สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ง
กิตติกรรมประกาศ ฉ
สารบัญ ช
รายการตาราง ฎ
รายการรูปประกอบ ฎ
รายการสัญลักษณ์ ถ
ประมวลศัพท์และคำย่อ ท

บทที่

1. บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงานวิจัย 1
1.2 วัตถุประสงค์ 2
1.3 ขอบเขตการศึกษา 2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3

2.1 ยางธรรมชาติ (Natural rubber) 3
2.1.1 สมบัติโดยทั่วไปของยางธรรมชาติ (Properties of natural rubber) 3
2.2 การปรับปรุงสมบัติของยางธรรมชาติ 4
2.2.1 การดัดแปรโครงสร้างโมเลกุลของยางธรรมชาติ 4
2.2.2 เทคโนโลยียางผสม (Rubber blend technology) 9
2.3 การศึกษาความเข้ากันได้ของยางผสม (Miscibility of rubber blend) 17
2.3.1 การวิเคราะห์จากค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วโดยใช้เทคนิค DSC 19
2.3.2 การวิเคราะห์จากอันตรกิริยาภายในโมเลกุลระหว่างยางผสมโดยใช้เทคนิค RPA 20
2.3.3 การวิเคราะห์จากสมบัติความยืดหยุ่น และความสามารถในการไหล โดยใช้เทคนิค RPA 21

หน้า

2.4	อันตรกิริยาระหว่างเขม่าดำกับยางผสม	23
2.4.1	การศึกษาจากค่าบาวด์รับเบอร์ (Bound rubber)	23
2.4.2	Strain sweep	24
2.5	สมบัติของยางผสมวัลคาไนเซท (Rubber-blended vulcanizates)	26
2.5.1	พฤติกรรมการคงรูป (Cure characteristics)	26
2.5.2	สมบัติเชิงกลและความทนต่อการเสื่อมสภาพของผลิตภัณฑ์ยาง	27
2.6	ยางสังเคราะห์ที่ใช้ในงานวิจัย	28
2.6.1	ยางไนไตรล์ (Acrylonitrile Butadiene Rubber, NBR)	28
2.6.2	ยางคลอโรพรีน (Chloroprene Rubber, CR)	30
2.7	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	33
3.	**ระเบียบวิธีการทดลอง**	**37**
3.1	เครื่องมือและอุปกรณ์	37
3.2	สารเคมี	38
3.3	ขั้นตอนการทดลอง	39
3.3.1	การสังเคราะห์ยางธรรมชาติอิพอกซิไดซ์และการหาปริมาณหมู่อิพอกซี	39
3.3.2	การสังเคราะห์ยาง CNR และยาง HNR	39
3.3.3	การทดสอบโครงสร้างของยางธรรมชาติหลังผ่านการเพิ่มหมู่ฟังก์ชัน	39
3.3.4	การผสมยาง (Blending)	40
3.3.5	การศึกษาความเข้ากันได้ของยางผสม	40
3.3.6	การเตรียมยางคอมโพสิท	41
3.3.7	การศึกษาอันตรกิริยาระหว่างยางกับอนุภาคเขม่าดำของยางคอมโพสิท	41
3.3.8	การเตรียมยางคอมปาวด์	42
3.3.9	การทดสอบพฤติกรรมการคงรูปของยางคอมปาวด์	42
3.3.10	การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง	43
3.3.11	การทดสอบสมบัติเชิงกลและการเสื่อมของยางผลิตภัณฑ์ยาง	43

หน้า

4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล **44**

4.1 การหาปริมาณหมู่อิพอกซีในยางที่ผ่านการทำปฏิกิริยาอิพอกซิเดชัน 44

4.2 การศึกษาผลของการเพิ่มหมู่ฟังก์ชันที่มีต่อโครงสร้างของยางธรรมชาติ 45

4.2.1 ผลการศึกษาโครงสร้างโมเลกุลโดยใช้เทคนิค FTIR 45

4.2.2 ผลการศึกษาการดัดแปรโครงสร้างยางธรรมชาติจากเทคนิค DSC 49

4.3 การศึกษาสมบัติความเข้ากันได้ (Compatibility) ของยางผสม 50

4.3.1 ผลการศึกษาจากค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) โดยใช้เทคนิค DSC 50

