสีรูปหลังการกด	57
2.31 ลักษณะของเครื่องทดสอบตามมาตรฐาน DIN 53516	58
3.1 การทดสอบผลิตภัณฑ์ยางโอริงทางการค้าเพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในงานวิจัย	69
3.2 ผลิตภัณฑ์โอริงทางการค้า	69
3.3 ขั้นตอนการศึกษาปริมาณสัดส่วนของยางเอ็นปีอาร์และยางเอชเอ็นปีอาร์	70
3.4 ขั้นตอนการศึกษาปริมาณของผงฟริชพิเตดซิลิกาที่เติมในยางผสม NBR:HNBR	72
3.5 การทดสอบผลิตภัณฑ์ยางโอริงจากงานวิจัยเปรียบเทียบกับยางโอริงทางการค้า	73
3.6 เครื่องผสมระบบปิดความเร็วสูง	74
3.7 ตู้อบ	74
3.8 เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง	75
3.9 การบดผสมยางกับสารเคมี	76
3.10 การกรีดพียางกับสารเคมี	76
3.11 เครื่องรีโอมิเตอร์แบบจานแกว่ง	77
3.12 เครื่องรีโอมิเตอร์แบบคายเคลื่อนที่	77
3.13 เครื่องวัดความหนืดของยางคอมปาวด์	78
3.14 เครื่องอัดขึ้นรูปด้วยความร้อนระบบแรงดัน	78
3.15 ลักษณะแม่พิมพ์สำหรับการขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ (ก) ความต้านทานต่อการขัดถู (ข) การยุบตัวถาวรหลังได้รับแรงอัด (ค) ชิ้นงานแผ่นทดสอบ (ง) ชิ้นงานโอริง	79
3.16 เครื่อง Universal Testing Machine	80
3.17 เครื่อง Durometer	80
3.18 เครื่อง DIN Abrasion Machine	81
3.19 ชุดทดสอบการยุบตัวเมื่อได้รับแรงอัด	82
3.20 การทดสอบการบวมตัวของชิ้นงานยางผสมในน้ำมันแก๊สโซฮอล์	82
3.21 การแช่ชิ้นงานทดสอบในรูปแบบคัมเบลล์ในน้ำมันแก๊สโซฮอล์	83
3.23 การแช่ชิ้นงานทดสอบในรูปแบบโอริงในน้ำมันแก๊สโซฮอล์	83
3.24 การบ่มแรงสภาวะชิ้นงานยางคงรูปด้วยความร้อนในตู้อบ	84
4.1 ลำดับผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง	85
4.2 การบวมตัวของยางผสม NBR:HNBR ภายหลังการแช่น้ำมันแก๊สโซฮอล์ชนิด E10, E20 และ E85 (ก) ที่อุณหภูมิห้อง (ข) ที่อุณหภูมิ 100 °C	90

รูป (ต่อ)	หน้า
4.3 ลักษณะสีของน้ำมันแก๊สโซฮอล์ก่อนแช่และภายหลังการแช่ชิ้นงานยางในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ชนิดต่างๆ (ก) E10 (ข) E20 และ (ค) E85	93
4.4 มอดูลัสที่ระยะยืด 70 เปอร์เซ็นต์ ของยางผสม NBR:HNBR ที่สัดส่วนต่างๆ ก่อนและหลังการแช่ในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ ชนิด E10, E20 และ E85 (ก) ที่อุณหภูมิห้อง (ข) ที่อุณหภูมิ 100 °C	94
4.5 ความต้านแรงดึงสูงสุดของยางผสม NBR:HNBR ที่สัดส่วนต่างๆ ก่อนและหลังการแช่ในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ ชนิด E10, E20 และ E85 (ก) ที่อุณหภูมิห้อง (ข) ที่อุณหภูมิ 100 °C	96
4.6 การยืดตัว ณ จุดขาด ของยางผสม NBR:HNBR ที่สัดส่วนต่างๆ ก่อนและหลังการแช่ในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ ชนิด E10, E20 และ E85 (ก) ที่อุณหภูมิห้อง (ข) ที่อุณหภูมิ 100 °C	97
4.7 ความต้านการฉีกขาดของยางผสม NBR:HNBR ที่สัดส่วนต่างๆ ก่อนและหลังการแช่ในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ ชนิด E10, E20 และ E85 (ก) ที่อุณหภูมิห้อง (ข) ที่อุณหภูมิ 100 °C	98
4.8 ความแข็งที่ผิวของยางผสม NBR:HNBR ที่สัดส่วนต่างๆ ก่อนและหลังการแช่ในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ ชนิด E10, E20 และ E85 (ก) ที่อุณหภูมิห้อง (ข) ที่อุณหภูมิ 100 °C	100
4.9 มอดูลัสของชิ้นงานยางในสภาวะก่อนและหลังการบ่มแรงด้วยความร้อน	103
4.10 ความต้านทานแรงดึงสูงสุดของชิ้นงานยาง สภาวะก่อนและหลังการบ่มแรงด้วยความร้อน	104
4.11 การยืดตัว ณ จุดขาดของชิ้นงานยาง สภาวะก่อนและหลังการบ่มแรงด้วยความร้อน	105
4.12 ความต้านทานแรงฉีกขาดของชิ้นงานยาง สภาวะก่อนและหลังการบ่มแรงด้วยความร้อน	105
4.13 ความแข็งที่ผิวของชิ้นงานยาง สภาวะก่อนและหลังการบ่มแรงด้วยความร้อน	106
4.14 การบวมตัวของยางผสม NBR:HNBR ที่สัดส่วน 50:50 ที่เติมผงฟริชพิเตดซิลิกาเป็นสารเติมแต่งรอง ภายหลังการแช่ในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ชนิด E10, E20 และ E85 (ก) ที่อุณหภูมิห้อง (ข) ที่อุณหภูมิ 100 °C	109
4.15 มอดูลัสที่ระยะยืด 70 เปอร์เซ็นต์ ของยางผสม NBR:HNBR ที่สัดส่วน 50:50 ที่เติมผงฟริชพิเตดซิลิกาเป็นสารเติมแต่งรอง ก่อนและหลังการแช่ในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ ชนิด E10, E20 และ E85 (ก) ที่อุณหภูมิห้อง (ข) ที่อุณหภูมิ 100 °C	111

