สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ ..... (3)

Abstract ..... (4)

กิตติกรรมประกาศ ..... (5)

สารบัญ ..... (6)

รายการตาราง ..... (12)

รายการภาพประกอบ ..... (13)

บทที่

1. บทนำ 1

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย 2

1.4 ขอบเขตและวิธีการดำเนินการวิจัย 2

2. ทฤษฎี 3

2.1 บทนำ 3

2.2 ยางธรรมชาติ 4

2.2.1 โครงสร้างทางเคมีและสมบัติ 4

2.2.2 โครงสร้างหลักที่มีผลกระทบต่อสมบัติของยาง 5

2.2.3 การบดและการผสมสารเคมี 6

2.2.4 การวัลคาไนซ์ 7

2.2.5 สมบัติของยางวัลคาไนซ์ 7

2.2.5.1 ความแข็ง 7

2.2.5.2 ความต้านทานต่อการดึง 7

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.5.3 ความสามารถในการยืด	7
2.2.5.4 ความต้านทานต่อการฉีกขาด	8
2.2.5.5 ความทนทานต่อการเสื่อมสภาพ	8
2.2.6 ระบบการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติ	8
2.3 สารตัวเติม	9
2.3.1 ซิลิกา (Silica)	9
2.3.2 แกลบข้าว	10
3. วิธีการดำเนินการวิจัย	12
3.1 วัสดุ	12
3.1.1 ยางแท่ง STR 5L	12
3.1.2 กรดสเตียริค	12
3.1.3 ซิงค์ออกไซด์	12
3.1.4 2- เมอร์แคบโตเบนโซไธอาโซล	12
3.1.5 ไดเอทธิลีนไกลคอล	12
3.1.6 กำมะถัน	12
3.1.7 ซิลิกา	13
3.1.8 แกลบข้าว	13
3.2 อุปกรณ์	13
3.2.1 เครื่องบดผสมยางแบบปิด	13
3.2.2 เครื่องผสมยางสองลูกกลิ้ง	13
3.2.3 เครื่องทดสอบลักษณะการวัลคาไนซ์ของยาง	14
3.2.4 เครื่องอัดเบ้ายาง	14
3.2.5 เครื่องทดสอบสมบัติด้านการดึง	15
3.2.6 เตาเผา	16

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2.7 เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง 16
3.2.8 เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง 16
3.2.9 เตาอบบ่มเร่ง 16
3.2.10 เครื่องวัดความหนา 17
3.2.11 เครื่องวัดความแข็ง 17
3.2.12 เครื่องตัดชิ้นทดสอบ 18
3.2.13 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด..... 18
3.2.14 เครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์..... 19
3.2.15 เครื่องเลเซอร์พาร์ติเคิลไซส์อนาเลเซอร์..... 19
3.3 วิธีดำเนินการวิจัย 20
3.3.1 การเตรียมเถ้าแกลบ 20
3.3.2 ศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการใช้เถ้าแกลบกับซิลิกา เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ 20
3.3.3 การทดสอบลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางคอมเปานด์..... 22
3.3.4 การทดสอบสมบัติของยางวัลคาไนซ์ 22
3.3.4.1 การทดสอบความหนาแน่นของยาง 22
3.3.4.2 การทดสอบสมบัติด้านการดึง 23
3.3.4.3 การทดสอบความต้านทานต่อการฉีกขาด 24
3.3.4.4 การทดสอบความแข็ง 24
3.3.4.5 การทดสอบคุณสมบัติหลังการบ่มเร่ง 24
3.3.5 การทดสอบสมบัติทางสัณฐานวิทยา 24
3.3.6 ศึกษาอิทธิพลของปริมาณเถ้าแกลบต่อสมบัติของ ยางธรรมชาติ 25

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3.7 ศึกษาอิทธิพลของปริมาณการใช้ไดเอทธีลีนไกลคอลร่วมกับเถ้าแกลบต่อสมบัติของยางธรรมชาติ 25

4. ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง 27

4.1 ผลการทดสอบสมบัติของซิลิกาและเถ้าแกลบ 27

4.2 ผลการเปรียบเทียบสมบัติของยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบและซิลิกาเป็นสารตัวเติม 30

4.2.1 ลักษณะการวัลคาไนซ์ 31

4.2.1.1 ค่าแรงบิดต่ำสุด ค่าแรงบิดสูงสุด และผลต่างระหว่างค่าแรงบิดสูงสุดกับค่าแรงบิดต่ำสุด 31

4.2.1.2 ระยะเวลาที่ยังสามารถแปรรูปได้และระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ 32

