สารบัญ

		หน้า
สารบัญ		(8)
รายการตาราง		(10)
รายการภาพประกอบ		(14)
บทที่		
1	บทนำ	1
	1.1 บทนำต้นเรื่อง	1
	1.2 การตรวจเอกสาร	2
	1.3 วัตถุประสงค์	9
	1.4 ขอบเขตของการวิจัย	9
	1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	10
2	ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	11
	2.1 ยางธรรมชาติ	11
	2.2 การวัลคาไนซ์	21
	2.3 ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางคอมเปาวด์	30
	2.4 จลนพลศาสตร์การวัลคาไนซ์	32
	2.5 การศึกษาค่าพลังงานกระตุ้นการวัลคาไนซ์	33
	2.6 การวัลคาไนซ์ยางหนา	35
	2.7 การใช้หลักสถิติเพื่อการออกสูตรยาง	48
	2.8 ยางรองคอสะพาน	56
	2.9 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมยางรองคอสะพาน	59
3	วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง	69
	3.1 สารเคมี	69
	3.2 อุปกรณ์การทดลอง	70
	3.3 วิธีการทดลอง	79
4	ผลการทดลองและวิจารณ์	101
	4.1 ผลการศึกษาสมบัติของยางธรรมชาติดิบ	101

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2	ผลการศึกษาลักษณะการวัลคาไนซ์และพลังงานกระตุ้นการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติเกรดต่าง ๆที่ใช้ระบบวัลคาไนซ์แบบกำมะถันปกติ เซมิอีวี และอีวี	102
4.3	ผลการศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์ของยางธรรมชาติเกรดต่าง ๆ	126
4.4	ผลการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนเบลนด์ของยางธรรมชาติที่มีราคาสูงและราคาต่ำ ปริมาณกำมะถัน และสารตัวเร่ง ที่มีผลต่อลักษณะการวัลคาไนซ์และสมบัติทางฟิสิกส์ของยางโดยใช้หลักสถิติที่เรียกว่า Response Surface Methodology (RSM) ในการออกสูตรยาง	141
4.5	ผลการศึกษาการพัฒนาสูตรยางรองคอสะพาน	164
5	สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ	179
5.1	สรุปผลการทดลอง	179
5.2	ข้อเสนอแนะ	181
เอกสารอ้างอิง		182
ภาคผนวก		187
ก.	กราฟแสดงลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติเกรดต่าง ๆ	188
ข.	ลักษณะของผิวยางหลังจากการทดสอบความทนทานต่อโอโซน	195
ค.	ตัวอย่างกราฟคอนทัวร์	198
ประวัติผู้เขียน		225

รายการตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	ค่าอุณหภูมิตรงกลางที่เพิ่มขึ้นที่คำนวณได้	40
2.2	สูตรยางที่ใช้ในการศึกษาการวัดระดับการวัลคาไนซ์ด้วยเบ้าหนา โดยใช้เครื่องวัดระดับการวัลคาไนซ์	45
2.3	เวลาที่ใช้ในการวัลคาไนซ์ ของสูตรยางที่อุณหภูมิการวัลคาไนซ์ต่างๆ	45
2.4	ตัวอย่าง เวลา อุณหภูมิ และเปอร์เซ็นต์การวัลคาไนซ์ที่คำนวณได้	46
2.5	ค่า a ของจำนวนตัวแปรอิสระต่าง ๆ	51
2.6	จำนวนระดับการแปรปริมาณของตัวแปรอิสระ	52
2.7	จำนวนการทดลองของจำนวนตัวแปรต่างๆ	52
2.8	แบบการทดลอง 2 ตัวแปรแปรค่า 5 ระดับ	53
2.9	แบบการทดลอง 3 ตัวแปรแปรค่า 5 ระดับ	53
2.10	ค่าความแข็งและค่ามอดุลัสของยาง	59
2.11	เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของมิติ	61
2.12	สมบัติทางฟิสิกส์ของแผ่นยางประเภท CR	63
2.13	สมบัติทางฟิสิกส์ของแผ่นยางประเภท NR	64
2.14	แผนการชักตัวอย่าง	66
2.15	อุณหภูมิและเวลาในการอบ	67
2.16	ความเข้มข้นของโอโซนและเวลาในการทดสอบความทนโอโซน	68
3.1	สูตรที่ใช้ศึกษาลักษณะการวัลคาไนซ์และค่าพลังงานกระตุ้น	81
3.2	สูตรที่ใช้ศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์	82
3.3	ขนาดของตัวอย่างทดสอบความทนต่อแรงดึง	83
3.4	จำนวนรอบ running-in การทดสอบความต้านทานต่อการสึกหรอ	88
3.5	สูตรยางมาตรฐานที่ใช้ในการหาความต้านทานการสึกหรอ	89
3.6	สูตรที่ใช้ในการทดลอง Response Surface Methodology (RSM)	90
3.7	ปริมาณยางและสารเคมีที่ใช้เตรียมมาสเตอร์แบทช์ (master batch) ของเขม่าดำ	92
3.8	ปริมาณจริงของแต่ละตัวแปรตามรหัส	93
3.9	จำนวนการทดลองและปริมาณจริงในแต่ละการทดลองของแต่ละตัวแปร	94

