สารบัญ

หัวข้อ		หน้า
บทคัดย่อ		(5)
ABSTRACT		(6)
กิตติกรรมประกาศ		(7)
สารบัญ		(8)
สารบัญตาราง		(12)
สารบัญภาพ		(13)
บทที่ 1	**บทนำ**	1
1.1	ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2
1.3	วัตถุประสงค์	3
บทที่ 2	**ทฤษฎี**	4
2.1	ความร้อนและอุณหภูมิ	4
2.2	การขยายตัวเนื่องจากความร้อน	4
	2.2.1 การขยายตัวตามเส้น	4
	2.2.2 การขยายตัวตามพื้นที่	5
	2.2.3 การขยายตัวตามปริมาตร	5
2.3	ความเค้นที่เกิดจากความร้อน	6
2.4	สมบัติเชิงความร้อนของพอลิเมอร์	6
2.5	การส่งผ่านความร้อน	7
	2.5.1 การนำความร้อน	7
	2.5.2 การพาความร้อน	8
	2.5.3 การแผ่รังสี	8
2.6	ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของวัตถุ	9
	2.6.1 สัมประสิทธิ์การนำความร้อน	9
	2.6.2 การนำความร้อน	9
2.7	ยางธรรมชาติ	11
2.8	ยางรีเคลม	12

Prince of Songkla University Pattani Campus

สารบัญ (ต่อ)

หัวข้อ		หน้า
2.9	พอลิเอทีลีนความหนาแน่นต่ำ	13
	2.9.1 คุณสมบัติทางกายภาพ	13
	2.9.2 การนำไปใช้	13
2.10	โซเดียมไบคาร์บอเนตหรือสารก่อฟอง	14
	2.10.1 กระบวนการผลิตโซเดียมไบคาร์บอเนต	14
	2.10.2 การสลายตัวเมื่อได้รับความร้อน	14
	2.10.3 การนำไปใช้	15
2.11	การวัลคาไนซ์โดยใช้กำมะถัน	15
2.12	ความหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะ	16
	2.12.1 ความหนาแน่น	16
	2.12.2 การหาความหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะด้วยวิธีแทนที่ด้วยน้ำ	16
2.13	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	17
2.14	สมบัติด้านการดึง	17
	2.14.1 ความเครียด	18
	2.14.2 ความเค้น	19
	2.14.3 ค่ามอดูลัสของยัง	20
2.15	สมบัติการไหล	20
	2.15.1 การวัดความหนืด	21
	2.15.2 ลักษณะการไหลของของไหล	22
บทที่ 3	**วัสดุอุปกรณ์ และวิธีการวิจัย**	26
3.1	วัสดุและสารเคมี	26
	3.1.1 ยางแท่ง	26
	3.1.2 ยางรีเคลม	26
	3.1.3 สารเคมี	26
	3.1.4 สารตัวเติม	26
3.2	อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	26
	3.2.1 เครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียด 0.01 กรัม	26

Prince of Songkla University Pattani Campus

สารบัญ (ต่อ)

หัวข้อ		หน้า
	3.2.2 เครื่องผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง	26
	3.2.4 เครื่อง Oscillating Disc Rheometer (ODR)	27
	3.2.5 เครื่องขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์แบบอัด	28
	3.2.6 ชุดทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของฉนวนความร้อน	30
	3.2.7 เครื่องทดสอบสมบัติการดึง	32
	3.2.8 เครื่องทดสอบสมบัติการไหล	33
	3.2.9 กล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอน	34
	3.2.10 เครื่องวัดความหนาแน่น	35
3.3	วิธีการทดลอง	35
	3.3.1 การเตรียมสารตัวเติม	35
	3.3.2 ออกแบบสูตรยาง	36
	3.3.3 การผสมยาง	37
	3.3.4 การหาเวลาสุกของยาง	37
	3.3.5 การอัดเบ้า	37
	3.3.6 การทดสอบสมบัติเชิงความร้อน	37
	3.3.7 การหาความหนาแน่น	38
	3.3.8 การทดสอบสมบัติการดึง	38
	3.3.9 การทดสอบสมบัติการไหล	39
	3.3.10 การทดสอบสมบัติทางกายภาพโดยใช้เครื่อง SEM	39
บทที่ 4	**ผลการวิจัย และวิจารณ์ผลการวิจัย**	40
4.1	ผลกาศึกษาสมบัติเชิงความร้อน	40
	4.1.1 ผลการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของสูตรยาง NR 100 phr BA 0 และ 10 phr RR 0 phr โดยผสม LDPE 2, 4, 6 และ 8 phr	41
	4.1.2 ผลการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของสูตรยาง NR 100 phr BA 0 phr RR 200 และ 400 phr โดยผสม LDPE 2, 4, 6 และ 8 phr	42

