

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	5
ABSTRACT.....	6
กิตติกรรมประกาศ.....	7
สารบัญ.....	8
รายการตาราง.....	11
รายการรูป.....	13
บทที่ 1 บทนำ.....	18
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	18
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	19
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	19
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	20
บทที่ 2 ทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้อง.....	21
2.1 เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์.....	21
2.2 การเตรียมเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์จากการเบลนค์.....	26
2.3 ความสามารถในการเข้ากันได้ของพอลิเมอร์เบลนค์.....	30
2.4 ยางธรรมชาติ.....	34
2.4.1 โครงสร้างของโมเลกุลยางธรรมชาติ.....	34
2.4.2 สมบัติทั่วไปของยางธรรมชาติ.....	35
2.5 การดัดแปลงโมเลกุลยางธรรมชาติโดยการทำปฏิกิริยากากราฟิโตพอลิเมอร์ไรซ์ กับอนุพันธ์มาลิอีน.....	37
2.6 การเกิดพันธะกันระหว่างยางธรรมชาติมาลิเอตและพอลิเอไมด์.....	38
2.7 ไนลอน.....	41
2.8 การแปรรูปของพอลิเมอร์เบลนค์.....	42
2.9 การวิเคราะห์เชิงความร้อน.....	43

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.10 การวิเคราะห์สมบัติเชิงกลแบบพลวัต.....	44
2.11 เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการเบลนค์และเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์ ที่เกี่ยวข้องกับยางธรรมชาติและ ไนลอน 6.....	46
บทที่ 3 สารเคมี อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง.....	49
3.1 สารเคมี.....	49
3.2 อุปกรณ์.....	52
3.3 วิธีการทดลอง.....	59
3.3.1 การเตรียม เอ็น-(4-ไฮดรอกซีฟีนิล)มาลิอิไมด์ (HPM).....	59
3.3.2 การเตรียมกราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับ HPM.....	59
3.3.3 การวิเคราะห์การเกาะติดของ HPM บน โมเลกุลยางธรรมชาติ.....	59
3.3.4 การวิเคราะห์สมบัติเชิงความร้อนของยางธรรมชาติกราฟต์ด้วย HPM.....	60
3.3.5 การเตรียมพอลิเมอร์เบลนค์โดยกระบวนการรีแอกทีฟเบลนค์.....	60
3.3.6 การเตรียมชั้นทดสอบด้วยเครื่องฉีดเทอร์โมพลาสติก.....	61
3.3.7 การทดสอบสมบัติต่าง ๆ.....	62
3.3.7.1 การทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึง.....	62
3.3.7.2 การทดสอบความสามารถในการยืดจนขาด.....	63
3.3.7.3 การทดสอบสมบัติเชิงกลพลวัตด้วยเครื่อง.....	63
3.3.7.4 การทดสอบความต้านทานต่อตัวทำละลาย.....	63
3.3.7.5 การวิเคราะห์ลักษณะทางด้านสัณฐานวิทยา.....	64
3.3.7.6 การวิเคราะห์สมบัติเชิงความร้อน.....	64
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล.....	65
4.1 การเตรียม เอ็น-(4-ไฮดรอกซีฟีนิล)มาลิอิไมด์ และการวิเคราะห์โครงสร้าง.....	65
4.2 การเตรียมกราฟต์โคพอลิเมอร์ระหว่างยางธรรมชาติกับ HPM.....	69
4.3 สมบัติเชิงความร้อนของยางธรรมชาติที่คัดแปลง โมเลกุลด้วย HPM.....	79