4.3.2 ผลการศึกษาจากค่าผลต่างระหว่างแรงบิด ($S'_{max} - S'_{min}$, $\Delta S'$) 53

4.3.3 ผลการศึกษาจากค่าอิลาสติกมอดูลัส (G') และความสามารถในการไหลของยางผสม (tan δ) โดยใช้เทคนิค RPA 55

4.4 การศึกษาอันตรกิริยาระหว่างยางผสมกับอนุภาคของเขม่าดำ 67

4.4.1 ค่าบาวด์รับเบอร์ 67

4.4.2 ค่า G' ของคอมโพสิทที่วัดในสภาวะ Strain sweep 69

4.5 พฤติกรรมการคงรูปของยางคอมปาวด์ 73

4.5.1 ยางคอมปาวด์ของยาง STR5L หรือยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันกับยางคลอโรพรีน 73

4.5.2 ยางคอมปาวด์ของยาง STR5L หรือยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันกับยางไนไตรล์ 76

4.6 การศึกษาสมบัติเชิงกลและการเสื่อมสภาพของผลิตภัณฑ์ยาง 78

4.6.1 ศึกษาผลของความร้อนที่มีต่อสมบัติของผลิตภัณฑ์ยาง 78

4.6.2 ศึกษาผลของตัวทำละลายโทลูอีนที่มีต่อสมบัติของผลิตภัณฑ์ยาง 84

4.6.3 ศึกษาผลของน้ำมันไฮโดรลิกที่มีต่อสมบัติของผลิตภัณฑ์ยาง 90

5. สรุปผลการทดลอง **95**

5.1 สรุปผลของการศึกษาความเข้ากันได้ของยางผสม 95

5.2 สรุปผลของการศึกษาอันตรกิริยาระหว่างยางผสมกับอนุภาคเขม่าดำ 95

5.3 สรุปผลของการศึกษาพฤติกรรมการคงรูปของยางคอมปาวด์ 96

5.4 สรุปผลของการศึกษาสมบัติเชิงกลและการเสื่อมของผลิตภัณฑ์ยาง 96

		หน้า
เอกสารอ้างอิง		**97**
ภาคผนวก		**103**
ก.	วิธีการหาปริมาณเนื้อยางแห้ง	103
ข.	การคำนวณหา % bound rubber	106
ค.	Thermogram ของยางชนิดต่างๆที่วัดได้จากเทคนิค DSC	107
ง.	กราฟผลการทดลองของยางแต่ละชนิดที่วัดในโหมด frequency sweep ด้วยเทคนิค RPA	124
จ.	ตารางข้อมูลผลการทดลอง	139
ประวัติผู้เขียน		**143**

รายการตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	ยางไนไตรล์เกรดที่มีปริมาณหมู่อะคริโลไนไตรล์สูง	29
2.2	ยางไนไตรล์เกรดที่มีปริมาณหมู่อะคริโลไนไตรล์ปานกลาง	29
2.3	ยางไนไตรล์เกรดที่มีปริมาณหมู่อะคริโลไนไตรล์ต่ำ	30
2.4	สมบัติการวัลคาไนซ์ของยางคลอโรพรีนเกรดต่างๆ	32
3.1	อัตราส่วนการผสมยางคอมปาวด์	42
4.1	ค่า T_g ของยางENR1และENR2 และปริมาณหมู่อิพอกซีที่คำนวณได้	44
4.2	ค่า Transmittance intensity ratio ของ C=O เทียบกับ C=C ของยาง CNR1 และ	47
4.3	ค่า Transmittance intensity ratio ของ OH เทียบกับ C=C ของยาง CNR1 และ CNR2	47
4.4	แสดงค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของยางผสมระหว่างยาง STR5L, ยาง CNR1, ยางCNR2 และยางHNR กับยางคลอโรพรีน (CR)	52
4.5	แสดงค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของยางผสมระหว่างยาง STR5L, ยาง CNR1, ยางCNR2 และยางHNR กับยางไนไตรล์ (NBR)	52
4.6	แสดงค่าระยะเวลาที่ยางเริ่มเกิดการคงรูป (t_{s2}) ของยางผสมระหว่างยาง STR5L, ยาง CNR1, ยางCNR2 และยางHNR กับยางคลอโรพรีน (CR)	74
4.7	แสดงค่าระยะเวลาที่ยางเกิดการคงรูปที่ 90 % (t_{90}) ของยางผสมระหว่างยาง STR5L, ยาง CNR1, ยางCNR2 และยางHNR กับยางคลอโรพรีน (CR)	74
4.8	แสดงค่าดัชนีการคงรูป (CRI) ของยางผสมระหว่างยาง STR5L, ยาง CNR1, ยางCNR2 และยางHNR กับยางคลอโรพรีน (CR)	75
4.9	แสดงค่าผลต่างแรงบิด ($\Delta S'$) ของยางผสมระหว่างยาง STR5L, ยาง CNR1, ยางCNR2 และยางHNR กับยางคลอโรพรีน (CR)	75
4.10	แสดงค่าระยะเวลาที่ยางเริ่มเกิดการคงรูป (t_{s2}) ของยางผสมระหว่างยาง STR5L, ยาง CNR1, ยางCNR2 และยางHNR กับยางไนไตรล์ (NBR)	76
4.11	แสดงค่าระยะเวลาที่ยางเกิดการคงรูปที่ 90 % (t_{90}) ของยางผสมระหว่างยาง STR5L, ยาง CNR1, ยางCNR2 และยางHNR กับยางไนไตรล์ (NBR)	77
4.12	แสดงค่าดัชนีการคงรูป (CRI) ของยางผสมระหว่างยาง STR5L, ยาง CNR1, ยางCNR2 และยางHNR กับยางไนไตรล์ (NBR)	77
4.13	แสดงค่าผลต่างแรงบิด ($\Delta S'$) ของยางผสมระหว่างยาง STR5L, ยาง CNR1, ยางCNR2 และยางHNR กับยางไนไตรล์ (NBR)	77

รายการรูปประกอบ

รูปที่		หน้า
2.1	สูตรโครงสร้างยางธรรมชาติแบบ cis-1, 4-polyisoprene	3
2.2	แสดงผลของอุณหภูมิที่มีต่อสมบัติของผลิตภัณฑ์ยาง	4
2.3	แสดงปฏิกิริยาอิพอกซิเดชันของยางธรรมชาติกับกรดเปอร์ฟอร์มิก	5
2.4	แสดงปฏิกิริยาการเปิดวงอิพอกไซด์ในระหว่างปฏิกิริยาอิพอกซิเดชัน	7
2.5	แสดงปฏิกิริยาการเปิดวงอิพอกซีด้วยสารเคมีชนิดต่างๆ	7
2.6	FTIR spectra ของ (a) ยางธรรมชาติ (b) ยาง ENR	8
2.7	แสดงแผนผังประเภทของยางผสม	11
2.8	แสดงเทอร์โมแกรมของ (a) ยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางอะคริลิกและ (b) ยางผสมระหว่างยางธรรมชาติที่ผ่านการทำปฏิกิริยาโอโซโนไลซิสกับยางอะคริลิก	12
2.9	แสดงผลของน้ำหนักโมเลกุลที่มีต่อเฟสไดอะแกรม	13
2.10	แสดงชนิดของการเชื่อมโยงด้วยกำมะถัน	15
2.11	แสดงการเชื่อมโยงยางคลอโรพรีนด้วยซิงค์ออกไซด์ (ZnO)	16
2.12	แสดงเทอร์โมแกรมของ PET เมื่อวัดด้วยเทคนิค DSC	19
2.13	แสดงภาพตัดขวางของหัวดายของเครื่อง RPA	22
2.14	แสดงลักษณะการเคลื่อนไหวของสายโซ่โมเลกุลของยางเมื่อได้รับการกระตุ้น	22
2.15	แสดงการเกาะติดของโมเลกุลยางกับเขม่าดำ	23
2.16	แสดงการเกิดแรงกระทำในยางคอมโพสิทที่มีฟิลเลอร์ผสมอยู่	24
2.17	แสดงปรากฏการณ์ Payne Effect ของคอมโพสิทของยาง SSBR ที่ผสมเขม่าดำ	25
2.18	แสดงขั้นตอนต่างๆของการวัลคาไนซ์	27
2.19	แสดงโครงสร้างของยางไนไตรล์	28
2.20	แสดงโครงสร้างของยางคลอโรพรีน	31
4.1	กราฟมาตรฐานระหว่างค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) กับปริมาณหมู่อิพอกซีของยางมาตรฐานที่มีปริมาณหมู่อิพอกซีเท่ากับ 0, 25 และ 50% โดยโมล	44
4.2	FTIR สเปกตรัมของยางธรรมชาติ (STR5L) ในช่วงเลขคลื่น 4,000-650 cm^{-1}	45
4.3	FTIR สเปกตรัมของยาง CNR1 และยาง CNR2 ในช่วงเลขคลื่น 4,000-650 cm^{-1}	46
4.4	โครงสร้างโมเลกุลที่คาดว่าน่าจะเป็นของยาง CNR	46