Prince of Songkla University Pattani Campus

สารบัญ (ต่อ)

หัวข้อ		หน้า
	4.1.3 ผลการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของสูตรยาง NR 100 phr BA 10 phr RR 200 และ 400 phr โดยผสม LDPE 2, 4, 6 และ 8 phr	43
4.2	ผลการศึกษาสมบัติเชิงกล	44
	4.2.1 ความทนต่อแรงดึงและค่ามอดูลัสของยาง	44
4.3	ผลการศึกษาความหนาแน่น	58
4.4	ผลการศึกษาโครงสร้างภายในโดยเครื่อง Scanning Electron Microscope, SEM	59
	4.4.1 อิทธิพลของ LDPE ต่อโครงสร้างภายในของแผ่นตัวอย่าง	59
	4.4.2 อิทธิพลของ RR ต่อโครงสร้างภายในของแผ่นตัวอย่าง	61
	4.4.3 อิทธิพลของ BA ต่อโครงสร้างภายในของแผ่นตัวอย่าง	62
4.5	ผลการศึกษาสมบัติการไหลโดยใช้เครื่อง Capillary Rheology	63
	4.5.1 อิทธิพลของปริมาณเศษแผ่นฟิล์ม LDPE ที่มีผลต่อความหนืด	63
	4.5.2 อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อความหนืด	65
บทที่ 5	**สรุปผลการศึกษา และข้อเสนอแนะ**	69
5.1	ผลการศึกษาสมบัติเชิงความร้อน (ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน; k)	69
5.2	ผลการศึกษาสมบัติเชิงกล	70
5.3	ผลการศึกษาความหนาแน่น	70
5.4	ผลการศึกษาโครงสร้างภายในโดยเครื่อง Scanning Electron Microscope, SEM	70
5.5	ผลการศึกษาสมบัติการไหลโดยใช้เครื่อง Capillary Rheometer	71
5.6	ข้อเสนอแนะ	71
บรรณานุกรม		72
ภาคผนวก		74
ประวัติผู้เขียน		101

Prince of Songkla University Pattani Campus

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ค่า T_g และ T_f ของพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ	8
2.2	ค่าการนำความร้อนของวัสดุต่างๆ	12
3.1	สูตรการผสมยางสูตร BA 0 phr	37
3.2	สูตรการผสมยางสูตร BA 10 phr	38

