สารบัญ

เรื่อง	หน้า
หนังสือรับรองความเป็นเอกลักษณ์ และต้นฉบับ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
คำนำ	ค
บทคัดย่อ	ง
Abstract	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญรูปภาพ	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ยางธรรมชาติ	3
2.2 ส่วนผสมยางกับสารเคมีและการออกแบบสูตร	4
2.3 สารตัวเติม	5
2.4 กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ยาง	7
2.5 การทดสอบสมบัติของยาง	8
2.6 แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$)	10
2.7 โครงงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	12
บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง	
3.1 วัตถุดิบในการทดลอง	17
3.2 อุปกรณ์และเครื่องจักร	21
3.3 การเตรียมตัวอย่าง	22
3.4 การขึ้นรูปยาง	28
3.5 การทดสอบชิ้นงาน	31

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง	
4.1 ผลการศึกษาการบด	36
4.2 การศึกษาการบดแบบวงจรปิด(Close Circuit) กับการคัดขนาด	44
4.3 การวิเคราะห์ขนาดโดยเทคนิค Image Analysis	52
4.4 ผลการศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับช่วงปริมาณผงหินปูนที่เหมาะสม	56
4.5 ผลการศึกษาสมบัติเชิงกลของยางผสม	59
4.6 การศึกษาการจับยึด(Interactions)ระหว่างยางและอนุภาค ด้วยวิธีBound Rubber	83
4.7 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของยางผสม	86
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย	103
5.2 ข้อเสนอแนะ	106
บรรณานุกรม	
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ผลการวิเคราะห์ขนาดและการกระจายตัว	
ภาคผนวก ข ผลการทดสอบค่าความแข็ง	
ภาคผนวก ค ผลการทดสอบการต้านต่อทานแรงดึง	
ภาคผนวก ง ผลการทดสอบการต้านทานการฉีกขาด	
ภาคผนวก จ ผลการทำ X-ray mapping	
ภาคผนวก ฉ ผลการทดสอบโดยเครื่อง MDR	
ภาคผนวก ช ผลการทดสอบโดยเทคนิค	
ภาคผนวก จ ผลการทดสอบ FTIR	

สารบัญตาราง

เรื่อง	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงปริมาณของยางและสารเคมีต่างๆ ในสูตรผลิตภัณฑ์ยางพื้นฐาน	4
ตารางที่ 2.2 แสดงหน้าที่และปริมาณการใช้สารต่างๆ	6
ตารางที่ 3.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของ หินปูน จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-ray Fluorescence Spectrometry (XRF)	45
ตารางที่ 3.2 Standard Thai Rubber (STR)	46
ตารางที่ 3.3 สูตรในการผสมยางที่ใช้ในการทดลอง	52
ตารางที่ 3.4 ค่าเวลาวัลคาไนซ์ของยางแต่ละอัตราส่วนผสมจากการทดสอบ โดยเครื่อง MDR	53
ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบดแห้งที่รูปแบบการบดต่างๆ	37
ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบดเปียกที่รูปแบบการบดต่างๆ	40
ตารางที่ 4.3 ข้อมูลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคที่การบด 20 ชั่วโมง	45
ตารางที่ 4.4 ข้อมูลการคัดขนาดโดยวิธี Beaker Decantation	46
ตารางที่ 4.5 ข้อมูลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคที่การบด 1 ชั่วโมง	47
ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการบดที่เงื่อนไขของขนาดอนุภาคต่างๆ (ป้อน 100 เมตริกตันต่อชั่วโมง)	50
ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการบดแบบเปิด ที่เงื่อนไขของขนาดอนุภาคต่างๆ(ป้อน 100 เมตริกตันต่อชั่วโมง)	51
ตารางที่ 4.8 IR spectra ของ Calcium Carbonate	93
ตารางที่ 4.9 IR spectra ของ CH_3 และ $C=O$	97