รูปที่		หน้า
4.5	FTIR สเปกตรัมของยาง HNR ในช่วงเลขคลื่น 4,000-650 cm^{-1}	48
4.6	โครงสร้างโมเลกุลที่คาดว่าน่าจะเป็นของยาง HNR	48
4.7	แสดง Thermograms ของยางแต่ละชนิด	49
4.8	Thermograms ของยางผสมระหว่างยางคลอโรพรีนกับ (a) ยาง STR5L, (b) ยาง CNR1, (c) ยาง CNR2, (d) ยาง HNR และยางผสมระหว่างยางไนไตรล์กับ (e) ยาง STR5L, (f) ยาง CNR1, (g) ยาง CNR2 และ (h) ยางHNR	51
4.9	แสดงค่าผลต่างแรงบิดของยางผสมที่มียางคลอโรพรีนผสมอยู่ เมื่อทำการออกแรงเฉือนด้วยเครื่อง RPA ที่อุณหภูมิ 150 ^{o}C, 30 นาที	54
4.10	แสดงค่าผลต่างแรงบิดของยางผสมที่มียางไนไตรล์ผสมอยู่ เมื่อทำการออกแรงเฉือนด้วยเครื่อง RPA ที่อุณหภูมิ 150 ^{o}C, 30 นาที	54
4.11	ค่า G' ของยางผสมระหว่างยางคลอโรพรีนกับ (a) ยาง STR5L, (b) ยาง HNR, (c) ยาง CNR1, (d) ยาง CNR2 ที่ความถี่ตั้งแต่ 10-2,000 cpm, 150 ^{o}C และองศาการแกว่งของหัวดาย 7% คงที่	56
4.12	ค่า G' ของยางผสมที่มียางคลอโรพรีนผสมอยู่ (a) 30%, (b) 50%, (c) 70%w/wที่ความถี่ 10-2,000 cpm	56
4.13	ค่า tan δ ของยางผสมระหว่างยางคลอโรพรีนกับ (a) ยาง STR5L, (b) ยาง HNR, (c) ยาง CNR1, (d) ยาง CNR2 ที่ความถี่ตั้งแต่ 10-2,000 cpm, 150 ^{o}C และองศาการแกว่งของหัวดาย 7% คงที่	57
4.14	ค่า tan δ ของยางผสมที่มียางคลอโรพรีนผสมอยู่ (a) 30%, (b) 50%, (c) 70%w/w ที่ความถี่ 10-2,000 cpm	58
4.15	ค่า G' ของยางผสมระหว่างยางไนไตรล์กับ (a) ยาง STR5L, (b) ยาง HNR, (c) ยาง CNR1, (d) ยาง CNR2 ที่ความถี่ตั้งแต่ 10-2,000 cpm, 150 ^{o}C และองศาการแกว่งของหัวดาย 7% คงที่	59
4.16	ค่า G' ของยางผสมที่มียางไนไตรล์ผสมอยู่ (a) 30%, (b) 50%, (c) 70%w/w ที่ความถี่ 10-2,000 cpm	59
4.17	ค่า tan δ ของยางผสมระหว่างยางไนไตรล์กับ (a) ยาง STR5L, (b) ยาง HNR, (c) ยาง CNR1, (d) ยาง CNR2 ที่ความถี่ตั้งแต่ 10-2,000 cpm, 150 ^{o}C และองศาการแกว่งของหัว ดาย 7% คงที่	60