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.4 การเตรียมพอลิเมอร์เบลนด์จากกระบวนการรีแอคทีฟเบลนด์ของยางธรรมชาติดัดแปลงด้วย HPM กับ ไนลอน 6.....	81
4.5 สมบัติของพอลิเมอร์เบลนด์จากกระบวนการรีแอคทีฟเบลนด์ที่ได้จากการเบลนด์ระหว่างยางธรรมชาติดัดแปลงด้วย HPM กับ ไนลอน 6.....	82
4.5.1 สมบัติด้านการดึงของพอลิเมอร์เบลนด์จากกระบวนการรีแอคทีฟเบลนด์.....	82
4.5.2 สมบัติเชิงกลพลวัตของพอลิเมอร์เบลนด์โดยกระบวนการรีแอคทีฟเบลนด์.....	92
4.5.3 ความต้านทานต่อตัวทำลายของพอลิเมอร์เบลนด์โดยกระบวนการรีแอคทีฟเบลนด์.....	97
4.5.4 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์เบลนด์โดยกระบวนการรีแอคทีฟเบลนด์.....	101
4.5.5 สมบัติเชิงความร้อนของพอลิเมอร์เบลนด์โดยกระบวนการรีแอคทีฟเบลนด์.....	106
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	113
5.1 การเตรียม เอ็น-(4-ไฮดรอกซีฟีนิล)มาลิอิมิด และการวิเคราะห์โครงสร้าง.....	113
5.2 การเตรียมกราฟต์โคพอลิเมอร์ระหว่างยางธรรมชาติกับ HPM.....	113
5.3 การเตรียมพอลิเมอร์เบลนด์โดยกระบวนการรีแอคทีฟเบลนด์ของคู่เบลนด์ระหว่างยางธรรมชาติดัดแปลงด้วย HPM กับ ไนลอน 6.....	114
บรรณานุกรม.....	115
ภาคผนวก ก ลักษณะของ เอ็น-(4-ไฮดรอกซีฟีนิล)มาลิอิมิด (HPM).....	119
ภาคผนวก ข นิพนธ์ต้นฉบับ (Manuscript) จากการเผยแพร่ผลงานวิทยานิพนธ์ในงานประชุม การประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยมหาวิทยาลัยทักษิณครั้งที่ 21 ประจำปี 2554.....	121
ประวัติผู้เขียน.....	130

รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ความต้านทานต่อการสึกหรอของยางชนิดต่างๆ.....	36
3.1 การตั้งค่าของเครื่องฉีด.....	61
4.1 แถบการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของหมูฟุ้งกึ่งชั้นต่าง ๆ ของ HPM.....	67
4.2 ข้อมูล $^1\text{H-NMR}$ ของ HPM (500 MHz, CDCl_3).....	68
4.3 อัตราส่วนความสูงของพีคที่เลขคลื่น 1712 ต่อ 831 cm^{-1} ที่แปรปริมาณ HPM ในการเตรียมปฏิกิริยา.....	71
4.4 ปริมาณเจลเมื่อแปรปริมาณ HPM ในปฏิกิริยา.....	72
4.5 อัตราส่วนความสูงของพีค (peak height ratio) ที่เลขคลื่น 1712 ต่อ 831 cm^{-1} ที่อุณหภูมิการเตรียมปฏิกิริยาต่างๆ.....	75
4.6 อุณหภูมิการสลายตัวสูงสุดของยางธรรมชาติ และยางธรรมชาติดัดแปลงด้วย HPM.....	80
4.7 ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมพอลิเมอร์เบลนด์จากกระบวนการรีแอกทีฟเบลนด์ ระหว่างยางธรรมชาติดัดแปลงด้วย HPM 2 phr กับ ไนลอน6.....	81
4.8 ค่าความต้านทานต่อแรงดึงและค่าความสามารถในการยืดขนาดของพอลิเมอร์เบลนด์ ระหว่าง NR-g-HPM/Nylon 6 ในอัตราส่วนต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 230°C.....	86
4.9 ค่าความต้านทานต่อแรงดึงและค่าความสามารถในการยืดขนาดของพอลิเมอร์เบลนด์ ระหว่าง NR-g-HPM/Nylon 6 ในอัตราส่วนต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 240°C.....	88
4.10 ค่าความต้านทานต่อแรงดึงและค่าความสามารถในการยืดขนาดของพอลิเมอร์เบลนด์ ระหว่าง NR-g-HPM/Nylon 6 ในอัตราส่วนต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 250°C.....	90
4.11 การบวมพองในตัวทำละลายของพอลิเมอร์เบลนด์ที่เตรียมจากการเบลนด์ระหว่าง NR-g-HPM/Nylon6 ในอัตราส่วนต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 230°C.....	97
4.12 การบวมพองในตัวทำละลายของพอลิเมอร์เบลนด์ที่เตรียมจากการเบลนด์ระหว่าง NR-g-HPM/Nylon6 ในอัตราส่วนต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 240°C.....	99
4.13 การบวมพองในตัวทำละลายของพอลิเมอร์เบลนด์ที่เตรียมจากการเบลนด์ระหว่าง NR-g-HPM/Nylon6 ในอัตราส่วนต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 250°C.....	100