4.2.1.3 ดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์ 33

4.2.2 สมบัติทางสัณฐานวิทยา 34

4.2.3 สมบัติของยางวัลคาไนซ์ 36

4.2.3.1 ความหนาแน่นของยาง 36

4.2.3.2 ค่ามอดูลัสที่ระยะยืด 300 เปอร์เซ็นต์ 37

4.2.3.3 ความต้านทานต่อแรงดึง 38

4.2.3.4 ความสามารถในการยืด 39

4.2.3.5 ความต้านทานต่อการฉีกขาด 41

4.2.3.6 ความแข็ง 42

4.3 ผลการศึกษาอิทธิพลของปริมาณเถ้าแกลบเป็นสารตัวเติมต่อสมบัติของยางธรรมชาติ 43

4.3.1 ลักษณะการวัลคาไนซ์ 44

4.3.1.1 ค่าแรงบิดต่ำสุด ค่าแรงบิดสูงสุด และผลต่างระหว่างค่าแรงบิดสูงสุดกับค่าแรงบิดต่ำสุด 44

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3.1.2 ระยะเวลาที่ยังสามารถแปรรูปได้และระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ 45
4.3.1.3 ดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์ 46
4.3.2 สมบัติของยางวัลคาไนซ์ 47
4.3.2.1 ความหนาแน่นของยาง 47
4.3.2.2 ค่ามอดูลัสที่ระยะยืด 300 เปอร์เซ็นต์ 48
4.3.2.3 ความต้านทานต่อแรงดึง 49
4.3.2.4 ความสามารถในการยืด 50
4.3.2.5 ความต้านทานต่อการฉีกขาด 51
4.3.2.6 ความแข็ง 52
4.4 ผลการศึกษาอิทธิพลของปริมาณการใช้ไดเอทธีลีนไกลคอลร่วมกับเถ้าแกลบต่อสมบัติของยางธรรมชาติ 53
4.4.1 ลักษณะการวัลคาไนซ์ 54
4.4.1.1 ค่าแรงบิดต่ำสุด ค่าแรงบิดสูงสุด และผลต่างระหว่างค่าแรงบิดสูงสุดกับค่าแรงบิดต่ำสุด 54
4.4.1.2 ระยะเวลาที่ยังสามารถแปรรูปได้และระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ 55
4.4.1.3 ดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์ 56
4.4.2 สมบัติของยางวัลคาไนซ์ 57
4.4.2.1 ความหนาแน่นของยาง 57
4.4.2.2 ค่ามอดูลัสที่ระยะยืด 300 เปอร์เซ็นต์ 58
4.4.2.3 ความต้านทานต่อแรงดึง 59
4.4.2.4 ความสามารถในการยืด 61
4.4.2.5 ความต้านทานต่อการฉีกขาด 62
4.4.2.6 ความแข็ง 63

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 64
5.1 สรุปผลการทดลอง 64
5.2 ข้อเสนอแนะ 64
บรรณานุกรม 65
ภาคผนวก 67
ก. ผลการทดสอบลักษณะการวัลคาไนซ์ 68
ข. ผลการทดสอบความหนาแน่นของยางวัลคาไนซ์ 70
ค. ผลการทดสอบความต้านทานต่อการดึง 73
ง. ผลการทดสอบค่ามอดูลัสที่ระยะยืด 300 เปอร์เซ็นต์ 77
จ. ผลการทดสอบความสามารถในการยืด 81
ฉ. ผลการทดสอบความต้านทานต่อการฉีกขาด 85

รายการตาราง

ตารางที่ หน้า

3.1 ปริมาณสารเคมีชนิดต่างๆ ที่ใช้ในสูตรยางคอมเปานด์ 21
3.2 ลำดับขั้นตอนการผสมสารเคมี 21
3.3 ปริมาณสารเคมีชนิดต่างๆ ที่ใช้ในสูตรยางคอมเปานด์ 25
3.4 ปริมาณสารเคมีชนิดต่างๆ ที่ใช้ในสูตรยางคอมเปานด์ 26
4.1 สมบัติของซิลิกาและเถ้าแกลบ 27
4.2 สมบัติของยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบและซิลิกาเป็นสารตัวเติม 30
4.3 สมบัติของยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบเป็นสารตัวเติมในปริมาณต่างๆ 43
4.4 สมบัติของยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบเป็นสารตัวเติมร่วมกับ
ไดเอทธีลีนไกลคอลในปริมาณต่างๆ 53

