สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ i
บทคัดย่อ ii
Abstract iii
สารบัญ iv
รายการตาราง vi
รายการรูป viii

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 3
1.3 ขอบเขตงานวิจัย 3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1. ยางธรรมชาติ 4
2.2 น้ำมันช่วยการแปรรูปหรือสารช่วยการผสม 5
2.3 ค่าพื้นฐานต่างๆของน้ำมัน 15
2.4 คอมปาวด์ยางธรรมชาติ 15
2.5 การทดสอบปฏิกิริยาคงรูป 22
2.6 การทดสอบสมบัติของยางคงรูปคอมปาวด์ยางธรรมชาติ 23
2.7 การทดสอบสมบัติเชิงกล 24
2.8 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 28

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมี วัสดุอุปกรณ์ และ เครื่องมือ 32
3.2 วิธีการทดลอง 33
3.2.1 วิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นทางเคมีของน้ำมัน 33
3.2.2 การสังเคราะห์เบนซิลเอสเทอร์จากกรดไขมันของน้ำมัน 34
3.2.3 การทดสอบสมบัติของเบนซิลเอสเทอร์ 34
3.2.4 การเตรียมยางคอมปาวด์ 35
3.2.5 การทดสอบสมบัติของคอมปาวด์ 36
3.2.5.1 การศึกษาสมบัติการวัลคาไนซ์ของคอมปาวด์ 36
3.2.5.2 การวัลคาไนซ์ 36
3.2.5.3 การเตรียมชิ้นงานเพื่อการทดสอบ 37
3.2.5.4 การทดสอบสมบัติเชิงกลของยางคอมปาวด์ 38
3.2.5.5 การทดสอบสมบัติเชิงพลวัต 39
3.2.5.6 การทดสอบสมบัติเชิงความร้อน 39
3.2.5.7 ลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด 40

หน้า

บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล
4.1 การศึกษาสมบัติเบื้องต้นของน้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันมะพร้าว 41
4.2 การ Hydrolysis น้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันมะพร้าว 42
4.3 การสังเคราะห์เอริลเอสเทอร์จากอะโรมาติกแอลกอฮอล์ 43
4.4 การพิสูจน์โครงสร้างของเอริลเอสเทอร์ 45
4.5 การทดสอบสมบัติเบื้องต้นของเอริลเอสเทอร์ที่เตรียมได้ 47
4.6 การทดลองขยายส่วนการเตรียมเอริลเอสเทอร์ 48
4.7 การทดสอบสมบัติของยางธรรมชาติคอมปาวด์เบื้องต้นที่ใช้เอริลเอสเทอร์เป็นน้ำมันแปรรูปยาง 49
4.8 การทดสอบสมบัติของยางธรรมชาติคอมปาวด์ที่ใช้เอริลเอสเทอร์เป็นน้ำมันแปรรูปยาง 50
4.8.1 การทดสอบพลังงานและอุณหภูมิการบดผสมยางธรรมชาติคอมปาวด์ 50
4.8.2 ความหนืดมูนนี่ และการคลายความเค้น 54
4.8.3 การคงรูปของยาง 57
4.8.4 ความหนาแน่นของการเชื่อมโยง 63
4.8.5 สมบัติเชิงกล 64
4.8.6 สมบัติเชิงพลวัต 70
4.8.7 สมบัติเชิงความร้อน 72
4.8.8 การกระจายตัวของสารตัวเติม 74
4.9 การทดสอบสมบัติของยางเอสบีอาร์คอมปาวด์เบื้องต้นที่ใช้เอริลเอสเทอร์เป็นน้ำมันแปรรูปยาง 76
4.9.1 การทดสอบพลังงานและอุณหภูมิการบดผสมยางเอสบีอาร์คอมปาวด์ 77
4.9.2 ความหนืดมูนนี่และการคลายความเค้น 81
4.9.3 การคงรูปของยาง 84
4.9.4 สมบัติเชิงกล 89
4.9.5 สมบัติเชิงพลวัต 95
4.9.6 สมบัติเชิงความร้อน 97
บทที่ 5 สรุปผล 99
เอกสารอ้างอิง 101
ภาคผนวก ก 103
ภาคผนวก ข 106

รายการตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 การจำแนกน้ำมันตาม ASTM D 2226 10
2.2 คุณสมบัติของน้ำมันแปรรูปยางแต่ละชนิด 12
2.3 สารหล่อลื่นรูปแบบใหม่ 12
2.4 วัตถุดิบที่ใช้เตรียมกรดไขมัน เพื่อทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่น 13
2.5 สารหล่อลื่นจากกรดไขมันที่สำคัญ 13
2.6 แสดงส่วนประกอบและสารเคมีต่างๆในสูตรผลิตภัณฑ์ยางพื้นฐาน 18
3.1 แสดงปริมาณของพลาสติไซเซอร์ที่ใช้ในการทดลอง 35
3.2 แสดงสูตรคอมปาวด์ยางธรรมชาติ ตามมาตรฐาน (ASTM D3184) 35
3.3 สูตรยางเอสบีอาร์คอมปาวด์ ตามมาตรฐาน ASTM D3185 36
4.1 สมบัติเบื้องต้นของน้ำมัน 41
4.2 ส่วนประกอบของน้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม และน้ำมันถั่วเหลือง 43
4.3 ร้อยละเอริลเอสเทอร์ ที่ได้จากการแปรตัวแปรต่างๆ 44
4.4 สมบัติทางกายภาพของน้ำมันแต่ละชนิดที่ได้จากการศึกษา 48
4.5 ร้อยละเอริลเอสเทอร์ ที่ได้จากการขยายส่วนการเตรียม 48
4.6 สูตรยางธรรมชาติคอมปาวด์ ตามมาตรฐาน ASTM D3184 49
4.7 ลำดับการผสมในสูตรยางคอมปาวด์ 49
4.8 ค่าพลังงานการผสมของยางเอสบีอาร์คอมปาวด์โดยแปรชนิดน้ำมันแปรรูปยาง และปริมาณที่ใช้ 53
4.9 ค่าความหนืดมูนนี่ (Mooney viscosity) และค่าคลายความเค้น (Stress relaxation) 55
4.10 คุณสมบัติการคงรูปของยางธรรมชาติคอมปาวด์ โดยทำการแปรชนิด และปริมาณของน้ำมันแปรรูปยางเอริลเอสเทอร์ 59
4.11 ความหนาแน่นของการเชื่อมโยงในยางธรรมชาติคอมปาวด์ 63
4.12 ค่ามอดูลัสความยืดหยุ่น ความต้านทานต่อแรงดึง ความสามารถในการยืดจนขาด ความสามารถในการคืนรูป และความแข็งของยางคอมปาวด์ โดยแปรชนิดและปริมาณน้ำมันแปรรูปยาง 66
4.13 สมบัติเชิงพลวัตของยางธรรมชาติคอมปาวด์โดยแปรชนิดน้ำมันแปรรูปยาง 72
4.14 สมบัติเชิงความร้อนของยางธรรมชาติคอมปาวด์โดยแปรชนิดน้ำมันแปรรูปยาง 74
4.15 สูตรยางเอสบีอาร์คอมปาวด์ ตามมาตรฐาน ASTM D3185 76
4.16 ค่าพลังงานการผสมของยางเอสบีอาร์คอมปาวด์โดยแปรชนิดน้ำมันแปรรูปยาง และปริมาณที่ใช้ 80
4.17 ค่าความหนืดมูนนี่ (Mooney viscosity) และค่าคลายความเค้น (Stress relaxation) 82

รายการตาราง(ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4.18 คุณสมบัติการคงรูปของยางเอสบีอาร์คอมปาวด์ โดยทำการแปรชนิดและปริมาณของน้ำมันแปรรูปยางเอริลเอสเทอร์ 86

4.19 ค่ามอดูลัสความยืดหยุ่น ความต้านทานต่อแรงดึง ความสามารถในการยืดจนขาด ความสามารถในการคืนรูป และความแข็งของยางคอมปาวด์โดยแปรชนิดและปริมาณน้ำมันแปรรูปยาง 91