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
3.10	สูตรยางที่ใช้ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาในการวัลคาไนซ์ด้วยเครื่อง Moving die rheometer (MDR)	96
4.1	ค่าความหนืดมูนนี่ ค่าพลาสติซิตีและการคงพลาสติซิตีของยางธรรมชาติดิบ	101
4.2	ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติเกรดต่าง ๆ วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติ ที่อุณหภูมิ 150 $^{\circ}$C	103
4.3	ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติเกรดต่าง ๆ วัลคาไนซ์ด้วยระบบเซมิอีวี ที่อุณหภูมิ 150 $^{\circ}$C	103
4.4	ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติเกรดต่าง ๆ วัลคาไนซ์ด้วยระบบอีวีที่อุณหภูมิ 150 $^{\circ}$C	104
4.5	ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติเกรดต่าง ๆ วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติ ที่อุณหภูมิ 160 $^{\circ}$C	104
4.6	ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติเกรดต่าง ๆ วัลคาไนซ์ด้วยระบบเซมิอีวี ที่อุณหภูมิ 160 $^{\circ}$C	105
4.7	ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติเกรดต่าง ๆ วัลคาไนซ์ด้วยระบบอีวีที่อุณหภูมิ 160 $^{\circ}$C	105
4.8	ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติเกรดต่าง ๆ วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติ ที่อุณหภูมิ 170 $^{\circ}$C	106
4.9	ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติเกรดต่าง ๆ วัลคาไนซ์ด้วยระบบเซมิอีวี ที่อุณหภูมิ 170 $^{\circ}$C	106
4.10	ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติเกรดต่าง ๆ วัลคาไนซ์ด้วยระบบอีวีที่อุณหภูมิ 170 $^{\circ}$C	107
4.11	ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติเกรดต่าง ๆ วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติ ที่อุณหภูมิ 180 $^{\circ}$C	107
4.12	ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติเกรดต่าง ๆ วัลคาไนซ์ด้วยระบบเซมิอีวี ที่อุณหภูมิ 180 $^{\circ}$C	108