รูปที่		หน้า
4.18	ค่า tan δ ของยางผสมที่มียางไนไตรล์ผสมอยู่ (a) 30%, (b) 50%, (c) 70%w/w ที่ความถี่ 10-2,000 cpm	60
4.19	ค่า G' ของยางผสมระหว่างยางคลอโรพรีนกับ (a) ยาง STR5L, (b) ยาง HNR, (c) ยาง CNR1, (d) ยาง CNR2 ที่อุณหภูมิของหัวดายตั้งแต่ 50-200°C ที่ความถี่ 100 cpm และองศาการแกว่งของหัวดาย 7% คงที่	62
4.20	ค่า G' ของยางผสมที่มียางคลอโรพรีนผสมอยู่ (a) 30%, (b) 50%, (c) 70%w/w ที่อุณหภูมิ 50-200 °C	62
4.21	ค่า tan δ ของยางผสมระหว่างยางคลอโรพรีนกับ (a) ยาง STR5L, (b) ยาง HNR, (c) ยาง CNR1, (d) ยาง CNR2 ที่อุณหภูมิของหัวดายตั้งแต่ 50-200°C ที่ความถี่ 100 cpm และองศาการแกว่งของหัวดาย 7% คงที่	63
4.22	ค่า tan δ ของยางผสมที่มียางคลอโรพรีนผสมอยู่ (a) 30%, (b) 50%, (c) 70%w/w ที่อุณหภูมิ 50-200 °C	63
4.23	ค่า G' ของยางผสมระหว่างยางไนไตรล์กับ (a) ยาง STR5L, (b) ยาง HNR, (c) ยาง CNR1, (d) ยาง CNR2 ที่อุณหภูมิของหัวดายตั้งแต่ 50-200°C ที่ความถี่ 100 cpm และองศาการแกว่งของหัวดาย 7% คงที่	64
4.24	ค่า G' ของยางผสมที่มียางไนไตรล์ผสมอยู่ (a) 30%, (b) 50%, (c) 70%w/w ที่อุณหภูมิ 50-200 °C	64
4.25	ค่า tan δ ของยางผสมระหว่างยางไนไตรล์กับ (a) ยาง STR5L, (b) ยาง HNR, (c) ยาง CNR1, (d) ยาง CNR2 ที่อุณหภูมิของหัวดายตั้งแต่ 50-200°C ที่ความถี่ 100 cpm และองศาการแกว่งของหัวดาย 7% คงที่	65
4.26	ค่า tan δ ของยางผสมที่มียางไนไตรล์ผสมอยู่ (a) 30%, (b) 50%, (c) 70%w/w ที่อุณหภูมิ 50-200 °C	66
4.27	แสดงค่าบาวด์รับเบอร์ของคอมโพสิทของยาง STR5L และยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันชนิดต่างๆที่มียางคลอโรพรีนผสมอยู่ เมื่อใช้สารละลายโทลูอีนเป็นตัวทำละลาย ณ อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง	67
4.28	แสดงค่าบาวด์รับเบอร์ของคอมโพสิทของยาง STR5L และยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันชนิดต่างๆที่มียางไนไตรล์ผสมอยู่ เมื่อใช้สารละลายโทลูอีนเป็นตัวทำละลาย ณ อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง	68