4.20 สมบัติเชิงพลวัตของยางเอสบีอาร์คอมปาวด์โดยแปรชนิดน้ำมันแปรรูปยาง 97

4.21 สมบัติเชิงความร้อนของยางเอสบีอาร์คอมปาวด์โดยแปรชนิดน้ำมันแปรรูปยาง 97

รายการรูป

รูปที่		หน้า
2.1	สูตรโครงสร้างยางธรรมชาติ	5
2.3	ชนิดโมเลกุลในน้ำมัน	8
2.3	กราฟสามเหลี่ยม	11
2.4	กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ยางโดยทั่วไป	16
2.5	เครื่องบดผสมระบบปิด(Internal mixer)	19
2.6	เครื่องบดระบบเปิด(Two-roll mill)	19
2.7	ลำดับการผสมยางโดยทั่วไป	19
2.8	การขึ้นรูปโดยแม่พิมพ์แบบต่างๆ	20
2.9	พันธะเคมีหรือการเชื่อมโยงของสายโมเลกุลยางด้วยกำมะถัน	21
2.10	กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของยางในระหว่างปฏิกิริยาคงรูป	22
2.11	Dies สำหรับใช้ตัดคอมปาวด์ยางธรรมชาติ	25
2.12	เครื่องวัดความแข็ง	27
3.1	เครื่อง Compression Molding	37
3.2	ชิ้นงานสำหรับทดสอบ Tensile	37
3.3	ชิ้นงานสำหรับทดสอบ Tear	37
3.4	ชิ้นงานสำหรับการทดสอบความแข็ง	37
3.5	เครื่องทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile testing machine)	38
3.6	เครื่องวัดความแข็งแบบ Shore A	38
3.7	ลักษณะของเครื่องทดสอบสมบัติพลวัตเชิงกล (Dynamic Mechanical Thermal Analyzer)	39
3.8	เครื่องวิเคราะห์เชิงความร้อน (Thermal gravimetric analyzer)	39
3.9	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope)	40
4.1	การไฮโดรไลซิสน้ำมันพืช เพื่อเตรียมกรดไขมัน	42
4.2	ลักษณะทางกายภาพของกรดไขมันที่ได้จากการไฮโดรไลซิสน้ำมันพืช	43
4.3	ปฏิกิริยาการเตรียมน้ำมันแปรรูปยางเอริลเอสเทอร์จากอะโรมาติกแอลกอฮอล์ ที่มีวงเบนซิน 1 วง	44
4.4	ลักษณะทางกายภาพของเอริลเอสเทอร์ที่ได้จากการเอสเทอริฟิเคชั่นน้ำมันพืช	45
4.5	ปฏิกิริยาการเตรียมน้ำมันแปรรูปยางเอริลเอสเทอร์จากอะโรมาติกแอลกอฮอล์ ที่มีวงเบนซิน 2 วง	45
4.6	สเปกตรัมของกรดไขมัน เอริลเอสเทอร์และเบนซิลแอลกอฮอล์ที่ได้ด้วยเทคนิค FTIR	46

รายการรูป(ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.7 สเปกตรัมของเอริลเอสเทอร์ที่ได้จากการเอสเทอริฟิเคชั่นน้ำมันพืช ด้วยเทคนิค FTIR 46

4.8 สเปกตรัมของเอริลเอสเทอร์ที่ได้จากการเอสเทอริฟิเคชั่นน้ำมันพืชทั้งสามชนิด ด้วยการพิสูจน์โครงสร้างด้วยเทคนิค H^1- NMR 47

4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าทอร์กการผสมกับเวลาการผสมของการคอมปาวด์ยางธรรมชาติ โดยแปรชนิดน้ำมันแปรรูปยางและปริมาณที่ใช้ 50

4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการผสมกับเวลาการผสมของการคอมปาวด์ยางธรรมชาติ โดยแปรชนิดน้ำมันแปรรูปยางและปริมาณที่ใช้ 51

4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าทอร์คการผสมกับเวลาการผสมของการคอมปาวด์ยางธรรมชาติ โดยแปรชนิดน้ำมันแปรรูปยาง (กำหนดปริมาณน้ำมันแปรรูปยางที่ใช้เท่ากับ 10 phr) 51

4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิการผสมกับเวลาการผสมของการคอมปาวด์ยางธรรมชาติ โดยแปรชนิดน้ำมันแปรรูปยาง (กำหนดปริมาณน้ำมันแปรรูปยางที่ใช้เท่ากับ 10 phr) 51

4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานการผสมที่ใช้คอมปาวด์ยางธรรมชาติกับปริมาณ และชนิดน้ำมันแปรรูปยาง 54

