สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ ... (5)
Abstract ... (6)
กิตติกรรมประกาศ ... (8)
สารบัญ ... (9)
รายการตาราง ... (16)
รายการรูป ... (18)
บทที่ 1 บทนำ ... 1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา ... 1
1.2 วัตถุประสงค์ ... 3
1.3 ขอบเขตการศึกษา ... 3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ... 4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ... 5
2.1 ยางธรรมชาติ ... 5
2.2 ยางธรรมชาติอิพอกไซด์ ... 6
2.2.1 สมบัติของยางธรรมชาติอิพอกไซด์ ... 7
2.2.2 การวิเคราะห์ยางธรรมชาติอิพอกไซด์ ... 7
2.3 ยางรีเคลม ... 8
2.3.1 ตัวอย่างกระบวนการเตรียมยางรีเคลม ... 10
2.3.1.1 กระบวนการรีเคลมโดยอาศัยความร้อน ... 10
2.3.2.2 กระบวนการรีเคลมโดยใช้ความร้อนร่วมกับวิธีทางกล (Thermo-mechanical process) ... 10
2.3.3.3 กระบวนการรีเคลมโดยใช้วิธีทางกลร่วมกับวิธีทางเคมี (Mechano-chemical methods) ... 10
2.3.4.4 กระบวนการรีเคลมโดยใช้สารเคมี (Chemical reclaiming processes) ... 11
2.3.2 สมบัติของยางรีเคลม ... 12
2.3.3 การใช้งานยางรีเคลม ... 12
2.4 เทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์ (Thermoplastic Elastomers, TPEs) ... 13

Prince of Songkla University Pattani Campus

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4.1 การเตรียมเทอร์โมพลาสติกจากการเบลนด์ยางและพลาสติก...................... 15
2.4.2 การแปรรูปและการประยุกต์ใช้งานเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์............. 19
2.5 การเข้ากันได้ของการเบลนด์ (Blend compatibilization)................................... 20
2.5.1 การใช้โคพอลิเมอร์แบบกราฟต์และบล็อกเป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้........ 20
2.5.2 การใช้พอลิเมอร์ที่มีหมู่ฟังชันก์เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้......................... 20
2.5.3 รีเอกทีฟเบลนด์ (Reactive blending).. 21
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.. 21
2.6.1 กระบวนการรีเคลม... 21
2.6.2 การใช้ยางรีเคลมเป็นองค์ประกอบเบลนด์.. 22
2.6.3 ระบบวัลคาไนซ์ของพอลิเมอร์เบลนด์ที่มียางรีเคลมเป็นองค์ประกอบ.......... 24
2.6.4 การใช้ยางรีเคลมเป็นองค์ประกอบการเบลนด์ในการเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์.. 26
2.6.5 การปรับปรุงความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์เบลนด์ที่มียางรีเคลมเป็นองค์ประกอบ.. 27
บทที่ 3 สารเคมี อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง.. 29
3.1 สารเคมี.. 29
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง... 35
3.3 วิธีการทดลอง... 38
3.3.1 การศึกษาสมบัติเบื้องต้นของยางรีเคลม... 38
3.3.2 การศึกษาอิทธิพลของชนิดสารดัดแปรต่อสมบัติของยางวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ยางธรรมชาติและยางรีเคลม.. 40
3.3.3 การศึกษาอิทธิพลของวิธีการผสมสารดัดแปรต่อสมบัติของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ระหว่างยางธรรมชาติ ยางรีเคลม และโพรพิลีนเอทิลีนโคพอลิเมอร์.. 42
3.3.4 การศึกษาอิทธิพลของปริมาณสารดัดแปรต่อสมบัติเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ระหว่าง NR/RR/PEC.. 46
3.3.5 การศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนการเบลนด์ต่อสมบัติเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ระหว่าง NR/RR/PEC.. 46

Prince of Songkla University Pattani Campus

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3.6 การศึกษาผลของการใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้ชนิดกราฟต์โคพอลิเมอร์ของโพรพิลีนเอทิลีนโคพอลิเมอร์กับฟีนอลิกเรซิน(Propylene-ethylene copolymer grafted phenolic resin, PEC-g-Ph) ร่วมกับวิธีการปรับปรุงความเข้ากันได้โดยใช้สารดัดแปรต่อสมบัติเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ระหว่าง NR/RR/PEC 47
3.3.7 การศึกษาอิทธิพลของชนิดยางธรรมชาติต่อสมบัติเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ระหว่าง NR/RR/PEC 51
3.4 วิธีการทดสอบสมบัติ 52
3.4.1 การทดสอบค่าความหนืดมูนนี่ 52
3.4.2 การทดสอบสมบัติความต้านทานต่อการดึง และความสามารถในการยืดจนขาด 52
3.4.3 การทดสอบการผิดรูปถาวรแบบดึง (Tension set) 53
3.4.4 การทดสอบสมบัติเชิงกลหลังบ่มเร่ง 53
3.4.5 การทดสอบความแข็งด้วยเครื่อง Durometer 54
3.4.6 การทดสอบสมบัติการไหลด้วยเครื่อง Capillary rheometer 54
3.4.7 การทดสอบสมบัติเชิงกลพลวัตด้วยเครื่อง Moving die rheometer 55
3.4.8 การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยเครื่อง Scanning electron microscope (SEM) 55
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง 56
4.1 การศึกษาสมบัติของยางรีเคลม 56
4.1.1 การวิเคราะห์สมบัติเชิงความร้อนของยางรีเคลมด้วยเทคนิค Thermal gravimetric analysis (TGA) 56
4.1.2 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของยางรีเคลมด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปคโทรสโกปี (FTIR) 59
4.1.3 การวิเคราะห์ปริมาณส่วนที่ละลายและไม่ละลาย (Sol-gel fraction) ในยางรีเคลม 60
4.1.4 การหาความหนาแน่นพันธะเชื่อมขวางในยางรีเคลมด้วยวิธีการบวมพอง (Swelling) 60