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
4.13	ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติเกรดต่าง ๆ วัลคาไนซ์ด้วยระบบอีวี ที่อุณหภูมิ 180 °C	108
4.14	ช่วงเวลาก่อนยางวัลคาไนซ์ (induction period) และค่าคงที่อัตราการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติ (curing rate constant) เกรดต่างๆที่อุณหภูมิ 150 ถึง 180 °C	121
4.15	พลังงานกระตุ้นการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติเกรดต่าง ๆ	124
4.16	สมบัติการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 150 °C ของยางธรรมชาติเกรดต่าง ๆ	127
4.17	ความทนต่อแรงดึงก่อนบ่มเร่งของยางธรรมชาติเกรดต่าง ๆ	128
4.18	ความทนต่อแรงดึงหลังบ่มเร่งของยางธรรมชาติเกรดต่าง ๆ	129
4.19	ความต้านทานต่อการฉีกขาดก่อนบ่มเร่งของยางธรรมชาติเกรดต่าง ๆ	131
4.20	ความต้านทานต่อการฉีกขาดหลังบ่มเร่งของยางธรรมชาติเกรดต่าง ๆ	132
4.21	ความแข็งของยางธรรมชาติเกรดต่าง ๆ	133
4.22	compression set ของยางธรรมชาติเกรดต่าง ๆ	134
4.23	ความกระดอนตัวของยางธรรมชาติเกรดต่าง ๆ	135
4.24	ระดับความรุนแรงของรอยแตกของยางธรรมชาติเกรดต่าง ๆ	136
4.25	การขยายตัวของรอยแตกของยางธรรมชาติเกรดต่าง ๆ	137
4.26	ดัชนีความสึกหรอของยางธรรมชาติเกรดต่าง ๆ	138
4.27	อุณหภูมิกลาสทรานซิชัน (°C) และ Tan δ ของยางธรรมชาติเกรดต่าง ๆ	140
4.28	ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางทั้ง 20 สูตรที่อุณหภูมิการวัลคาไนซ์ 150 °C	142
4.29	สมบัติทางฟิสิกส์ของยางทั้ง 20 สูตร	143
4.30	การคำนวณสมการตามตัวแปร	144
4.31	ผลรวมกับค่าจริงที่ใช้ในสมการ	145
4.32	สัมประสิทธิ์ของตัวแปรของสมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติการวัลคาไนซ์กับอัตราส่วนยางแผ่นรมควันต่อยางสกิม ปริมาณกำมะถัน และปริมาณสารตัวเร่ง TBBS	146
4.33	สัมประสิทธิ์ของตัวแปรของสมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางฟิสิกส์กับอัตราส่วนยางแผ่นรมควันต่อยางสกิม ปริมาณกำมะถัน และปริมาณสารตัวเร่ง TBBS	147

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
4.34	สูตรยางที่ได้จากกราฟคอนทัวร์เพื่อทดสอบความแม่นยำของกราฟคอนทัวร์	163
4.35	สมบัติทางฟิสิกส์ของยางสูตรที่ 1 และ สูตรที่ 2 เปรียบเทียบกับสมบัติที่ได้จากการคำนวณจากสมการที่หาได้	163
4.36	ค่า cure time (TC 90 และ TC 95) ของยางที่อุณหภูมิการวัลคาไนซ์ต่างๆ	165
4.37	ค่า C ที่ได้จากการคำนวณ	166
4.38	อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตรงกลางเบ้าที่เวลาการวัลคาไนซ์ต่าง ๆ	167
4.39	เวลา อุณหภูมิและเปอร์เซ็นต์การวัลคาไนซ์ที่คำนวณได้	168
4.40	% reversion ของยางรองคอสะพานที่อุณหภูมิต่าง ๆ	170
4.41	ความหนาแน่นของชิ้นตัวอย่างยางรองคอสะพานภายนอกและภายในที่เวลาต่าง ๆ	174
4.42	ความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยง (crosslink density) และน้ำหนักโมเลกุลของสายโซ่ที่อยู่ระหว่างพันธะเชื่อมโยงของยางรองคอสะพานภายนอกและภายในที่เวลาต่าง ๆ	174
4.43	ค่าแรงกดที่ระยะกดต่าง ๆ ของยางรองคอสะพานที่มีขนาด เท่ากับ 2x4x2 นิ้ว	177

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ		หน้า
1.1	โครงสร้างของยางธรรมชาติและ squalene	5
2.1	โครงสร้างโมเลกุลของยางธรรมชาติ	11
2.2	การผลิตยางแผ่นรมควัน	14
2.3	การผลิตยางแผ่นผึ่งแห้ง	15
2.4	การผลิตยางเครพขาวหรือเครพสีจาง	17
2.5	การผลิตยางเครพน้ำตาล	18
2.6	การผลิตยางแท่งโดยใช้น้ำยาง	18
2.7	การผลิตยางแท่งโดยใช้ยางก้อนจับตัว	19
2.8	การผลิตยางแท่งความหนืดคงที่จากน้ำยาง	20
2.9	การผลิตยางแท่งความหนืดคงที่จากยางก้อนจับตัว	20
2.10	การเกิดพันธะเชื่อมโยงในโมเลกุลยาง	22
2.11	ตัวอย่างสารตัวเร่งปฏิกิริยาวัลคาไนซ์เซชันประเภทต่างๆ	24
2.12	ลำดับขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถันซึ่งมีสารตัวเร่งและสารกระตุ้นรวมอยู่ด้วย	26
2.13	กลไกการเกิดปฏิกิริยาวัลคาไนซ์เซชันของสารตัวเร่งประเภทชะลอเวลาก่อนยางสุก	27
2.14	ลักษณะของการวัลคาไนซ์ของยางที่ได้จากเครื่องรีโอมิเตอร์	31
2.15	คุณสมบัติเปรียบเทียบกับความหนาแน่นของการเชื่อมโยง	32
2.16	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของยางหนาในเบ้าหนา 7/8 นิ้วให้ความร้อน 306 $^{\circ}$F โดยที่ค่า cure time (พิจารณาจาก mooney test) ที่อุณหภูมิ 266 $^{\circ}$F เท่ากับ 15.1 นาที	42
2.17	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ ($^{\circ}$C) กับเวลา (min) ที่ใช้ในการวัลคาไนซ์ของสูตรยางจากตาราง 2.1	46
2.18	เปอร์เซนต์การวัลคาไนซ์ของยางคอมเปาว์ดที่ได้จากการคำนวณโดยเก็บข้อมูลจากเครื่องวัดระดับวัลคาไนซ์	48
2.19	ตัวอย่างกราฟคอนทัวร์แบบต่าง ๆ	49
2.20	ตัวอย่างยางรองคอสะพานประเภทต่าง ๆ	56