รูปที่		หน้า
4.29	แสดงค่า G' ของคอมโพสิทของยาง (a) STR5L, CNR1, CNR2, HNR, ยางคลอโรพรีน และของคอมโพสิทของยางที่ผสมยางคลอโรพรีนลงไป (b) 30 %, (c) 50 % และ (d) 70% w/w โดยเปรียบเทียบกับยางที่ไม่ผสมเขม่าดำ	70
4.30	แบบจำลองแสดงการเกิดอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคเขม่าดำกับยาง (a) STR5L, (b) HNR, (c) CNR	70
4.31	แสดงค่า ΔG' ยาง (a) STR5L, CNR1, CNR2, HNR, ยางคลอโรพรีน และของคอมโพสิทยางที่ผสมยางคลอโรพรีนลงไป (b) 30 %, (c) 50 % และ (d) 70% w/w โดยเปรียบเทียบกับยางที่ไม่ผสมเขม่าดำ	71
4.32	แสดงค่า G' ของคอมโพสิทของยาง (a) STR5L, CNR1, CNR2, HNR, ยางไนไตรล์ และของคอมโพสิทของยางที่ผสมยางไนไตรล์ ลงไป (b) 30 %, (c) 50 % และ (d) 70% w/w โดยเปรียบเทียบกับยางที่ไม่ผสมเขม่าดำ	72
4.33	แสดงค่า ΔG' ยาง (a) STR5L, CNR1, CNR2, HNR, ยางไนไตรล์ และของยางที่ผสมยางไนไตรล์ลงไป (b) 30 %, (c) 50 % และ (d) 70% w/w	73
4.34	พฤติกรรมการคงรูปของยางคอมปาวด์ที่ผสมยางคลอโรพรีน (a) t_{s2}, (b) t_{90}, (c) CRI, (d) $\Delta S'$	76
4.35	พฤติกรรมการคงรูปของยางคอมปาวด์ที่ผสมยางไนไตรล์ (a) t_{s2}, (b) t_{90}, (c) CRI, (d) $\Delta S'$	78
4.36	ผลของความร้อน (150 ^{o}C, 72 ชั่วโมง) ที่มีต่อค่ามอดูลัสของผลิตภัณฑ์ยาง STR5L และยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันที่มียางคลอโรพรีนผสมอยู่ในอัตราส่วนต่างๆ	79
4.37	ผลของความร้อน (150 ^{o}C, 72 ชั่วโมง) ที่มีต่อค่าความทนต่อแรงดึงของผลิตภัณฑ์ยาง STR5L และยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันที่มียางคลอโรพรีนผสมอยู่ในอัตราส่วนต่างๆ	79
4.38	ผลของความร้อน (150 ^{o}C, 72 ชั่วโมง) ที่มีต่อการยืดตัว ณ จุดขาดของผลิตภัณฑ์ยาง STR5L และยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันที่มียางคลอโรพรีนผสมอยู่ในอัตราส่วนต่างๆ	80
4.39	ผลของความร้อน (150 ^{o}C, 72 ชั่วโมง) ที่มีต่อค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ยาง STR5L และยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันที่มียางคลอโรพรีนผสมอยู่ในอัตราส่วนต่างๆ	80

รูปที่ **หน้า**

4.40 ค่าสมบัติสัมพัทธ์ของ (a) มอดูลัส (b) ความทนต่อแรงดึง (c) การยืดตัว ณ จุดขาด (d) ความแข็งของผลิตภัณฑ์ยางที่มียางคลอโรพรีนผสมอยู่ เมื่อผ่านการให้ความร้อนที่ 100 °C, 72 ชั่วโมง 81

4.41 ผลของความร้อน (150 °C, 72 ชั่วโมง) ที่มีต่อค่ามอดูลัสของผลิตภัณฑ์ยาง STR5L และยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันที่มียางไนไตรล์ผสมอยู่ในอัตราส่วนต่างๆ 82

4.42 ผลของความร้อน (150 °C, 72 ชั่วโมง) ที่มีต่อค่าความทนต่อแรงดึงของผลิตภัณฑ์ยาง STR5L และยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันที่มียางไนไตรล์ผสมอยู่ในอัตราส่วนต่างๆ 82

4.43 ผลของความร้อน (150 °C, 72 ชั่วโมง) ที่มีต่อค่าระยะยืด ณ จุดขาดของผลิตภัณฑ์ยาง STR5L และยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันที่มียางไนไตรล์ผสมอยู่ในอัตราส่วนต่างๆ 83

4.44 ผลของความร้อน (150 °C, 72 ชั่วโมง) ที่มีต่อค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ยาง STR5L และยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันที่มียางไนไตรล์ผสมอยู่ในอัตราส่วนต่างๆ 83