Prince of Songkla University Pattani Campus

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.1.5 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของยางรีเคลม........ 61

4.2 การศึกษาอิทธิพลของชนิดสารตัดแปรต่อสมบัติของยางวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ระหว่างยางธรรมชาติและยางรีเคลม (NR/RR blend)........ 61

4.2.1 พฤติกรรมการวัลคาไนซ์ของยางเบลนด์ระหว่าง NR/RR เมื่อแปรชนิดสารดัดแปร........ 61

4.2.2 การศึกษาอิทธิพลของชนิดสารดัดแปรต่อสมบัติเชิงกลของยางวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ระหว่าง NR/RR........ 68

4.2.3 การศึกษาอิทธิพลของชนิดสารดัดแปรต่อสมบัติเชิงกลหลังบ่มเร่งของยางวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ระหว่าง NR/RR........ 69

4.2.4 สมบัติการไหลของยางเบลนด์ระหว่างยางธรรมชาติและยางรีเคลมเมื่อแปรชนิดสารดัดแปร........ 72

4.3 การศึกษาอิทธิพลของวิธีการผสมสารดัดแปรต่อสมบัติเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ระหว่างยางธรรมชาติ ยางรีเคลม และโพรพิลีนเอทิลีนโคพอลิเมอร์ (NR/RR/PEC TPVs)........ 75

4.3.1 การศึกษาอิทธิพลของวิธีการผสมสารดัดแปรต่อพฤติกรรมการผสมในการเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC........ 75

4.3.2 การศึกษาอิทธิพลของวิธีการผสมสารดัดแปรต่อสมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ระหว่าง NR/RR/PEC........ 76

4.3.3 การศึกษาอิทธิพลของวิธีการผสมสารดัดแปรต่อสมบัติเชิงกลภายหลังบ่มเร่งของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ระหว่าง NR/RR/PEC........ 84

4.3.4 การศึกษาอิทธิพลของวิธีการผสมสารดัดแปรต่อสมบัติการไหลของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ระหว่าง NR/RR/PEC........ 87

4.3.5 การศึกษาอิทธิพลของวิธีการผสมสารดัดแปรต่อสมบัติเชิงกลพลวัตของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ระหว่าง NR/RR/PEC........ 90

4.3.6 การศึกษาอิทธิพลของวิธีการผสมสารดัดแปรต่อสัณฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ระหว่าง NR/RR/PEC........ 93

Prince of Songkla University Pattani Campus

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.4 การศึกษาอิทธิพลของปริมาณสารดัดแปรต่อสมบัติเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ระหว่างยางธรรมชาติ ยางรีเคลม และโพรพิลีนเอทิลีนโคพอลิเมอร์ (NR/RR/PEC TPVs)........ 94
4.4.1 การศึกษาอิทธิพลของปริมาณสารดัดแปรต่อพฤติกรรมการผสมในการเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC........ 94
4.4.2 การศึกษาอิทธิพลของปริมาณสารดัดแปรต่อสมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ระหว่าง NR/RR/PEC........ 95
4.4.3 การศึกษาอิทธิพลของปริมาณสารดัดแปรต่อสมบัติเชิงกลภายหลังบ่มเร่งของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ระหว่าง NR/RR/PEC........ 98
4.4.4 การศึกษาอิทธิพลของปริมาณสารดัดแปรต่อสมบัติการไหลของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ระหว่าง NR/RR/PEC........ 102
4.4.5 การศึกษาอิทธิพลของปริมาณสารดัดแปรต่อสมบัติเชิงกลพลวัตของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ระหว่าง NR/RR/PEC........ 104
4.4.6 การศึกษาอิทธิพลของปริมาณสารดัดแปรต่อสัณฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ระหว่าง NR/RR/PEC........ 108
4.5 การศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนการเบลนด์ต่อสมบัติเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ระหว่างยางธรรมชาติ ยางรีเคลม และโพรพิลีนเอทิลีนโคพอลิเมอร์...... 110
4.5.1 การศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนการเบลนด์ต่อพฤติกรรมการผสมในการเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์NR/RR/PEC........ 110
4.5.2 การศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนการเบลนด์ต่อสมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ระหว่าง NR/RR/PEC........ 111
4.5.3 การศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนการเบลนด์ต่อสมบัติเชิงกลภายหลังบ่มเร่งของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ระหว่าง NR/RR/PEC........ 115
4.5.4 การศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนการเบลนด์ต่อสมบัติการไหลของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ระหว่าง NR/RR/PEC........ 120
4.5.5 การศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนการเบลนด์ต่อสมบัติเชิงกลพลวัตของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ระหว่าง NR/RR/PEC........ 121