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
2.21	แผนภาพของแผ่นยางรองสะพานที่มีเหล็กเสริมแรงภายใน 2 ชั้นและเหล็กประกบบนล่าง 2 ชั้น	57
2.22	การหา shape factor (S)	58
2.23	ตัวอย่างแผ่นยางแบบไม่มีวัสดุเสริมแรง	60
2.24	ตัวอย่างแผ่นยางแบบมีวัสดุเสริมแรงที่ผิว	60
2.25	ตัวอย่างแผ่นยางแบบมีวัสดุเสริมแรงระหว่างชั้นยาง	61
2.26	ตัวอย่างแผ่นยางแบบมีวัสดุเสริมแรงระหว่างชั้นยางและที่ผิว	61
3.1	เครื่องบดยางสองลูกกลิ้ง	71
3.2	เครื่องผสมยางแบบปิด	71
3.3	เครื่องทดสอบเวลาการวัลคาไนซ์ของยาง	72
3.4	เครื่องอัดเบ้า	72
3.5	เครื่องวัดความแข็ง	73
3.6	เครื่องทดสอบแรงดึง	73
3.7	เครื่องทดสอบความหนืด (Mooney viscometer, MV2000) และโรเตอร์ (rotor)	74
3.8	ตู้อบบ่มเร่งชนิด gear aging	74
3.9	เครื่องทดสอบความต้านทานต่อการสึกหรอ	75
3.10	เครื่องทดสอบความต้านทานต่อการหักงอ	76
3.11	เครื่องทดสอบความต้านทานต่อโอโซน	76
3.12	เครื่อง Dynamic mechanical thermal analyzer (DMTA)	77
3.13	เบ้ายางรองคอสะพานขนาดกว้างxยาวxหนา เท่ากับ 22x26x10 เซนติเมตร	78
3.14	เครื่องวัดค่าแรงดึงของวัสดุ	78
3.15	เครื่องทดสอบหาความหนาแน่น	79
3.16	ลักษณะตัวอย่างชิ้นทดสอบรูป dumbbell	83
3.17	ลักษณะตัวอย่างชิ้นทดสอบแบบมุม	84
3.18	เครื่องมือที่ใช้ทำการทดลอง compression set	85
3.19	ลักษณะชิ้นทดสอบการหักงอและลักษณะของยางในขณะการโค้งงอ	87

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
4.1	ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติเกรด STR 20 ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติ (CV) ที่อุณหภูมิต่าง ๆ	109
4.2	ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติเกรด STR 5L ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติ (CV) ที่อุณหภูมิต่าง ๆ	109
4.3	ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติเกรด ADS ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติ (CV) ที่อุณหภูมิต่าง ๆ	110
4.4	ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางสกิมที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติ (CV) ที่อุณหภูมิต่าง ๆ	110
4.5	ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติเกรด STR 5LCV 60 ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติ (CV) ที่อุณหภูมิต่าง ๆ	111
4.6	ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติเกรด STR 20CV 60 ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติ (CV) ที่อุณหภูมิต่าง ๆ	111
4.7	ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางแผ่นรมควันชั้น3 ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติ (CV) ที่อุณหภูมิต่าง ๆ	112
4.8	ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางเครพขาวที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติ (CV) ที่อุณหภูมิต่าง ๆ	112
4.9	ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติเกรด STR20 วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติ (CV) เซมิอีวี (SEV) และอีวี (EV) ที่อุณหภูมิ 150 °C	113
4.10	ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติเกรด STR 5L ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติ (CV) เซมิอีวี (SEV) และอีวี (EV) ที่อุณหภูมิ 150 °C	113
4.11	ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติเกรด ADS ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติ (CV) เซมิอีวี (SEV) และอีวี (EV) ที่อุณหภูมิ 150 °C	114
4.12	ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางสกิมที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติ (CV) เซมิอีวี (SEV) และอีวี (EV) ที่อุณหภูมิ 150 °C	114
4.13	ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติเกรด STR 5CV60 ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติ (CV) เซมิอีวี (SEV) และอีวี (EV) ที่อุณหภูมิ 150 °C	115