4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานการผสมของยางธรรมชาติคอมปาวด์กับชนิด และปริมาณน้ำมันเอริลเอสเทอร์ 56

4.15 ความสัมพันธ์ระหว่าง Log Mooney Units ของยางธรรมชาติคอมปาวด์กับเวลา เพื่อใช้พิจารณาการทดสอบการคลายความเค้น โดยทำการแปรชนิดของน้ำมันแปรรูปยาง 56

4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า rate of stress relaxation ของยางธรรมชาติคอมปาวด์ เปรียบเทียบกับชนิดและปริมาณน้ำมันแปรรูปยางที่ใช้ 57

4.17 Curing curves ของยางธรรมชาติคอมปาวด์โดยทำการแปร ชนิดและปริมาณน้ำมันแปรรูปยางที่ใช้ 58

4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Torque difference (M_H-M_L) ของยางธรรมชาติคอมปาวด์ เปรียบเทียบกับชนิดและปริมาณน้ำมันแปรรูปยางที่ใช้ 60

4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Scorch time ของยางธรรมชาติคอมปาวด์เปรียบเทียบกับ ชนิดและปริมาณน้ำมันแปรรูปยางที่ใช้ 61

4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า 90%Cure time ของยางธรรมชาติคอมปาวด์เปรียบเทียบกับ ชนิดและปริมาณน้ำมันแปรรูปยางที่ใช้ 61

4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Cure rate index ของยางธรรมชาติคอมปาวด์เปรียบเทียบกับ ชนิดและปริมาณน้ำมันแปรรูปยางที่ใช้ 62

4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Cross-link density ของยางธรรมชาติคอมปาวด์เปรียบเทียบกับ ชนิดและปริมาณน้ำมันแปรรูปยางที่ใช้ 64

รายการรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.23	กราฟ stress-strain ของยางธรรมชาติคอมปาวด์โดยแปรชนิดน้ำมันแปรรูปยาง (กำหนดปริมาณน้ำมันแปรรูปยางที่ใช้เท่ากับ 10 phr)	65
4.24	กราฟ 300%Modulus ของยางธรรมชาติคอมปาวด์เปรียบเทียบ กับชนิดและปริมาณน้ำมันแปรรูปยางที่ใช้	68
4.25	กราฟ Tensile strength ของยางธรรมชาติคอมปาวด์เปรียบเทียบ กับชนิดและปริมาณน้ำมันแปรรูปยางที่ใช้	68
4.26	กราฟ Elongation at break ของยางธรรมชาติคอมปาวด์เปรียบเทียบ กับชนิดและปริมาณน้ำมันแปรรูปยางที่ใช้	69
4.27	กราฟ Compression set ของยางธรรมชาติคอมปาวด์เปรียบเทียบกับชนิด และปริมาณน้ำมันแปรรูปยางที่ใช้	69
4.28	กราฟ Hardness ของยางธรรมชาติคอมปาวด์เปรียบเทียบกับชนิด และปริมาณน้ำมันแปรรูปยางที่ใช้	70
4.29	กราฟ Storage modulus ของยางธรรมชาติคอมปาวด์เปรียบเทียบ กับชนิดน้ำมันแปรรูปยางที่ใช้	71
4.30	กราฟ Storage modulus ของยางธรรมชาติคอมปาวด์เปรียบเทียบ กับชนิดน้ำมันแปรรูปยางที่ใช้	71
4.31	กราฟการเสื่อมสลายตัวทางความร้อนของยางธรรมชาติคอมปาวด์ เปรียบเทียบกับชนิดน้ำมันแปรรูปยางที่ใช้	73
4.32	ผล SEM ที่แสดงถึงการกระจายตัวของเขม่าดำ (N330) ในยางธรรมชาติคอมปาวด์ โดยแปรชนิดน้ำมันแปรรูปยางที่ใช้	75
4.33	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าทอร์กการผสมกับเวลาการผสมของการคอมปาวด์เอสบีอาร์ โดยแปรชนิดน้ำมันแปรรูปยางและปริมาณที่ใช้	77
4.34	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการผสมกับเวลาการผสมของการคอมปาวด์ ยางเอสบีอาร์โดยแปรชนิดน้ำมันแปรรูปยางและปริมาณที่ใช้	78
4.35	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าทอร์คการผสมกับเวลาการผสมของการคอมปาวด์ ยางเอสบีอาร์ โดยแปรชนิดน้ำมันแปรรูปยาง (กำหนดปริมาณน้ำมันแปรรูปยางที่ใช้เท่ากับ 10 phr)	79
4.36	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิการผสมกับเวลาการผสมของการคอมปาวด์ ยางเอสบีอาร์ โดยแปรชนิดน้ำมันแปรรูปยาง (กำหนดปริมาณน้ำมันแปรรูปยางที่ใช้เท่ากับ 10 phr)	79

รายการรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.37	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานการผสมที่ใช้คอมปาวด์ยางเอสบีอาร์กับปริมาณและชนิดน้ำมันแปรรูปยาง	81
4.38	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานการผสมของยางเอสบีอาร์คอมปาวด์กับชนิดและปริมาณน้ำมันเอริลเอสเทอร์	83
4.39	ความสัมพันธ์ระหว่าง Log Mooney Units ของยางเอสบีอาร์คอมปาวด์กับเวลาเพื่อใช้พิจารณาการทดสอบการคลายความเค้นโดยทำการแปรชนิดของน้ำมันแปรรูปยาง	83
4.40	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า rate of stress relaxation ของยางเอสบีอาร์คอมปาวด์เปรียบเทียบกับชนิดและปริมาณน้ำมันแปรรูปยางที่ใช้	84
4.41	Curing curves ของยางเอสบีอาร์คอมปาวด์โดยทำการแปรชนิดและปริมาณน้ำมันแปรรูปยางที่ใช้	85
4.42	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Torque difference (M_H-M_L) ของยางเอสบีอาร์คอมปาวด์เปรียบเทียบกับชนิดและปริมาณน้ำมันแปรรูปยางที่ใช้	87
4.43	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Scorch time ของยางเอสบีอาร์คอมปาวด์เปรียบเทียบกับชนิดและปริมาณน้ำมันแปรรูปยางที่ใช้	87
4.44	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า 90%Cure time ของยางเอสบีอาร์คอมปาวด์เปรียบเทียบกับชนิดและปริมาณน้ำมันแปรรูปยางที่ใช้	88
4.45	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Cure rate index ของยางเอสบีอาร์คอมปาวด์เปรียบเทียบกับชนิดและปริมาณน้ำมันแปรรูปยางที่ใช้	88
4.46	กราฟ stress-strain ของยางเอสบีอาร์คอมปาวด์โดยแปรชนิดน้ำมันแปรรูปยาง (กำหนดปริมาณน้ำมันแปรรูปยางที่ใช้เท่ากับ 10 phr)	89
4.47	กราฟ 300%Modulus ของยางเอสบีอาร์คอมปาวด์เปรียบเทียบกับชนิดและปริมาณน้ำมันแปรรูปยางที่ใช้	92
4.48	กราฟ Tensile strength ของยางเอสบีอาร์คอมปาวด์เปรียบเทียบกับชนิดและปริมาณน้ำมันแปรรูปยางที่ใช้	93
4.49	กราฟ Elongation at break ของยางเอสบีอาร์คอมปาวด์เปรียบเทียบกับชนิดและปริมาณน้ำมันแปรรูปยางที่ใช้	93
4.50	กราฟ Compression set ของยางเอสบีอาร์คอมปาวด์เปรียบเทียบกับชนิดและปริมาณน้ำมันแปรรูปยางที่ใช้	94
4.51	กราฟ Hardness ของยางเอสบีอาร์คอมปาวด์เปรียบเทียบกับชนิดและปริมาณน้ำมันแปรรูปยางที่ใช้	94

รายการรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.52	กราฟ Storage modulus ของยางเอสบีอาร์คอมปาวด์เปรียบเทียบกับชนิดน้ำมันแปรรูปยางที่ใช้	95
4.53	กราฟ Storage modulus ของยางเอสบีอาร์คอมปาวด์เปรียบเทียบกับชนิดน้ำมันแปรรูปยางที่ใช้	96
4.54	กราฟการเสื่อมสลายตัวทางความร้อนของยางเอสบีอาร์คอมปาวด์เปรียบเทียบกับชนิดน้ำมันแปรรูปยางที่ใช้	98