Prince of Songkla University
Pattani Campus

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.5.6 การศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนการเบลนด์ต่อสัณฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ระหว่าง NR/RR/PEC.................................. 126
4.6 การศึกษาอิทธิพลของการใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้ชนิดกราฟต์โคพอลิเมอร์ของโพรพิลีนเอทิลีนโคพอลิเมอร์กับฟีนอลิกเรซิน (Propylene-ethylene copolymer grafted phenolic resin, PEC-g-Ph) ร่วมกับวิธีการปรับปรุงความเข้ากันได้โดยใช้สารดัดแปรต่อสมบัติเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ระหว่างยางธรรมชาติ ยางรีเคลม และโพรพิลีนเอทิลีนโคพอลิเมอร์.. 128
4.6.1 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของกราฟต์โคพอลิเมอร์ของโพรพิลีนเอทิลีนโคพอลิเมอร์กับฟีนอลิกเรซิน (PEC-g-Ph) เพื่อใช้เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ (Compatibilizer).. 128
4.6.2 การศึกษาอิทธิพลของการใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้ชนิด PEC-g-Ph ร่วมกับการใช้สารดัดแปรฟีนอลิกเรซินต่อพฤติกรรมการผสมในการเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC.................................... 130
4.6.3 การศึกษาอิทธิพลของการใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้ชนิด PEC-g-Ph ร่วมกับการใช้สารดัดแปรฟีนอลิกเรซินต่อสมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ระหว่าง NR/RR/PEC.................................. 131
4.6.4 การศึกษาอิทธิพลของการใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้ชนิด PEC-g-Ph ร่วมกับการใช้สารดัดแปรฟีนอลิกเรซินต่อสมบัติเชิงกลภายหลังบ่มเร่งของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ระหว่าง NR/RR/PEC.................................. 137
4.6.5 การศึกษาอิทธิพลของการใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้ชนิด PEC-g-Ph ร่วมกับการใช้สารดัดแปรฟีนอลิกเรซินต่อสมบัติการไหลของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ระหว่าง NR/RR/PEC.................................. 141
4.6.6 การศึกษาอิทธิพลของการใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้ชนิด PEC-g-Ph ร่วมกับการใช้สารดัดแปรฟีนอลิกเรซินต่อสมบัติเชิงกลพลวัตของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ระหว่าง NR/RR/PEC.................................. 143
4.6.7 การศึกษาอิทธิพลของการใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้ชนิด PEC-g-Ph ร่วมกับการใช้สารดัดแปรฟีนอลิกเรซินต่อสัณฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ระหว่าง NR/RR/PEC.................................. 146

Prince of Songkla University Pattani Campus

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.7 การศึกษาอิทธิพลของชนิดยางธรรมชาติต่อสมบัติเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ระหว่างยางธรรมชาติ ยางรีเคลม และโพรพิลีนเอทิลีนโคพอลิเมอร์............ 147
4.7.1 ยางธรรมชาติอิพอกไซด์.. 147
4.7.2 การศึกษาอิทธิพลของชนิดยางธรรมชาติต่อพฤติกรรมการผสมในการเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC............................ 151
4.7.3 การศึกษาอิทธิพลของชนิดยางธรรมชาติต่อสมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ระหว่าง NR/RR/PEC...................................... 152
4.7.4 การศึกษาอิทธิพลของชนิดยางธรรมชาติต่อสมบัติเชิงกลภายหลังบ่มเร่งของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ระหว่าง NR/RR/PEC.................... 156
4.7.5 การศึกษาอิทธิพลของชนิดยางธรรมชาติต่อสมบัติการไหลของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ระหว่าง NR/RR/PEC...................................... 160
4.7.6 การศึกษาอิทธิพลของชนิดยางธรรมชาติต่อสมบัติเชิงกลพลวัตของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ระหว่าง NR/RR/PEC...................................... 163
4.7.7 การศึกษาอิทธิพลของชนิดยางธรรมชาติต่อสัณฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ระหว่าง NR/RR/PEC...................................... 166
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง... 168
บรรณานุกรม.. 175
ภาคผนวก.. 182
ประวัติผู้เขียน.. 190