รายการภาพประกอบ

รูปที่		หน้า
2.1	สูตรโครงสร้างของยางธรรมชาติ	4
2.2	การกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติ	5
2.3	ประสิทธิภาพในการบดยางธรรมชาติในอากาศที่อุณหภูมิต่างๆ	6
2.4	ลักษณะแกลบข้าวสด	11
2.5	เปรียบเทียบลักษณะซิลิกากับเถ้าแกลบที่ได้จากการเผาแกลบข้าวที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง	11
3.1	เครื่องทดสอบลักษณะการวัลคาไนซ์ของยาง	14
3.2	เครื่องอัดเบ้ายาง รุ่น GT-7014-A10C	15
3.3	เครื่องทดสอบสมบัติด้านการดึง	16
3.4	เตาอบบ่มเร่ง	17
3.5	เครื่องวัดความแข็ง	17
3.6	เครื่องตัดชิ้นทดสอบ GOTECH รุ่น GT-7016	18
3.7	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	18
3.8	เครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์	19
4.1	การกระจายตัวของขนาดอนุภาคของเถ้าแกลบและซิลิกา	28
4.2	การวิเคราะห์ความเป็นผลึกของเถ้าแกลบ โดยเครื่องมือเอ็กซ์เรย์ ดิฟแฟรกโตมิเตอร์	29
4.3	การวิเคราะห์ความเป็นผลึกของซิลิกา โดยเครื่องมือเอ็กซ์เรย์ ดิฟแฟรกโตมิเตอร์	29
4.4	ค่าแรงบิดต่ำสุด ค่าแรงบิดสูงสุด และผลต่างระหว่างค่าแรงบิดสูงสุดกับค่าแรงบิดต่ำสุดของยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบและซิลิกาเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 0, 25, 50 และ 75 phr ที่อุณหภูมิทดสอบ 150 องศาเซลเซียส	31

รายการภาพประกอบ(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.5 ระยะเวลาที่ยังสามารถแปรรูปได้และระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบและซิลิกาเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 0, 25, 50 และ 75 phr ที่อุณหภูมิทดสอบ 150 องศาเซลเซียส 32

4.6 ดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบและซิลิกาเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 0, 25, 50 และ 75 phr ที่อุณหภูมิทดสอบ 150 องศาเซลเซียส 33

4.7 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของยางที่ไม่มีสารตัวเติม กำลังขยาย 500 , 1000 และ 3000 เท่า 34

4.8 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของยางผสมเถ้าแกลบและซิลิกาในปริมาณ 25, 50 และ 75 phr 35

4.9 ความหนาแน่นของยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบและซิลิกาเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 0, 25, 50 และ 75 phr 36

4.10 ค่ามอดูลัสที่ระยะยืด 300 เปอร์เซ็นต์ของยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบและซิลิกาเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 0, 25, 50 และ 75 phr 37

4.11 ความต้านทานต่อแรงดึงก่อนและหลังบ่มเร่งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมงของยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบและซิลิกาเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 0, 25, 50 และ 75 phr 38

4.12 การเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานต่อแรงดึงก่อนและหลังบ่มเร่งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมงของยางธรรมชาติที่ใช้ เถ้าแกลบและซิลิกาเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 0, 25, 50 และ 75 phr 38

4.13 ความสามารถในการยืดจนขาดก่อนและหลังบ่มเร่งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมงของยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบ และซิลิกาเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 0, 25, 50 และ 75 phr 39

รายการภาพประกอบ(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.14 การเปลี่ยนแปลงของความสามารถในการยืดจนขาดก่อนและหลังบ่มเร่งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมงของยางธรรมชาติที่ใช้ เถ้าแกลบและซิลิกาเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 0, 25,50 และ75 phr 40

4.15 ความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางธรรมชาติ ที่ใช้เถ้าแกลบและซิลิกาเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 0, 25 , 50 และ 75 phr 41

4.16 ความแข็งก่อนและหลังบ่มเร่งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง ของยางธรรมชาติ ที่ใช้เถ้าแกลบและซิลิกาเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 0, 25, 50 และ 75 phr 42

4.17 ค่าแรงบิดต่ำสุด ค่าแรงบิดสูงสุด และผลต่างระหว่างค่าแรงบิดสูงสุดกับค่าแรงบิดต่ำสุดของยางธรรมชาติ ที่ใช้เถ้าแกลบเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 0, 10, 25, 40, 50, 60 และ 75 phr ที่อุณหภูมิทดสอบ 150 องศาเซลเซียส 44

4.18 ระยะเวลาที่ยังสามารถแปรรูปได้และระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 0, 10, 25, 40, 50, 60และ 75 phr ที่อุณหภูมิทดสอบ 150 องศาเซลเซียส 45