Prince of Songkla University
Pattani Campus

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	แสดงการขยายตัวตามเส้น ตามพื้นที่และตามปริมาตร	7
2.2	แสดงการถ่ายเทพลังงานความร้อน	9
2.3	การนำความร้อนของวัตถุผ่านเนื้อวัสดุ พื้นที่ A หนา Δx	11
2.4	แผนผังตำแหน่งอุณหภูมิของชุดทดลองสมบัติการเป็นฉนวน	12
2.5	สูตรโครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ	13
2.6	การเชื่อมโมเลกุลของยางด้วยกำมะถัน	16
2.7	แสดงส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่อง SEM	18
2.8	แสดงขนาดและรูปทรงของชิ้นงานสำหรับทดสอบแรงดึง	20
2.9	การหาค่ามอดูลัสในแบบต่างๆ	22
2.10	กราฟการไหลแบบ Newtonian	24
2.11	กราฟการไหลแบบ Psedoplastic	25
2.12	กราฟการไหลแบบ Dilatant	26
2.13	กราฟการไหลแบบ Bingham fluid	27
3.1	เครื่องบดยางสองลูกกลิ้ง (two roll mill)	29
3.2	เครื่อง Oscillating Disc Rheometer (ODR)	30
3.3	เครื่องขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์แบบอัด	31
3.4	ชุดทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของฉนวนกันความร้อน	32
3.5	ตัวเก็บข้อมูลรุ่น EASY SENSE Advanced ของบริษัท DATA HARVEST	34
3.6	เครื่องทดสอบสมบัติการดึง	35
3.7	เครื่องทดสอบสมบัติการไหล	35
3.8	กล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอน (Scanning Electron Microscope, SEM)	36
3.9	เครื่องวัดความหนาแน่น Electric Densimeter	37
4.1	กราฟอุณหภูมิตู้ที่ 1 และตู้ที่ 2 กับเวลาและกราฟผลต่างอุณหภูมิสัมผัสตัวอย่างกับเวลาตามลำดับ ของสูตรยาง NR 100 phr BA 0 phr RR 0 phr โดยผสม LDPE 2 phr	42
4.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับเวลาของสูตรยาง NR 100 phr BA 0 และ 10 phr RR 0 phr โดยผสม LDPE 2, 4, 6 และ 8 phr	43
4.3	กราฟเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับเวลาของสูตรยาง NR 100 phr BA 0 phr RR 200 และ 400 phr โดยผสม LDPE 2, 4, 6 และ 8 phr	44

Prince of Songkla University Pattani Campus

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

4.4 กราฟเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับเวลาของสูตรยาง NR 100 phr BA 10 phr RR 200 และ 400 phr โดยผสม LDPE 2, 4, 6 และ 8 phr 45

4.5 กราฟ A แสดงค่าความทนต่อแรงดึงและ B แสดงค่ามอดูลัสของ NR 100 phr BA 10 phr RR 200 phr โดยผสม LDPE 2, 4, 6 และ 8 phr ที่ความเร็ว 50 มม./นาที 46

4.6 กราฟ A แสดงค่าความทนต่อแรงดึงและ B แสดงค่ามอดูลัสของ NR 100 phr BA 10 phr RR 200 phr โดยผสม LDPE 2, 4, 6 และ 8 phr ที่ความเร็ว 100 มม./นาที 47

4.7 กราฟ A แสดงค่าความทนต่อแรงดึงและ B แสดงค่ามอดูลัสของ NR 100 phr BA 0 phr RR 0 phr โดยผสม LDPE 2, 4, 6 และ 8 phr ที่ความเร็ว 200 มม./นาที 47

4.8 กราฟ A แสดงค่าความทนต่อแรงดึงและ B แสดงค่ามอดูลัสของ NR 100 phr BA 0 phr RR 0 phr โดยผสม LDPE 2, 4, 6 และ 8 phr ที่ความเร็ว 300 มม./นาที 48

4.9 กราฟ A แสดงค่าความทนต่อแรงดึงและ B แสดงค่ามอดูลัสของ NR 100 phr BA 0 phr RR 0 phr โดยผสม LDPE 2, 4, 6 และ 8 phr ที่ความเร็ว 400 มม./นาที 48

4.10 กราฟ A แสดงค่าความทนต่อแรงดึงและ B แสดงค่ามอดูลัสของ NR 100 phr BA 0 phr RR 200 phr โดยผสม LDPE 2, 4, 6 และ 8 phr ที่ความเร็ว 50 มม./นาที 49