Prince of Songkla University Pattani Campus

รายการตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 สารรีเคลมมิ่งเอเจนต์ที่ใช้ในกระบวนการรีเคลมโดยใช้วิธีทางกลร่วมกับวิธีทางเคมี.......... 11
2.2 สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการรีเคลมโดยใช้สารเคมี.......... 12
3.1 สูตรการเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์เมื่อแปรชนิดสารดัดแปร.......... 41
3.2 สูตรการเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์.......... 44
3.3 สูตรการเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนการเบลนด์ 47
3.4 สูตรการเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์สำหรับศึกษาการใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้..... 49
3.5 สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมยางธรรมชาติอิพอกไซด์.......... 51
4.1 องค์ประกอบของยางรีเคลมแบบแผ่นที่ทดสอบด้วยเทคนิค TGA ที่อุณหภูมิห้อง ถึง 750°C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน และออกซิเจน.......... 57
4.2 ปริมาณส่วนที่ละลายได้ ปริมาณส่วนที่ไม่ละลาย และความหนาแน่นพันธะเชื่อมขวาง.... 60
4.3 สมบัติการวัลคาไนซ์ของยางเบลนด์ระหว่างยางธรรมชาติกับยางรีเคลม เมื่อแปรชนิดสารดัดแปร.......... 63
4.4 สมบัติเชิงกลของยางวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ยางธรรมชาติกับยางรีเคลมเมื่อแปรชนิดสารดัดแปร.......... 69
4.5 สมบัติเชิงกลภายหลังการบ่มเร่งของยางวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ยางธรรมชาติกับยางรีเคลมเมื่อแปรชนิดสารดัดแปร.......... 71
4.6 สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรวิธีการผสมสารดัดแปร.......... 78
4.7 ความต้านทานต่อแรงดึงภายหลังบ่มเร่งของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรวิธีการผสมสารดัดแปร.......... 85
4.8 ความสามารถในการยืดจนขาดภายหลังบ่มเร่งของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรวิธีการผสมสารดัดแปร.......... 85
4.9 สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรปริมาณสารดัดแปร.......... 96
4.10 ความต้านทานต่อแรงดึงภายหลังบ่มเร่งของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรปริมาณสารดัดแปร.......... 100
4.11 ความสามารถในการยืดจนขาดหลังภายบ่มเร่งของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรปริมาณสารดัดแปร.......... 100

Prince of Songkla University Pattani Campus

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4.12 สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรอัตราส่วนการเบลนด์ 113
4.13 ความต้านทานต่อแรงดึงภายหลังบ่มเร่งของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรอัตราส่วนการเบลนด์ 117
4.14 ความสามารถในการยืดจนขาดภายหลังบ่มเร่งของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรอัตราส่วนการเบลนด์ 117
4.15 สมบัติเชิงกลของของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้ชนิด PEC-g-Ph ร่วมกับการใช้สารดัดแปรฟีนอลิกเรซิน 132
4.16 ความต้านทานต่อแรงดึงภายหลังบ่มเร่งของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้ชนิด PEC-g-Ph ร่วมกับการใช้สารดัดแปรฟีนอลิกเรซิน 138
4.17 ความสามารถในการยืดจนขาดภายหลังบ่มเร่งของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้ชนิด PEC-g-Ph ร่วมกับการใช้สารดัดแปรฟีนอลิกเรซิน 139
4.18 ปริมาณหมู่อิพอกไซด์เมื่อใช้ระยะเวลาการทำปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน ที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 50°C 148
4.19 ความหนืดมูนนี่ของยางธรรมชาติและยางธรรมชาติอิพอกไซด์ 150
4.20 ค่าทอร์กสูงสุดและระยะเวลาการเกิดการวัลคาไนเซชันแบบไดนามิกซ์ 152
4.21 สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรชนิดยางธรรมชาติ 154
4.22 ความต้านทานต่อแรงดึงภายหลังบ่มเร่งของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรชนิดยางธรรมชาติ 158
4.23 ความสามารถในการยืดจนขาดภายหลังบ่มเร่งของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรชนิดยางธรรมชาติ 158

Prince of Songkla University Pattani Campus

รายการรูป

รูปที่	หน้า
1.1 การจัดการของเสียจากยางล้อในประเทศไทย ปี พ.ศ. 2554	1
2.1 โครงสร้างโมเลกุลของยางธรรมชาติ	5
2.2 ปฏิกิริยาริพอกซิเดชันแบบ *In-situ*	7
2.3 กราฟมาตรฐานเปอร์เซ็นต์โมลอิพอกไซด์ของยางธรรมชาติอิพอกไซด์จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR	8
2.4 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในระหว่างการรีไซเคิลยางด้วยการรีเคลมและการดีวัลคาไนซ์	9
2.5 สัณฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์ที่เตรียมด้วย (a) วิธีเบลนด์แบบปกติ (b) ไดนามิกส์วัลคาไนซ์ และ (c) การเตรียมโคพอลิเมอร์	14
2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความหนืดที่ใช้ในการเบลนด์กับสัดส่วนในการผสมของพอลิเมอร์ 2 องค์ประกอบ	16
2.7 อิทธิพลของค่าความสามารถในการละลายต่อขนาดอนุภาคของพอลิเมอร์เบลนด์	17
2.8 การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์จากการวัลคาไนซ์แบบไดนามิกส์	18
2.9 แผนภาพแสดงการประสานของโคพอลิเมอร์แบบกราฟต์และบล็อคในการเพิ่มความเข้ากันได้	21
3.1 สูตรโครงสร้างของยางธรรมชาติ	29
3.2 สูตรโครงสร้างของโพรพิลีนเอทิลีนโคพอลิเมอร์	30
3.3 โครงสร้างโมเลกุลของวิงสเตย์ แอล	32
3.4 โครงสร้างโมเลกุลของเอ็น เทอเทียรี บิวทิล-2-เบนโซไทอาซิล ซัลฟีนาไมด์	32
3.5 โครงสร้างโมเลกุลของกำมะถัน	32
3.6 โครงสร้างโมเลกุลของไฮดรอกซีเมทิลอลฟีนอลิกเรซิน	33
3.7 โครงสร้างโมเลกุลมาลิอิกแอนไฮไดรด์	33
3.8 โครงสร้างโมเลกุลไกลซิดิลเมทาคริเลต	34
3.9 โครงสร้างโมเลกุลเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์	34
3.10 ลำดับขั้นตอนการเตรียมคอมพาวนด์โดยใช้เครื่องผสมแบบปิด	42
3.11 ลำดับขั้นตอนการผสมวิธี Reactive blending method และ Melt mixing method	45

Prince of Songkla University Pattani Campus

รายการรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

3.12 ลำดับขั้นตอนการผสมวิธี Melt mixing method เมื่อใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้ PEC-g-Ph 50
4.1 เทอร์โมแกรมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่หายไป และอัตราการหายไปของน้ำหนัก กับอุณหภูมิของยางรีเคลม เมื่อทดสอบที่อุณหภูมิห้องถึง 750°C ภายใต้สภาวะ (A) บรรยากาศไนโตรเจน (B) บรรยากาศออกซิเจน 58
4.2 สเปคตรัม FTIR ของยางรีเคลมชนิดแผ่น 59
4.3 ลักษณะสัณฐานวิทยาของยางรีเคลมแบบก้อนที่กำลังขยาย 200, 500 และ 1,000 เท่า.. 61
4.4 พฤติกรรมการวัลคาไนซ์ของยางเบลนด์ระหว่าง NR/RR เมื่อแปรชนิดสารดัดแปรที่อุณหภูมิ 150°C 62
4.5 พฤติกรรมการวัลคาไนซ์ของยางเบลนด์ระหว่าง NR/RR เมื่อแปรชนิดสารดัดแปรชนิดไกลซิดิลเมทาคริเลต ที่อุณหภูมิ 150°C 62
4.6 ปฏิกิริยาที่เป็นไปได้ระหว่างฟีนอลิกเรซินเรซินกับสายโซ่โมเลกุลของยางไม่อิ่มตัวในยางรีเคลม (a) และยางธรรมชาติ (b) 65
4.7 ปฏิกิริยาที่เป็นไปได้ระหว่างมาลิอิกแอนไฮไดรด์กับสายโซ่โมเลกุลของยางไม่อิ่มตัวในยางรีเคลม (a) และยางธรรมชาติ (b) 66
4.8 ปฏิกิริยาที่เป็นไปได้ระหว่างไกลซิดิลเมทาคริเลตกับสายโซ่โมเลกุลของยางไม่อิ่มตัวในยางรีเคลม (a) และยางธรรมชาติ (b) 67
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของยางวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ยางธรรมชาติกับยางรีเคลมเมื่อแปรชนิดของสารดัดแปร 68
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของยางวัลคาไนซ์ภายหลังบ่มเร่งจากการเบลนด์ยางธรรมชาติกับยางรีเคลมเมื่อแปรชนิดของสารดัดแปร 70
4.11 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของสมบัติความต้านต่อแรงดึง และความสามารถในการยืดจนขาดภายหลังบ่มเร่งของยางวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ยางธรรมชาติกับยางรีเคลมเมื่อแปรชนิดสารดัดแปร 72
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนปรากฏกับอัตราเฉือนปรากฏของยางเบลนด์ระหว่างยางธรรมชาติกับยางรีเคลมเมื่อแปรชนิดของสารดัดแปร 73
4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดเฉือนปรากฏกับอัตราเฉือนปรากฏของยางเบลนด์ระหว่างยางธรรมชาติกับยางรีเคลมเมื่อแปรชนิดของสารดัดแปร 74