4.45 ค่าสมบัติสัมพัทธ์ของ (a) มอดูลัส (b) ความทนต่อแรงดึง (c) การยืดตัว ณ จุดขาด (d) ความแข็งของผลิตภัณฑ์ยางที่มียางไนไตรล์ผสมอยู่ เมื่อผ่านการให้ความร้อนที่ 100 °C, 72 ชั่วโมง 84

4.46 ผลของตัวทำละลายโทลูอีน (อุณหภูมิห้อง, 72 ชั่วโมง) ที่มีต่อค่ามอดูลัสของผลิตภัณฑ์ยาง STR5L และยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันที่มียางคลอโรพรีนผสมอยู่ในอัตราส่วนต่างๆ 84

4.47 ผลของตัวทำละลายโทลูอีน (อุณหภูมิห้อง, 72 ชั่วโมง) ที่มีต่อค่าความทนต่อแรงดึงของผลิตภัณฑ์ยาง STR5L และยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันที่มียางคลอโรพรีนผสมอยู่ในอัตราส่วนต่างๆ 85

4.48 ผลของตัวทำละลายโทลูอีน (อุณหภูมิห้อง, 72 ชั่วโมง) ที่มีต่อค่าระยะยืด ณ จุดขาดของผลิตภัณฑ์ยาง STR5L และยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันที่มียางคลอโรพรีนผสมอยู่ในอัตราส่วนต่างๆ 85

รูปที่		หน้า
4.49	ผลของตัวทำละลายโทลูอีน (อุณหภูมิห้อง, 72 ชั่วโมง) ที่มีต่อค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ยาง STR5L และยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันที่มียางคลอโรพรีนผสมอยู่ในอัตราส่วนต่างๆ	86
4.50	ค่าสมบัติสัมพัทธ์ของ (a) มอดูลัส (b) ความทนต่อแรงดึง (c) การยืดตัว ณ จุดขาด (d) ความแข็งของผลิตภัณฑ์ยางที่มียางคลอโรพรีนผสมอยู่ เมื่อผ่านการแช่ในโทลูอีนที่อุณหภูมิห้อง, 72 ชั่วโมง	86
4.51	ผลของตัวทำละลายโทลูอีน (อุณหภูมิห้อง, 72 ชั่วโมง) ที่มีต่อค่ามอดูลัสของผลิตภัณฑ์ยาง STR5L และยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันที่มียางไนไตรล์ผสมอยู่ในอัตราส่วนต่างๆ	87
4.52	ผลของตัวทำละลายโทลูอีน (อุณหภูมิห้อง, 72 ชั่วโมง) ที่มีต่อค่าความทนต่อแรงดึงของผลิตภัณฑ์ยาง STR5L และยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันที่มียางไนไตรล์ผสมอยู่ในอัตราส่วนต่างๆ	88
4.53	ผลของตัวทำละลายโทลูอีน (อุณหภูมิห้อง, 72 ชั่วโมง) ที่มีต่อค่าระยะยืด ณ จุดขาดของผลิตภัณฑ์ยาง STR5L และยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันที่มียางไนไตรล์ผสมอยู่ในอัตราส่วนต่างๆ	88
4.54	ผลของตัวทำละลายโทลูอีน (อุณหภูมิห้อง, 72 ชั่วโมง) ที่มีต่อค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ยาง STR5L และยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันที่มียางไนไตรล์ผสมอยู่ในอัตราส่วนต่างๆ	89
4.55	ค่าสมบัติสัมพัทธ์ของ (a) มอดูลัส (b) ความทนต่อแรงดึง (c) การยืดตัว ณ จุดขาด (d) ความแข็งของผลิตภัณฑ์ยางที่มียางไนไตรล์ผสมอยู่ เมื่อผ่านการแช่ในโทลูอีนที่อุณหภูมิห้อง, 72 ชั่วโมง	89
4.56	ผลของน้ำมันไฮโดรลิก (อุณหภูมิห้อง, 72 ชั่วโมง) ที่มีต่อค่ามอดูลัสของผลิตภัณฑ์ยาง STR5L และยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันที่มียางคลอโรพรีนผสมอยู่ในอัตราส่วนต่างๆ	90
4.57	ผลของน้ำมันไฮโดรลิก (อุณหภูมิห้อง, 72 ชั่วโมง) ที่มีต่อค่าความทนต่อแรงดึงของผลิตภัณฑ์ยาง STR5L และยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันที่มียางคลอโรพรีนผสมอยู่ในอัตราส่วนต่างๆ	90