4.11 กราฟ A แสดงค่าความทนต่อแรงดึงและ B แสดงค่ามอดูลัสของ NR 100 phr BA 0 phr RR 400 phr โดยผสม LDPE 2, 4, 6 และ 8 phr ที่ความเร็ว 50 มม./นาที 50

4.12 กราฟ A แสดงค่าความทนต่อแรงดึงและ B แสดงค่ามอดูลัสของ NR 100 phr BA 0 phr RR 200 phr โดยผสม LDPE 2, 4, 6 และ 8 phr ที่ความเร็ว 100 มม./นาที 50

4.13 กราฟ A แสดงค่าความทนต่อแรงดึงและ B แสดงค่ามอดูลัสของ NR 100 phr BA 0 phr RR 400 phr โดยผสม LDPE 2, 4, 6 และ 8 phr ที่ความเร็ว 100 มม./นาที 51

4.14 กราฟ A แสดงค่าความทนต่อแรงดึงและ B แสดงค่ามอดูลัสของ NR 100 phr BA 0 phr RR 200 phr โดยผสม LDPE 2, 4, 6 และ 8 phr ที่ความเร็ว 200 มม./นาที 51

4.15 กราฟ A แสดงค่าความทนต่อแรงดึงและ B แสดงค่ามอดูลัสของ NR 100 phr BA 0 phr RR 400 phr โดยผสม LDPE 2, 4, 6 และ 8 phr ที่ความเร็ว 200 มม./นาที 52

4.16 กราฟ A แสดงค่าความทนต่อแรงดึงและ B แสดงค่ามอดูลัสของ NR 100 phr BA 0 phr RR 200 phr โดยผสม LDPE 2, 4, 6 และ 8 phr ที่ความเร็ว 300 มม./นาที 52

4.17 กราฟ A แสดงค่าความทนต่อแรงดึงและ B แสดงค่ามอดูลัสของ NR 100 phr BA 0 phr RR 0 phr โดยผสม LDPE 2, 4, 6 และ 8 phr ที่ความเร็ว 200 มม./นาที 53