Prince of Songkla University Pattani Campus

รายการรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.14 tan δ ที่ความถี่ 10 Hz ของยางเบลนด์ระหว่างยางธรรมชาติกับยางรีเคลมเมื่อแปรชนิดของสารตัดแปร.......... 74
4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าทอร์กกับเวลาการผสมของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรวิธีการผสมสารดัดแปร.......... 75
4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรวิธีการผสมสารดัดแปร.......... 77
4.17 ความต้านทานต่อแรงดึงของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรวิธีการผสมสารดัดแปร.......... 78
4.18 ความสามารถในการยืดจนขาดของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรวิธีการผสมสารดัดแปร.......... 79
4.19 โอกาสเกิดปฏิกิริยาระหว่างยางรีเคลม ยางธรรมชาติ และโพรพิลีนเอทิลีนโคพอลิเมอร์กับฟีนอลิกเรซินเมื่อใช้วิธีการผสมแบบ Melt mixing method.......... 80
4.20 ปฏิกิริยาที่เป็นไปได้ระหว่างยางรีเคลม และยางธรรมชาติ กับฟีนอลิกเรซิน.......... 81
4.21 ปฏิกิริยาที่เป็นไปได้ระหว่างเฟสยาง กับโพรพิลีนเอทิลีนโคพอลิเมอร์ เมื่อใช้สารดัดแปรฟีนอลิกเรซิน.......... 82
4.22 การผิดรูปถาวรแบบดึงของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรวิธีการผสมสารดัดแปร.......... 83
4.23 ความแข็งของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรวิธีการผสมสารดัดแปร.......... 83
4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดภายหลังบ่มเร่งของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรวิธีการผสมสารดัดแปร.......... 84
4.25 ความต้านทานต่อแรงดึงก่อนและหลังบ่มเร่งของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรวิธีการผสมสารดัดแปร.......... 86
4.26 ความสามารถในการยืดจนขาดก่อนและหลังบ่มเร่งของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรวิธีการผสมสารดัดแปร.......... 86
4.27 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของสมบัติความต้านต่อแรงดึงและความสามารถในการยืดจนขาดภายหลังบ่มเร่งของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรวิธีการผสมสารดัดแปร.......... 87

Prince of Songkla University Pattani Campus

รายการรูป (ต่อ)

รูปที่ | หน้า

4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนปรากฏกับอัตราเฉือนปรากฏของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรวิธีการผสมสารตัดแปร.................... 88
4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดเฉือนปรากฏกับอัตราเฉือนปรากฏของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรวิธีการผสมสารดัดแปร.................... 88
4.30 ความเค้นเฉือนปรากฏและความหนืดเฉือนปรากฏที่อัตราเฉือน 100 (1/s) ของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรวิธีการผสมสารดัดแปร.................... 89
4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสสะสมกับความถี่ของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรวิธีการผสมสารดัดแปร.................... 90
4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดเชิงซ้อนกับความถี่ของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรวิธีการผสมสารดัดแปร.................... 91
4.33 ความสัมพันธ์ระหว่าง tan δ กับความถี่ของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรวิธีการผสมสารดัดแปร.................... 92
4.34 ลักษณะสัณฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรวิธีการผสมสารดัดแปร.................... 94
4.35 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าทอร์กกับเวลาการผสมของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรปริมาณฟีนอลิกเรซิน.................... 94
4.36 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรปริมาณฟีนอลิกเรซิน.................... 96
4.37 ความต้านทานต่อแรงดึงและความสามารถในการยืดจนขาดของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรปริมาณฟีนอลิกเรซิน.................... 97
4.38 การผิดรูปถาวรแบบดึงของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรปริมาณฟีนอลิกเรซิน.................... 97
4.39 ความแข็งของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรปริมาณฟีนอลิกเรซิน.................... 98
4.40 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดภายหลังบ่มเร่งของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรปริมาณสารดัดแปร.................... 99
4.41 ความต้านทานต่อแรงดึงก่อนและหลังบ่มเร่งของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรปริมาณฟีนอลิกเรซิน.................... 101

Prince of Songkla University Pattani Campus

รายการรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.42 ความสามารถในการยืดจนขาดก่อนและหลังบ่มเร่งของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรปริมาณฟีนอลิกเรซิน........ 101
4.43 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของสมบัติความต้านต่อแรงดึงและความสามารถในการยืดจนขาดภายหลังบ่มเร่งของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรปริมาณฟีนอลิกเรซิน........ 102
4.44 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนปรากฏกับอัตราเฉือนปรากฏของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรปริมาณฟีนอลิกเรซิน........ 103
4.45 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดเฉือนปรากฏกับอัตราเฉือนปรากฏของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรปริมาณฟีนอลิกเรซิน........ 103
4.46 ความเค้นเฉือนปรากฏและความหนืดเฉือนปรากฏที่อัตราเฉือน 100 (1/s) ของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรปริมาณฟีนอลิกเรซิน........ 104
4.47 ความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสสะสมกับความถี่ของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรปริมาณฟีนอลิกเรซิน........ 105
4.48 มอดุลัสสะสมที่ความถี่ 2 Hz ของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรปริมาณฟีนอลิกเรซิน........ 105
4.49 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดเชิงซ้อนกับความถี่ของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรปริมาณฟีนอลิกเรซิน........ 106
4.50 ความสัมพันธ์ระหว่าง tan δ กับความถี่ของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรปริมาณฟีนอลิกเรซิน........ 106
4.51 tan δ และ ค่าความหนืดเชิงซ้อน ที่ความถี่ 2 Hz ของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรปริมาณฟีนอลิกเรซิน........ 107
4.52 ลักษณะสัณฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรปริมาณฟีนอลิกเรซิน........ 109
4.53 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าทอร์กกับเวลาการผสมของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์เมื่อแปรอัตราส่วนระหว่าง NR/RR/PEC........ 110
4.54 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรอัตราส่วนการเบลนด์........ 112