รูปที่		หน้า
4.58	ผลของน้ำมันไฮโดรลิก (อุณหภูมิห้อง, 72 ชั่วโมง) ที่มีต่อค่าระยะยืด ณ จุดขาด ของผลิตภัณฑ์ยาง STR5L และยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันที่มียางคลอโรพรีน ผสมอยู่ในอัตราส่วนต่างๆ	91
4.59	ผลของน้ำมันไฮโดรลิก (อุณหภูมิห้อง, 72 ชั่วโมง) ที่มีต่อค่าความแข็ง ของผลิตภัณฑ์ยาง STR5L และยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันที่มียางคลอโรพรีน ผสมอยู่ในอัตราส่วนต่างๆ	91
4.60	ค่าสมบัติสัมพัทธ์ของ (a) มอดูลัส (b) ความทนต่อแรงดึง (c) การยืดตัว ณ จุดขาด (d) ความแข็งของผลิตภัณฑ์ยางที่มียางคลอโรพรีนผสมอยู่ เมื่อผ่านการแช่ในน้ำมัน ไฮโดรลิกที่อุณหภูมิห้อง, 72 ชั่วโมง	92
4.61	ผลของน้ำมันไฮโดรลิก (อุณหภูมิห้อง, 72 ชั่วโมง) ที่มีต่อค่ามอดูลัส ของผลิตภัณฑ์ยาง STR5L และยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันที่มียางไนไตรล์ ผสมอยู่ในอัตราส่วนต่างๆ	92
4.62	ผลของน้ำมันไฮโดรลิก (อุณหภูมิห้อง, 72 ชั่วโมง) ที่มีต่อค่าความทนต่อแรงดึง ของผลิตภัณฑ์ยาง STR5L และยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันที่มียางไนไตรล์ ผสมอยู่ในอัตราส่วนต่างๆ	93
4.63	ผลของน้ำมันไฮโดรลิก (อุณหภูมิห้อง, 72 ชั่วโมง) ที่มีต่อค่าระยะยืด ณ จุดขาด ของผลิตภัณฑ์ยาง STR5L และยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันที่มียางไนไตรล์ ผสมอยู่ในอัตราส่วนต่างๆ	93
4.64	ผลของน้ำมันไฮโดรลิก (อุณหภูมิห้อง, 72 ชั่วโมง) ที่มีต่อค่าความแข็ง ของผลิตภัณฑ์ยาง STR5L และยางธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันที่มียางไนไตรล์ ผสมอยู่ในอัตราส่วนต่างๆ	94
4.65	ค่าสมบัติสัมพัทธ์ของ (a) มอดูลัส (b) ความทนต่อแรงดึง (c) การยืดตัว ณ จุดขาด (d) ความแข็งของผลิตภัณฑ์ยางที่มียางไนไตรล์ผสมอยู่ เมื่อผ่านการแช่ในน้ำมัน ไฮโดรลิกที่อุณหภูมิห้อง, 72 ชั่วโมง	94

รายการสัญลักษณ์

G'	=	Storage modulus
G"	=	Loss modulus
tan δ	=	Loss tangent
T_g	=	Glass transition temperature
Δ tan δ	=	tan δ_{max} - tan δ_{min}
CB N330	=	Carbon black N330 grade
CR	=	Chloroprene rubber
NBR	=	Nitrile rubber
CRI	=	Cure rate index

ประมวลศัพท์และคำย่อ

cpm	=	cycles per minute
dNm	=	deci Newton meters
^{o}C	=	degree Celsius
kPa	=	kiloPascal
MPa	=	megaPascal
mg	=	milligram
mW	=	milliwatt
min	=	minute
w/w	=	weight by weight