สารบัญรูปภาพ

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงสูตรโครงสร้างของโมเลกุลของ Polyisoprene	4
รูปที่ 2.2 แสดงการเกิดการเชื่อมโยงโมเลกุลของยาง	7
รูปที่ 2.3 แสดงกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ยางโดยทั่วไป	7
รูปที่ 3.1 หินปูนที่ใช้ในงานวิจัย	17
รูปที่ 3.2 หินปูนจากบริษัทปูนคุณภาพ (Lime Quality)	17
รูปที่ 3.3 ยางแท่ง STR5L ที่ใช้ในงานวิจัย	19
รูปที่ 3.4 สารเคมีที่ใช้ในการขึ้นรูปยาง	21
รูปที่ 3.5 ภาพ PMAA และ PAA	21
รูปที่ 3.6 เครื่อง Cone Crusher ชนิด Coffee Mill	23
รูปที่ 3.7 เครื่อง Steropycnometer	23
รูปที่ 3.8 Alumina Ball	24
รูปที่ 3.9 หม้อบด	25
รูปที่ 3.10 เครื่องบด Jar mill	25
รูปที่ 3.11 เครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค (Laser particle size analyzer (LS 230))	25
รูปที่ 3.12 กล้องจุลทรรศน์ และกล้องถ่ายภาพเพื่อทำ Image Analysis	26
รูปที่ 3.13 หินปูนขนาดละเอียด ซึ่งอยู่ในสภาพสารแขวนลอย	26
รูปที่ 3.14 เครื่องกวนRW20	27
รูปที่3.15 เครื่องกรองสุญญากาศ (Filter Press)	27
รูปที่ 3.16 เตาอบ	28
รูปที่ 3.17 เครื่องบดยางแบบ Two-roll mill	29
รูปที่ 3.18 เครื่อง MDR หาเวลาของการวัลคาไนซ์	30
รูป ที่ 3.19 แม่พิมพ์สเตนเลส	30
รูปที่ 3.20 เครื่องอัดแม่พิมพ์ยางไฮโดรลิก	30
รูปที่ 3.21 ภาพหลังจากการอัด	31
รูปที่ 3.22 ชิ้นงานที่ผ่านการอัดโดยเครื่องเครื่องอัดแม่พิมพ์ยางไฮโดรลิก	31
รูปที่ 3.23 เครื่องตัดชิ้นทดสอบดัมเบล รุ่นS1No.C90003124	32

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 3.24 ชิ้นงานรูปดัมเบล ตามมาตรฐาน ASTM D-412 (Die C)	32
รูปที่ 3.25 เครื่องทดสอบยางโดยการดึง (Universal Testing Machine) รุ่น LLOYD 10 kN	33
รูปที่ 3.26 เครื่องตัดชิ้นงานรูปดันธนู ตามมาตรฐาน ASTM D 624	34
รูปที่ 3.27 ชิ้นงานรูปดันธนู ตามมาตรฐาน ASTM D 624	34
รูปที่ 3.28 เครื่องวัดความแข็ง MODEL 408 TYPE A	35
รูปที่ 4.1 การกระจายของอนุภาคที่ได้จากการบดแห้งที่ 40 %Ball Filling และความเร็วรอบ 40 rpm	37
รูปที่ 4.2 การกระจายของอนุภาคที่ได้จากการบดแห้งที่ 50 % ball filling และความเร็วรอบ 40 rpm	38
รูปที่ 4.3 การกระจายของอนุภาคที่ได้จากการบดแห้งที่ 60 % ball filling และความเร็วรอบ 40 rpm	38
รูปที่ 4.4 การกระจายของอนุภาคที่ได้จากการบดแห้งที่ 40 % ball filling และความเร็วรอบ62 rpm	39
รูปที่ 4.5 ภาพถ่ายอนุภาคผงหินปูนบดที่ 147 ชั่วโมง ความเร็ว 62 rpm 60%solid (กำลังขยาย 10,000 เท่า)	40
รูปที่ 4.6 ภาพอนุภาคผงหินปูนบดที่ 147 ชั่วโมง ความเร็ว 62 rpm 60%solid (กำลังขยาย 20,000 เท่า)	41
รูปที่ 4.7 การกระจายของอนุภาคที่ได้จากการบดเปียกที่ 40%Ball Filling ความเร็วรอบ 62 rpm และ60 % Solid	41
รูปที่ 4.8 การกระจายของอนุภาคที่ได้จากการบดเปียกที่40%Ball Filling ความเร็วรอบ 62 rpm และ 65 % Solid	42
รูปที่ 4.9 การกระจายของอนุภาคที่ได้จากการบดเปียกที่40%Ball Filling ความเร็วรอบ 62 rpm 60 % Solid และใช้โซเดียมซิลิเกตเป็นสารช่วยกระจายตัว	42
รูปที่ 4.10 การกระจายของอนุภาคที่ได้จากการบดเปียกที่40%Ball Filling ความเร็วรอบ 62 rpm 60 % Solid และใช้กรดสเตียริกเป็นสารช่วยกระจายตัว	43