Prince of Songkla University Pattani Campus

รายการรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.55 ความต้านทานต่อแรงดึงและความสามารถในการยืดจนขาดของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรอัตราส่วนการเบลนด์.................................... 113
4.56 การผิดรูปถาวรแบบดึงของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรอัตราส่วนการเบลนด์.................................... 114
4.57 ความแข็งของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรอัตราส่วนการเบลนด์.................................... 115
4.58 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดภายหลังบ่มเร่งของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรอัตราส่วนการเบลนด์.................................... 116
4.59 ความต้านทานต่อแรงดึงก่อนและหลังบ่มเร่งของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรอัตราส่วนการเบลนด์.................................... 118
4.60 ความสามารถในการยืดจนขาดก่อนและหลังบ่มเร่งของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรอัตราส่วนการเบลนด์.................................... 118
4.61 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของสมบัติความต้านต่อแรงดึงและความสามารถในการยืดจนขาดหลังบ่มเร่งของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรอัตราส่วนการเบลนด์.................................... 119
4.62 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนปรากฏกับอัตราเฉือนปรากฏของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรอัตราส่วนการเบลนด์.................... 120
4.63 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดเฉือนปรากฏกับอัตราเฉือนปรากฏของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรอัตราส่วนการเบลนด์.................... 121
4.64 ความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสสะสมกับความถี่ของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์NR/RR/PEC เมื่อแปรอัตราส่วนการเบลนด์.................................... 122
4.65 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดเชิงซ้อนกับความถี่ของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรอัตราส่วนการเบลนด์.................................... 123
4.66 ความเค้นเฉือนปรากฏที่อัตราเฉือน 100 (1/s) และความหนืดเชิงซ้อนที่ความถี่ 2 Hz ของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรอัตราส่วนการเบลนด์.... 124
4.67 ความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสสูญเสียกับความถี่ของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรอัตราส่วนการเบลนด์.................................... 124

Prince of Songkla University Pattani Campus

รายการรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.68 ความสัมพันธ์ระหว่าง tan δ กับความถี่ของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรอัตราส่วนการเบลนด์ 125

4.69 ลักษณะสัณฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรอัตราส่วนการเบลนด์ 127

4.70 สเปคตรัม FTIR ของกราฟต์โคพอลิเมอร์ของโพรพิลีนเอทิลีนโคพอลิเมอร์กับฟีนอลิกเรซินเปรียบเทียบกับสเปคตรัมของโพรพิลีนเอทิลีนโคพอลิเมอร์ 128

4.71 ปฏิกิริยาที่เป็นไปได้ระหว่างฟีนอลิกเรซินกับโพรพิลีนเอทิลีนโคพอลิเมอร์ 129

4.72 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าทอร์กกับเวลาการผสมของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์เมื่อใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้ชนิด PEC-g-Ph ร่วมกับการใช้สารดัดแปรฟีนอลิกเรซิน 130

4.73 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้ชนิด PEC-g-Ph ร่วมกับการใช้สารดัดแปรฟีนอลิกเรซิน 132

4.74 ความต้านทานต่อแรงดึงและความสามารถในการยืดจนขาดของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้ชนิด PEC-g-Ph ร่วมกับการใช้สารดัดแปรฟีนอลิกเรซิน 133

4.75 ความต้านทานต่อแรงดึงและความสามารถในการยืดจนขาดของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้ชนิด PEC-g-Ph ร่วมกับการใช้สารดัดแปรฟีนอลิกเรซิน 133

4.76 การเกิดปฏิกิริยาที่เป็นไปได้เมื่อใช้สารดัดแปรฟีนอลิกเรซินร่วมสารเพิ่มความเข้ากันได้ PEC-g-Ph 135

4.77 การผิดรูปถาวรแบบดึงของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้ชนิด PEC-g-Ph ร่วมกับการใช้สารดัดแปรฟีนอลิกเรซิน 136

4.78 ความแข็งของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้ชนิด PEC-g-Ph ร่วมกับการใช้สารดัดแปรฟีนอลิกเรซิน 136

4.79 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดภายหลังบ่มเร่งของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้ชนิด PEC-g-Ph ร่วมกับการใช้สารดัดแปรฟีนอลิกเรซิน 137