Prince of Songkla University Pattani Campus

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

4.18 กราฟ A แสดงค่าความทนต่อแรงดึงและ B แสดงค่ามอดูลัสของ NR 100 phr BA 0 phr RR 200 phr โดยผสม LDPE 2, 4, 6 และ 8 phr ที่ความเร็ว 400 มม./นาที 53
4.19 กราฟ A แสดงค่าความทนต่อแรงดึงและ B แสดงค่ามอดูลัสของ NR 100 phr BA 0 phr RR 400 phr โดยผสม LDPE 2, 4, 6 และ 8 phr ที่ความเร็ว 400 มม./นาที 54
4.20 กราฟ A แสดงค่าความทนต่อแรงดึงและ B แสดงค่ามอดูลัสของ NR 100 phr BA 10 phr RR 0 phr โดยผสม LDPE 2, 4, 6 และ 8 phr ที่ความเร็ว 50 มม./นาที 55
4.21 กราฟ A แสดงค่าความทนต่อแรงดึงและ B แสดงค่ามอดูลัสของ NR 100 phr BA 10 phr RR 200 phr โดยผสม LDPE 2, 4, 6 และ 8 phr ที่ความเร็ว 50 มม./นาที 55
4.22 กราฟ A แสดงค่าความทนต่อแรงดึงและ B แสดงค่ามอดูลัสของ NR 100 phr BA 10 phr RR 0 phr โดยผสม LDPE 2, 4, 6 และ 8 phr ที่ความเร็ว 100 มม./นาที 56
4.23 กราฟ A แสดงค่าความทนต่อแรงดึงและ B แสดงค่ามอดูลัสของ NR 100 phr BA 10 phr RR 200 phr โดยผสม LDPE 2, 4, 6 และ 8 phr ที่ความเร็ว 100 มม./นาที 56
4.24 กราฟ A แสดงค่าความทนต่อแรงดึงและ B แสดงค่ามอดูลัสของ NR 100 phr BA 10 phr RR 0 phr โดยผสม LDPE 2, 4, 6 และ 8 phr ที่ความเร็ว 200 มม./นาที 57
4.25 กราฟ A แสดงค่าความทนต่อแรงดึงและ B แสดงค่ามอดูลัสของ NR 100 phr BA 10 phr RR 200 phr โดยผสม LDPE 2, 4, 6 และ 8 phr ที่ความเร็ว 200 มม./นาที 57
4.26 กราฟ A แสดงค่าความทนต่อแรงดึงและ B แสดงค่ามอดูลัสของ NR 100 phr BA 10 phr RR 0 phr โดยผสม LDPE 2, 4, 6 และ 8 phr ที่ความเร็ว 300 มม./นาที 58
4.27 กราฟ A แสดงค่าความทนต่อแรงดึงและ B แสดงค่ามอดูลัสของ NR 100 phr BA 10 phr RR 200 phr โดยผสม LDPE 2, 4, 6 และ 8 phr ที่ความเร็ว 300 มม./นาที 58
4.28 กราฟ A แสดงค่าความทนต่อแรงดึงและ B แสดงค่ามอดูลัสของ NR 100 phr BA 10 phr RR 0 phr โดยผสม LDPE 2, 4, 6 และ 8 phr ที่ความเร็ว 400 มม./นาที 59
4.29 กราฟ A แสดงค่าความทนต่อแรงดึงและ B แสดงค่ามอดูลัสของ NR 100 phr BA 10 phr RR 200 phr โดยผสม LDPE 2, 4, 6 และ 8 phr ที่ความเร็ว 400 มม./นาที 59
4.30 แสดงค่าความหนาแน่นของตัวอย่างที่ผสมRR 0 phr BA 0 และ 10 phr 60
4.31 แสดงค่าความหนาแน่นของตัวอย่างที่ผสมRR 200 phr BA 0 และ 10 phr 60
4.32 แสดงค่าความหนาแน่นของตัวอย่างที่ผสมRR 400 phr BA 0 และ 10 phr 61
4.33 แสดงภาพจากเครื่อง SEM ของตัวอย่าง S1 กำลังขยาย 5,000 และ 20,000 เท่า 62
4.34 แสดงภาพจากเครื่อง SEM ของตัวอย่าง S3 กำลังขยาย 5,000 และ 20,000 เท่า 62

Prince of Songkla University Pattani Campus

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

4.35 แสดงภาพจากเครื่อง SEM ของตัวอย่าง S8 กำลังขยาย 1,500 และ 10,000 เท่า 62
4.36 แสดงภาพจากเครื่อง SEM ของตัวอย่าง S1 กำลังขยาย 5,000 และ 20,000 เท่า 63
4.37 แสดงภาพจากเครื่อง SEM ของตัวอย่าง S5 กำลังขยาย 1,500 และ 10,000 เท่า 63
4.38 แสดงภาพจากเครื่อง SEM ของตัวอย่าง S9 กำลังขยาย 1,500 และ 10,000 เท่า 64
4.39 แสดงภาพจากเครื่อง SEM ของตัวอย่าง S9 กำลังขยาย 1,500 และ 10,000 เท่า 64
4.40 แสดงภาพจากเครื่อง SEM ของตัวอย่าง S13 กำลังขยาย 5,000 และ 20,000 เท่า 65
4.41 แสดงกราฟระหว่างอัตราเฉือนกับความหนืดของยางธรรมชาติและตัวอย่างที่ผสม LDPE 2, 4, 6 และ 8 phr ที่อุณหภูมิ 100^0C, 115^0C และ 130^0C 66
4.42 แสดงกราฟระหว่างอัตราเฉือนและความหนืด ที่อุณหภูมิ100^0C, 115^0C และ 130^0C ของยางธรรมชาติและตัวอย่างที่ผสม LDPE 2, 4, 6 และ 8 phr 68

Prince of Songkla University
Pattani Campus