4.19 ดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 0, 10, 25, 40, 50, 60 และ 75 phr ที่อุณหภูมิทดสอบ 150 องศาเซลเซียส 46

4.20 ความหนาแน่นของยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 0,10, 25, 40, 50, 60 และ 75 phr 47

4.21 ค่ามอดูลัสที่ระยะยืด 300 เปอร์เซ็นต์ของยางชาติธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 0, 10, 25, 40, 50, 60 และ 75 phr 48

4.22 ความต้านทานต่อแรงดึงก่อนและหลังบ่มเร่งที่อุณหภูมิ100 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมงของยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 0, 10, 25, 40, 50, 60 และ 75 phr 49

รายการภาพประกอบ(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.23 การเปลี่ยนแปลงของความต้านทานต่อแรงดึงก่อนและหลังบ่มเร่งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมงของยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบเป็นสารตัวเติม ในปริมาณ 0, 10, 25, 40, 50, 60 และ 75 phr 50

4.24 ความสามารถในการยืดจนขาดก่อนและหลังบ่มเร่งที่อุณหภูมิ100 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมงของยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 0, 10, 25, 40, 50, 60 และ 75 phr 50

4.25 ความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางชาติธรรมชาติ ที่ใช้เถ้าแกลบเป็นสารตัวเติม ในปริมาณ 0, 10, 25, 40, 50, 60 และ 75 phr 51

4.26 ความแข็งก่อนและหลังบ่มเร่งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสระยะเวลา 72 ชั่วโมง ของยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 0,10, 25, 40, 50, 60 และ 75 phr 52

4.27 ค่าแรงบิดต่ำสุด ค่าแรงบิดสูงสุด และผลต่างระหว่างค่าแรงบิดสูงสุดกับค่าแรงบิดต่ำสุดของยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบ 50 phr เป็นสารตัวเติม โดยแปรปริมาณไดเอทธิลีนไกลคอล เท่ากับ 0, 1.0, 2.0, 2.5, 3.0, 4.0 และ 5.0 phr ที่อุณหภูมิทดสอบ 150 องศาเซลเซียส 54

4.28 ระยะเวลาที่ยังสามารถแปรรูปได้และระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ ของยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบ 50 phr ร่วมกับไดเอทธิลีนไกลคอล ในปริมาณ 0, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 และ 5.0 phr ที่อุณหภูมิทดสอบ 150 องศาเซลเซียส 55

4.29 ดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบ 50 phr ร่วมกับไดเอทธิลีนไกลคอล ในปริมาณ 0, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 และ 5.0 phr ที่อุณหภูมิทดสอบ 150 องศาเซลเซียส 56

4.30 ความหนาแน่นของยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบ 50 phr ร่วมกับไดเอทธิลีนไกลคอล ในปริมาณ 0, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 และ 5.0 phr 57

4.31 ค่ามอดูลัสที่ระยะยืด 300 เปอร์เซ็นต์ก่อนและหลังบ่มเร่งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสระยะเวลา 72 ชั่วโมงของยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบ 50 phr ร่วมกับไดเอทธิลีนไกลคอลในปริมาณ0, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 และ 5.0 phr 58

รายการภาพประกอบ(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.32 ความต้านทานต่อแรงดึงก่อนและหลังบ่มเร่งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมงของยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบ 50 phr ร่วมกับไดเอทธิลีนไกลคอล ในปริมาณ 0, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 และ 5.0 phr 59

4.33 การเปลี่ยนแปลงของความต้านทานต่อแรงดึงก่อนและหลังบ่มเร่งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมงของยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบ 50 phr ร่วมกับไดเอทธิลีนไกลคอลในปริมาณ 0, 1.0, 2.0, 2.5, 3.0, 4.0 และ 5.0 phr 60

4.34 ความสามารถในการยืดจนขาดก่อนและหลังบ่มเร่งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมงของยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบ 50 phr ร่วมกับไดเอทธิลีนไกลคอล ในปริมาณ 0, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 และ 5.0 phr 61

4.35 ความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางธรรมชาติที่ใช้ที่เถ้าแกลบ50 phr ร่วมกับไดเอทธิลีนไกลคอล ในปริมาณ 0, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 และ 5.0 phr 62

4.36 ความแข็งก่อนและหลังบ่มเร่งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสระยะเวลา 72 ชั่วโมงของยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบ 50 phr ร่วมกับไดเอทธิลีนไกลคอลในปริมาณ 0, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 และ 5.0 phr 63