รูป (ต่อ)

หน้า

4.16 ความต้านแรงดึงสูงสุดของยางผสม NBR:HNBR ที่สัดส่วน 50:50 ที่เติมผง พรีซิพิเตตซิลิกาเป็นสารเติมแต่งรอง ก่อนและหลังการแช่น้ำมันแก๊สโซฮอลล์ ชนิด E10, E20 และ E85 (ก) ที่อุณหภูมิห้อง (ข) ที่อุณหภูมิ 100 °C	112
4.17 การยืดตัว ณ จุดขาด ของยางผสม NBR:HNBR ที่สัดส่วน 50:50 ที่เติมผงพรีซิพิเตต ซิลิกาเป็นสารเติมแต่งรอง ก่อนและหลังการแช่น้ำมันแก๊สโซฮอลล์ชนิด E10, E20 และ E85 (ก) ที่อุณหภูมิห้อง (ข) ที่อุณหภูมิ 100 °C	114
4.18 ความต้านการฉีกขาดของยางผสม NBR:HNBR ที่สัดส่วน 50:50 ที่เติมผงพรีซิพิเตต ซิลิกาเป็นสารเติมแต่งรอง ก่อนและหลังการแช่น้ำมันแก๊สโซฮอลล์ชนิด E10, E20 และ E85 (ก) ที่อุณหภูมิห้อง (ข) ที่อุณหภูมิ 100 °C	115
4.19 ความแข็งที่ผิวของยางผสม NBR:HNBR ที่สัดส่วน 50:50 ที่เติมผงพรีซิพิเตตซิลิกาเป็น สารเติมแต่งรอง ก่อนและหลังการแช่น้ำมันแก๊สโซฮอลล์ชนิด E10, E20 และ E85 (ก) ที่อุณหภูมิห้อง (ข) ที่อุณหภูมิ 100 °C	116
4.20 การบวมตัวของโอริงจากงานวิจัย เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์โอริงทางการค้า หลัง การแช่น้ำมันแก๊สโซฮอลล์ชนิด E10, E20 และ E85	121
4.21 มอดูลัสที่ระยะยืด 50 เปอร์เซ็นต์ ของโอริงจากงานวิจัย เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ โอริงทางการค้า ก่อนและหลังการแช่น้ำมันแก๊สโซฮอลล์ชนิด E10, E20 และ E85	122
4.22 ความต้านแรงดึงสูงสุดของโอริงจากงานวิจัย เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์โอริงทาง การค้า ก่อนและหลังการแช่น้ำมันแก๊สโซฮอลล์ชนิด E10, E20 และ E85	123
4.23 การยืดตัว ณ จุดขาด ของโอริงจากงานวิจัย เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์โอริงทางการค้า ก่อนและหลังการแช่น้ำมันแก๊สโซฮอลล์ชนิด E10, E20 และ E85	123
4.24 ความแข็งที่ผิวของโอริงจากงานวิจัย เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์โอริงทางการค้า ก่อนและหลังการแช่น้ำมันแก๊สโซฮอลล์ชนิด E10, E20 และ E85	124
4.25 การบวมตัวของโอริงจากงานวิจัย ที่มีสารตัวเติมพรีซิพิเตตซิลิกา เปรียบเทียบกับ ผลิตภัณฑ์โอริงทางการค้า ภายหลังการแช่น้ำมันแก๊สโซฮอลล์ชนิด E10, E20 และ E85	125
4.26 มอดูลัสที่ระยะยืด 50 เปอร์เซ็นต์ ของโอริงจากงานวิจัย ที่มีสารตัวเติมพรีซิพิเตต ซิลิกา เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์โอริงทางการค้า ก่อนและหลังการแช่น้ำมัน แก๊สโซฮอลล์ชนิด E10, E20 และ E85	126

รูป (ต่อ)	หน้า
4.27 ความต้านแรงดึงสูงสุดของโอรังจากงานวิจัย ที่มีสารตัวเติมพรีซิพิตเตชันลิกา เปรียบเทียบกับโอรังทางการค้า ก่อนและหลังการแช่น้ำมันแก๊สโซฮอลล์ ชนิด E10, E20 และ E85	127
4.28 การยืดตัว ณ จุดขาดของโอรังจากงานวิจัย ที่มีสารตัวเติมพรีซิพิตเตชันลิกา เปรียบเทียบกับโอรังทางการค้า ก่อนและหลังการแช่น้ำมันแก๊สโซฮอลล์ ชนิด E10, E20 และ E85	128
4.29 ความแข็งที่ผิวของผลิตภัณฑ์โอรังจากงานวิจัย ที่มีสารตัวเติมพรีซิพิตเตชันลิกา เปรียบเทียบกับโอรังทางการค้า ก่อนและหลังการแช่น้ำมันแก๊สโซฮอลล์ ชนิด E10, E20 และ E85	129