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
4.14	ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติเกรด STR 20CV60 ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติ (CV) เซมิอีวี (SEV) และอีวี (EV) ที่อุณหภูมิ 150 °C	115
4.15	ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางแผ่นรมควันชั้น 3 ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติ (CV) เซมิอีวี (SEV) และอีวี (EV) ที่อุณหภูมิ 150 °C	116
4.16	ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางเครพที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติ (CV) เซมิอีวี (SEV) และอีวี (EV) ที่อุณหภูมิ 150 °C	116
4.17	Fractional modulus ของยางธรรมชาติเกรด STR 5L วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติ(CV) เซมิอีวี(SEV) และอีวี(EV) ที่อุณหภูมิ 150 °C	118
4.18	Fractional modulus ของยางธรรมชาติเกรด STR 5L วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติ(CV) ที่อุณหภูมิ 150, 160, 170 และ 180 °C	119
4.19	Fractional modulus ของยางธรรมชาติเกรดต่าง ๆ วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติ (CV) ที่อุณหภูมิ 150 °C	120
4.20	ความสัมพันธ์ระหว่าง ln k กับส่วนกลับของอุณหภูมิองศาสัมบูรณ์ของยาง STR 5L	123
4.21	ความสัมพันธ์ระหว่าง ln t_o กับส่วนกลับของอุณหภูมิองศาสัมบูรณ์ของยาง STR 5L	124
4.22	กราฟแสดงค่า tensile strength ก่อนบ่มเร่งและหลังบ่มเร่งของยางธรรมชาติเกรดต่าง ๆ	129
4.23	กราฟแสดงค่า 300% modulus ก่อนบ่มเร่งและหลังบ่มเร่งของยางธรรมชาติเกรดต่าง ๆ	130
4.24	กราฟแสดงค่า elongation at break ก่อนบ่มเร่งและหลังบ่มเร่งของยางธรรมชาติเกรดต่าง ๆ	130
4.25	กราฟแสดงค่า tear strength ก่อนบ่มเร่งและหลังบ่มเร่งของยางธรรมชาติเกรดต่าง ๆ	132
4.26	ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดูลัสสะสม (E’, Pa) กับอุณหภูมิต่าง ๆ ที่ความถี่ 3.5 Hz	139
4.27	ความสัมพันธ์ระหว่าง Tan δ กับอุณหภูมิต่าง ๆ ที่ความถี่ 3.5 Hz	139