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 4.11 แผนผังกระบวนการบดวงจรปิด	44
รูปที่ 4.12 แผนผังกระบวนการบดวงจรปิดที่ออกแบบสำหรับการศึกษา	46
รูปที่ 4.13ข้อมูลการวิเคราะห์ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคผงหินปูน ที่เวลาการบด 1 ชั่วโมง	47
รูปที่ 4.14 รูปแบบการคำนวณหาค่าใช้จ่ายในการบด	48
รูปที่ 4.15 ภาพถ่ายอนุภาคหินปูนใช้เวลาบด 1 ชั่วโมง ที่กำลังขยาย 200 เท่า	52
รูปที่ 4.16 ภาพถ่ายอนุภาคหินปูนใช้เวลาบด 1 ชั่วโมง ที่กำลังขยาย 800 เท่า	53
รูปที่ 4.17 ภาพถ่ายอนุภาคหินปูนใช้เวลาบด 187 ชั่วโมง ที่กำลังขยาย 200 เท่า	54
รูปที่ 4.18 ภาพถ่ายอนุภาคหินปูนใช้เวลาบด 187 ชั่วโมง ที่กำลังขยาย 800 เท่า	55
รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งของยาง STR 5L กับปริมาณผงหินปูน	56
รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนทานต่อแรงดึงของยาง STR 5L กับปริมาณผงหินปูน	57
รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดูลัสที่ความเครียด 300% การยืด กับปริมาณผงหินปูน	57
รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานการฉีกขาดของยาง STR 5L กับปริมาณผง หินปูน	58
รูปที่ 4.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งของยาง STR 5L กับปริมาณของผงหินปูน	60
รูปที่ 4.24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งของยาง STR 5L กับปริมาณของผงหินปูน	62
รูปที่ 4.25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งของยาง STR 5L กับปริมาณของผงหินปูน	64
รูปที่ 4.26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนทานต่อแรงดึงของยาง STR 5L กับปริมาณผงหินปูน	66

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 4.27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนทานต่อแรงดึงของยาง STR 5L กับปริมาณผงหินปูน	68
รูปที่ 4.28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนทานต่อแรงดึงของยาง STR 5L กับปริมาณผงหินปูน	70
รูปที่ 4.29 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดูลัสที่ 300% การยืด กับปริมาณผงหินปูน	72
รูปที่ 4.30 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดูลัสที่ 300% การยืด กับปริมาณผงหินปูน	74
รูปที่ 4.31 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดูลัสที่ 300% การยืด กับปริมาณผงหินปูน	76
รูปที่ 4.32 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานการฉีกขาดของยาง STR 5L กับปริมาณผงหินปูน	78
รูปที่ 4.33 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานการฉีกขาดของยาง STR 5L กับปริมาณผงหินปูน	80
รูปที่ 4.34 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานการฉีกขาดของยาง STR 5L กับปริมาณผงหินปูน	82
รูปที่ 4.35 ภาพจำลองพฤติกรรมยางเมื่อทำการศึกษา Bound Rubber	83
รูปที่ 4.36 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Bound Rubber Content (%) กับชนิดของผงหินปูน	85
รูปที่ 4.37 IR spectra	93
รูปที่ 4.38 กราฟเปรียบเทียบ Spectrum ของยางซึ่งไม่ใส่ผงหินปูน (สีเขียว) และใส่ผงหินปูนปริมาณ 15 phr (สีแดง)	94
รูปที่ 4.39 กราฟเปรียบเทียบ Spectrum ของยางซึ่งใส่ผงหินปูนขนาดต่างกัน	95
รูปที่ 4.40 กราฟเปรียบเทียบ Spectrum ของยางซึ่งใส่ผงหินปูน ที่มีช่วงการกระจายตัวต่างกัน	96
รูปที่ 4.41 ภาพสูตรโครงสร้างของ PAA และ PMAA	97

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 4.42 IR spectra ของ Pure PMAA	97
รูปที่ 4.43 กราฟเปรียบเทียบ Spectrum ของยางซึ่งใส่ผงหินปูนที่มีการเคลือบผิวด้วยวิธีการบดผสม	98
รูปที่ 4.44 กราฟเปรียบเทียบ Spectrum ของยางซึ่งใส่ผงหินปูนที่มีการเคลือบผิวด้วยวิธีการกวนผสม	99
รูปที่ 4.45 กราฟเปรียบเทียบ Spectrum ของยางซึ่งใส่ผงหินปูนที่มีการเคลือบผิวด้วย PAA	100
รูปที่ 4.46 กราฟเปรียบเทียบ Spectrum ของยางซึ่งใส่ผงหินปูนที่มีการเคลือบผิวด้วย PMAA	101