Prince of Songkla University Pattani Campus

รายการรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.80 ความต้านทานต่อแรงดึงก่อนและหลังบ่มเร่งของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้ชนิด PEC-g-Ph ร่วมกับการใช้สารดัดแปรฟีนอลิกเรซิน.......... 139

4.81 ความสามารถในการยืดจนขาดก่อนและหลังบ่มเร่งของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้ชนิด PEC-g-Ph ร่วมกับการใช้สารดัดแปรฟีนอลิกเรซิน.......... 140

4.82 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของสมบัติความต้านต่อแรงดึงและความสามารถในการยืดจนขาดภายหลังบ่มเร่งของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้ชนิด PEC-g-Ph ร่วมกับการใช้สารดัดแปรฟีนอลิกเรซิน.......... 141

4.83 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนปรากฏกับอัตราเฉือนปรากฏของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้ชนิด PEC-g-Ph ร่วมกับการใช้สารดัดแปรฟีนอลิกเรซิน.......... 142

4.84 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดเฉือนปรากฏกับอัตราเฉือนปรากฏของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้ชนิด PEC-g-Ph ร่วมกับการใช้สารดัดแปรฟีนอลิกเรซิน.......... 142

4.85 ความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสสะสมกับความถี่ของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้ชนิด PEC-g-Ph ร่วมกับการใช้สารดัดแปรฟีนอลิกเรซิน.......... 144

4.86 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดเชิงซ้อนกับความถี่ของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้ชนิด PEC-g-Ph ร่วมกับการใช้สารดัดแปรฟีนอลิกเรซิน.......... 144

4.87 ความสัมพันธ์ระหว่าง tan δ กับความถี่ของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้ชนิด PEC-g-Ph ร่วมกับการใช้สารดัดแปรฟีนอลิกเรซิน.......... 145

4.88 ลักษณะสัณฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้ชนิด PEC-g-Ph ร่วมกับการใช้สารดัดแปรฟีนอลิกเรซิน.......... 146

4.89 สเปคตรัม FTIR ของยางธรรมชาติอิพอกไซด์ที่มีปริมาณหมู่อิพอกไซด์ในระดับต่างๆ เปรียบเทียบกับสเปคตรัมของยางธรรมชาติ.......... 147

Prince of Songkla University Pattani Campus

รายการรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.90 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณหมู่อิพอกไซด์กับระยะเวลาการทำปฏิกิริยา	149
4.91 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดมูนนี่ของยางธรรมชาติเปรียบเทียบกับยางธรรมชาติอิพอกไซด์ที่มีปริมาณหมู่อิพอกไซด์ที่ระดับต่างๆ	150
4.92 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าทอร์กกับเวลาการผสมของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์เมื่อแปรชนิดยางธรรมชาติ	151
4.93 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรชนิดยางธรรมชาติ	153
4.94 ความต้านทานต่อแรงดึงและความสามารถในการยืดจนขาดของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรชนิดยางธรรมชาติ	154
4.95 การผิดรูปถาวรแบบดึงของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรชนิดยางธรรมชาติ	155
4.96 ความแข็งของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรชนิดยางธรรมชาติ	156
4.97 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดภายหลังบ่มเร่งของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรชนิดยางธรรมชาติ	157
4.98 ความต้านทานต่อแรงดึงก่อนและหลังบ่มเร่งของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PECเมื่อแปรชนิดยางธรรมชาติ	159
4.99 ความสามารถในการยืดจนขาดก่อนและหลังบ่มเร่งของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรชนิดยางธรรมชาติ	159
4.100 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของสมบัติความต้านต่อแรงดึงและความสามารถในการยืดจนขาดหลังบ่มเร่งของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรชนิดยางธรรมชาติ	160
4.101 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนปรากฏกับอัตราเฉือนปรากฏของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรชนิดยางธรรมชาติ	161
4.102 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดเฉือนปรากฏกับอัตราเฉือนปรากฏของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรชนิดยางธรรมชาติ	162
4.103 ความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสสะสมกับความถี่ของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรชนิดยางธรรมชาติ	163

Prince of Songkla University Pattani Campus

รายการรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.104 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดเชิงซ้อนกับความถี่ของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรชนิดยางธรรมชาติ... 163

4.105 ความเค้นเฉือนปรากฏที่อัตราเฉือน 100 (1/s) และความหนืดเชิงซ้อนที่ความถี่ 2 Hz ของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรชนิดยางธรรมชาติ........ 165

4.106 ความสัมพันธ์ระหว่าง tan δ กับความถี่ของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรชนิดยางธรรมชาติ... 165

4.107 tan δ ที่ความถี่ 2 Hz ของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรชนิดยางธรรมชาติ.. 166

4.108 ลักษณะสัณฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/RR/PEC เมื่อแปรชนิดยางธรรมชาติ.. 167

Prince of Songkla University
Pattani Campus