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
4.28	อิทธิพลของอัตราส่วนยาง RSS/SKIM และสารตัวเร่ง TBBS ต่อค่าแรงบิดเมื่อกำมะถัน เท่ากับ 1.50 (รหัส 0)	150
4.29	อิทธิพลของกำมะถันและอัตราส่วนยาง RSS/SKIM ต่อค่าแรงบิดเมื่อสารตัวเร่ง TBBS เท่ากับ 2.88 (รหัส 0)	151
4.30	อิทธิพลของกำมะถันและสารตัวเร่ง TBBS ต่อค่าแรงบิดเมื่ออัตราส่วนยาง RSS/SKIM เท่ากับ 2.12 (รหัส 0)	151
4.31	อิทธิพลของอัตราส่วนยาง RSS/SKIM และ สารตัวเร่ง TBBS ต่อค่า scorch time และค่า cure time เมื่อกำมะถัน เท่ากับ 1.50 (รหัส 0)	153
4.32	อิทธิพลของกำมะถันและอัตราส่วนยาง RSS/SKIM ต่อค่า scorch time และค่า cure time เมื่อสารตัวเร่ง TBBS เท่ากับ 2.88 (รหัส 0)	153
4.33	อิทธิพลของกำมะถันและสารตัวเร่ง TBBS ต่อค่า scorch time และค่า cure time เมื่ออัตราส่วนยาง RSS/SKIM เท่ากับ 2.12 (รหัส 0)	154
4.34	อิทธิพลของอัตราส่วนยาง RSS/SKIM และสารตัวเร่ง TBBS ต่อค่า elongation at break, tensile strength และค่า hardness เมื่อกำมะถัน เท่ากับ 1.50 (รหัส 0)	155
4.35	อิทธิพลของกำมะถันและอัตราส่วนยาง RSS/SKIM ต่อค่า elongation at break, tensile strength และค่า hardness เมื่อสารตัวเร่ง TBBS เท่ากับ 2.88 (รหัส 0)	155
4.36	อิทธิพลของกำมะถันและสารตัวเร่ง TBBS ต่อค่า elongation at break, tensile strength และค่า hardness เมื่ออัตราส่วนยาง RSS/SKIM เท่ากับ 2.12 (รหัส 0)	156
4.37	อิทธิพลของอัตราส่วนยาง RSS/SKIM และสารตัวเร่ง TBBS ต่อค่า elongation at break, tensile strength, compression set และค่า hardness เมื่อกำมะถัน เท่ากับ 1.50 (รหัส 0)	158
4.38	อิทธิพลของอัตราส่วนยาง RSS/SKIM และกำมะถันต่อค่า elongation at break, tensile strength, compression set และค่า hardness เมื่อสารตัวเร่ง TBBS เท่ากับ 2.88 (รหัส 0)	158
4.39	อิทธิพลของกำมะถันและสารตัวเร่ง TBBS ต่อค่า elongation at break, tensile strength, compression set และค่า hardness เมื่ออัตราส่วนยาง RSS/SKIM เท่ากับ 2.12 (รหัส 0)	159

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
4.40	อิทธิพลของกำมะถันและสารตัวเร่ง TBBS ต่อค่า elongation at break, tensile strength, compression set และค่า hardness เมื่ออัตราส่วนยาง RSS/SKIM เท่ากับ 68/32	162
4.41	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ใช้ในการวัลคาไนซ์	165
4.42	ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางรองคอสะพานที่อุณหภูมิ 150 $^{\circ}$C	171
4.43	ลักษณะผิวภายในของยางรองคอสะพานที่ใช้เวลาในการอัด 20 นาที	172
4.44	ลักษณะผิวภายในของยางรองคอสะพานที่ใช้เวลาในการอัด 30 นาที	172
4.45	ลักษณะผิวภายในของยางรองคอสะพานที่ใช้เวลาในการอัด 40 นาที	172
4.46	ลักษณะผิวภายในของยางรองคอสะพานที่ใช้เวลาในการอัด 50 นาที	173
4.47	ลักษณะผิวภายในของยางรองคอสะพานที่ใช้เวลาในการอัด 60 นาที	173
4.48	ความสัมพันธ์ของแรงกดที่แปรระยะกดของยางรองคอสะพานที่มีขนาดเท่ากับ 2x4x2 นิ้ว	178
ก.1	ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติเกรด STR 20 ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบเซมิอีวี (Semi-EV) ที่อุณหภูมิต่าง ๆ	188
ก.2	ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติเกรด STR 20 ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบอีวี (EV) ที่อุณหภูมิต่าง ๆ	188
ก.3	ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติเกรด STR 5L ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบเซมิอีวี (Semi-EV) ที่อุณหภูมิต่าง ๆ	189
ก.4	ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติเกรด STR 5L ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบอีวี (EV) ที่อุณหภูมิต่าง ๆ	189
ก.5	ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติเกรด ADS ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบเซมิอีวี (Semi-EV) ที่อุณหภูมิต่าง ๆ	190
ก.6	ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติเกรด ADS ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบอีวี (EV) ที่อุณหภูมิต่าง ๆ	190
ก.7	ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางสกิม ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบเซมิอีวี (Semi-EV) ที่อุณหภูมิต่าง ๆ	191

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ **หน้า**

ก.8 ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางสกิม ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบอีวี (EV) ที่อุณหภูมิต่าง ๆ 191

ก.9 ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติเกรด STR 5CV 60 ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบเซมิอีวี (Semi-EV) ที่อุณหภูมิต่าง ๆ 192

ก.10 ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติเกรด STR 5CV 60 ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบอีวี (EV) ที่อุณหภูมิต่าง ๆ 192

ก.11 ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางแผ่นรมควันชั้น 3 ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบเซมิอีวี (Semi-EV)ที่อุณหภูมิต่าง ๆ 193

ก.12 ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางแผ่นรมควันชั้น 3 ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบอีวี (EV) ที่อุณหภูมิต่าง ๆ 193

ก.13 ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางเครพขาวที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบเซมิอีวี (Semi-EV) ที่อุณหภูมิต่าง ๆ 194

ก.14 ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางเครพขาวที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบอีวี (EV) ที่อุณหภูมิต่าง ๆ 194

ข.1 ลักษณะของผิวยางหลังจากการทดสอบความทนทานต่อโอโซนสูตรที่ 1 ถึง 4 195

ข.2 ลักษณะของผิวยางหลังจากการทดสอบความทนทานต่อโอโซนสูตรที่ 5 ถึง 8 195

ข.3 ลักษณะของผิวยางหลังจากการทดสอบความทนทานต่อโอโซนสูตรที่ 9 ถึง 12 196

ข.4 ลักษณะของผิวยางหลังจากการทดสอบความทนทานต่อโอโซนสูตรที่ 13 ถึง 16 196

ข.5 ลักษณะของผิวยางหลังจากการทดสอบความทนทานต่อโอโซนสูตรที่ 17 ถึง 20 197

ค.1 อิทธิพลของปริมาณกำมะถันและปริมาณสารตัวเร่ง TBBS ต่อค่า scorch time 198

ค.2 อิทธิพลของอัตราส่วนยาง RSS/SKIM และปริมาณสารตัวเร่ง TBBS ต่อค่า scorch time 199

ค.3 อิทธิพลของอัตราส่วนยาง RSS/SKIM และปริมาณกำมะถัน ต่อค่า scorch time 201

ค.4 อิทธิพลของปริมาณกำมะถันและปริมาณสารตัวเร่ง TBBS ต่อค่า cure time 202

ค.5 อิทธิพลของอัตราส่วนยาง RSS/SKIM และปริมาณสารตัวเร่ง TBBS ต่อค่า cure time 204

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ **หน้า**

ค.6 อิทธิพลของอัตราส่วนยาง RSS/SKIM และปริมาณกำมะถันต่อค่า cure time 205

ค.7 อิทธิพลของปริมาณกำมะถันและปริมาณสารตัวเร่ง TBBS ต่อค่า tensile strength 207

ค.8 อิทธิพลของอัตราส่วนยาง RSS/SKIM และปริมาณสารตัวเร่ง TBBS ต่อค่า tensile strength 208

ค.9 อิทธิพลของอัตราส่วนยาง RSS/SKIM และปริมาณกำมะถันต่อค่า tensile strength 210

ค.10 อิทธิพลของปริมาณกำมะถันและปริมาณสารตัวเร่ง TBBS ต่อค่า elongation at break 211

ค.11 อิทธิพลของอัตราส่วนยาง RSS/SKIM และปริมาณสารตัวเร่ง TBBS ต่อค่า elongation at break 213

ค.12 อิทธิพลของอัตราส่วนยาง RSS/SKIM และปริมาณกำมะถันต่อค่า elongation at break 214

ค.13 อิทธิพลของปริมาณกำมะถันและปริมาณสารตัวเร่ง TBBS ต่อค่าความแข็ง 216

ค.14 อิทธิพลของอัตราส่วนยาง RSS/SKIM และปริมาณสารตัวเร่ง TBBS ต่อค่าความแข็ง 217

ค.15 อิทธิพลของอัตราส่วนยาง RSS/SKIM และปริมาณกำมะถัน ต่อค่าความแข็ง 219

ค.16 อิทธิพลของปริมาณกำมะถันและปริมาณสารตัวเร่ง TBBS ต่อค่า compression set 220

ค.17 อิทธิพลของอัตราส่วนยาง RSS/SKIM และปริมาณสารตัวเร่ง TBBS ต่อค่า compression set 222

ค.18 อิทธิพลของอัตราส่วนยาง RSS/SKIM และปริมาณกำมะถัน ต่อค่า compression set 223