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.14 แสดงอุณหภูมิการสลายตัวของพอลิเมอร์เบลนด์เมื่อแปรอัตราส่วนที่อุณหภูมิ 230°C.....	108
4.15 แสดงอุณหภูมิการสลายตัวของพอลิเมอร์เบลนด์เมื่อแปรอัตราส่วนที่อุณหภูมิ 240°C.....	110
4.16 แสดงอุณหภูมิการสลายตัวของพอลิเมอร์เบลนด์เมื่อแปรอัตราส่วนที่อุณหภูมิ 250°C.....	112

Prince of Songkla University
Pattani Campus

รายการรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ลักษณะสัณฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์แบบบล็อกโคพอลิเมอร์.....	21
2.2 ลักษณะของสายโซ่โมเลกุลของเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์แบบบล็อกโคพอลิเมอร์.....	22
2.3 ลักษณะสัณฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์ที่ได้จากกระบวนการเบลนด์ ระหว่าง hard polymer และ elastomer.....	24
2.4 ลักษณะสัณฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์ที่ได้จากการเบลนด์ ด้วยกระบวนการไดนามิกวัลคาไนซ์.....	25
2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความหนืดที่ใช้ในการเบลนด์กับอัตราส่วนการผสม ของพอลิเมอร์สององค์ประกอบ.....	27
2.6 อิทธิพลของค่าความสามารถในการละลายต่อขนาดอนุภาคของพอลิเมอร์เบลนด์.....	28
2.7 การเปลี่ยนแปลงสัณฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์จากการวัลคาไนซ์ แบบไดนามิกส์.....	30
2.8 ตำแหน่งของพอลิเมอร์ร่วมแบบกราฟต์ และบล็อกที่ทำหน้าที่เป็นตัวประสาน ความเข้ากันได้.....	33
2.9 ปฏิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างหมู่แอนไฮไดรด์ กับหมู่เอมีนของพอลิเอไมด์.....	34
2.10 โครงสร้างโมเลกุลของยางธรรมชาติ.....	35
2.11 โครงสร้างโมเลกุลของอนุพันธ์มาลิกอิมิด.....	37
2.12 ปฏิริยาที่เป็นไปได้ระหว่างมาลิกอิมิดแอนไฮไดรด์ ยางธรรมชาติ และพอลิเอไมด์ 6 ที่เกิดขึ้นในระหว่างทำการผสม.....	40
2.13 เทอร์โมแกรมจากการวิเคราะห์ด้วย TGA ของพอลิคาร์บอเนต.....	43
2.14 กราฟของความเครียดที่ให้กับชั้นทดสอบและความเค้นคอบสนองเป็นฟังก์ชันกับ ωt	45
3.1 ชุดอุปกรณ์สังเคราะห์สาร.....	52
3.2 ตู้เรย์ทราเนสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์.....	53
3.3 เครื่องผสมแบบปิด.....	54
3.4 เครื่องบดพลาสติก.....	54
3.5 เครื่องฉีดเทอร์โมพลาสติก.....	55
3.6 เครื่องทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง.....	56

รายการรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.7 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน.....	57
3.8 เครื่องวิเคราะห์ความเสถียรต่อความร้อน.....	58
3.9 เครื่องวิเคราะห์สมบัติพลวัตเชิงกล.....	58
3.10 การตั้งอุณหภูมิที่ใช้ในการฉีด.....	61
4.1 ปฏิกริยาการเตรียม เอ็น-(4-ไฮดรอกซีฟีนิล)มาลิอิมิด.....	65
4.2 อินฟราเรดสเปกตรัมของ HPM.....	66
4.3 โปรตอนเอ็นเอ็มอาร์สเปกตรัม (500 MHz, CDCl ₃) ของ HPM.....	68
4.4 อินฟราเรดสเปกตรัมของ HPM เปรียบเทียบกับ NR-g-HPM และ NR.....	69
4.5 สเปกตรัมอินฟราเรดของยางธรรมชาติที่กราฟต์ติดด้วย HPM ที่ปริมาณการใช้ 2, 4, 6, 8 และ 10 phr เปรียบเทียบกับยางธรรมชาติ.....	70
4.6 อิทธิพลของปริมาณ HPM ในปฏิกริยาต่อระดับการเกาะติดของ HPM บน โมเลกุล NR.....	71
4.7 อิทธิพลของปริมาณมอนอเมอร์ HPM ต่อปริมาณเจล.....	72
4.8 สเปกตรัมอินฟราเรดของ NR-g-HPM ที่อุณหภูมิการเตรียมปฏิกริยาต่าง ๆ.....	73
4.9 กลไกการเกาะติดของ HPM บน โมเลกุลยางธรรมชาติแบบพันธะคู่อยู่นอกสายโซ่หลัก.....	74
4.10 กลไกการเกาะติดของ HPM บน โมเลกุลยางธรรมชาติแบบพันธะคู่อยู่ในสายโซ่หลัก.....	74
4.11 อิทธิพลของอุณหภูมิในการทำปฏิกริยากราฟต์โคพอลิเมอร์ไรซ์ต่อปริมาณการเกาะติด ของ HPM 2 phr บน โมเลกุล.....	76
4.12 การเกิดไฮโดรเพอร์ออกไซด์และการตัดสายโซ่ตรงตำแหน่งเบต้าของยางธรรมชาติ.....	78
4.13 สเปกตรัมอินฟราเรดของ NR, NR 200 และ NR-g-HPM.....	79
4.14 เทอร์โมแกรม TGA ของ NR และ NR-g-HPM.....	79
4.15 เทอร์โมแกรม DTG ของ NR และ NR-g-HPM.....	80
4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของพอลิเมอร์เบลนด์ ระหว่าง NR-g-HPM/Nylon 6 โดยแปรสัดส่วนการเบลนด์ 50/50 40/60 และ 30/70 และแปรปริมาณสารเพิ่มความเข้ากันได้ที่ Ma 0.5% และ Ma 1% ของพอลิเมอร์ทั้งหมด ที่อุณหภูมิ 230°C.....	83

รายการรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของพอลิเมอร์เบลนค์ ระหว่าง NR-g-HPM/Nylon 6 โดยแปรสัดส่วนการเบลนค์ 50/50 40/60 และ 30/70 และแปรปริมาณสารเพิ่มความเข้ากันได้ที่ Ma 0.5% และ Ma 1% ของพอลิเมอร์ทั้งหมด ที่อุณหภูมิ 240°C.....	84
4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของพอลิเมอร์เบลนค์ ระหว่าง NR-g-HPM/Nylon 6 โดยแปรสัดส่วนการเบลนค์ 50/50 40/60 และ 30/70 และแปรปริมาณสารเพิ่มความเข้ากันได้ที่ Ma 0.5% และ Ma 1% ของพอลิเมอร์ทั้งหมด ที่อุณหภูมิ 250°C.....	85
4.19 ความต้านทานต่อแรงดึงของพอลิเมอร์เบลนค์ระหว่าง NR-g-HPM/Nylon 6 ในอัตราส่วนต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 230°C.....	87
4.20 ความสามารถในการยืดจนขาดของพอลิเมอร์เบลนค์ระหว่าง NR-g-HPM/Nylon 6 ในอัตราส่วนต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 230°C.....	87
4.21 ความต้านทานต่อแรงดึงของพอลิเมอร์เบลนค์ระหว่าง NR-g-HPM/Nylon 6 ในอัตราส่วนต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 240°C.....	89
4.22 ความสามารถในการยืดจนขาดของพอลิเมอร์เบลนค์ระหว่าง NR-g-HPM/Nylon 6 ในอัตราส่วนต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 240°C.....	89
4.23 ความต้านทานต่อแรงดึงของพอลิเมอร์เบลนค์ระหว่าง NR-g-HPM/Nylon 6 ในอัตราส่วนต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 250°C.....	91
4.24 ความสามารถในการยืดจนขาดของพอลิเมอร์เบลนค์ระหว่าง NR-g-HPM/Nylon 6 ในอัตราส่วนต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 250°C.....	91
4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดูลัสสะสมกับอุณหภูมิของพอลิเมอร์เบลนค์ระหว่าง NR-g-HPM/Nylon6 เมื่อแปรสัดส่วนการเบลนค์ ที่อุณหภูมิ 230°C.....	93
4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Tan δ กับอุณหภูมิของพอลิเมอร์เบลนค์ระหว่าง NR-g-HPM/Nylon6 เมื่อแปรอัตราส่วนการเบลนค์ ที่อุณหภูมิ 230°C.....	94

รายการรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดูลัสสะสมกับอุณหภูมิของพอลิเมอร์เบลนค์ระหว่าง NR-g-HPM/Nylon6 เมื่อแปรสัคส่วนการเบลนค์ ที่อุณหภูมิ 240°C.....	95
4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Tan δ กับอุณหภูมิของพอลิเมอร์เบลนค์ระหว่าง NR-g-HPM/Nylon6 เมื่อแปรอัตราส่วนการเบลนค์ ที่อุณหภูมิ 240°C.....	95
4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดูลัสสะสมกับอุณหภูมิของพอลิเมอร์เบลนค์ระหว่าง NR-g-HPM/Nylon6 เมื่อแปรสัคส่วนการเบลนค์ ที่อุณหภูมิ 250°C.....	96
4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Tan δ กับอุณหภูมิของพอลิเมอร์เบลนค์ระหว่าง NR-g-HPM/Nylon6 เมื่อแปรอัตราส่วนการเบลนค์ ที่อุณหภูมิ 230°C.....	96
4.31 ความต้านทานต่อตัวทำลายของพอลิเมอร์เบลนค์ระหว่าง NR-g-HPM/Nylon 6 ที่ อุณหภูมิ 230°C ในอัตราส่วนต่าง ๆ.....	98
4.32 ความต้านทานต่อตัวทำลายของพอลิเมอร์เบลนค์ระหว่าง NR-g-HPM/Nylon 6 ที่ อุณหภูมิ 240°C ในอัตราส่วนต่าง ๆ.....	99
4.33 ความต้านทานต่อตัวทำลายของพอลิเมอร์เบลนค์ระหว่าง NR-g-HPM/Nylon 6 ที่ อุณหภูมิ 250°C ในอัตราส่วนต่าง ๆ.....	100
4.34 ลักษณะสัญญาณวิทยาของพอลิเมอร์เบลนค์ที่เตรียมจาก NR-g-HPM/Nylon 6 เมื่อแปรอัตราส่วนการเบลนค์ ที่อุณหภูมิ 230°C.....	103
4.35 ลักษณะสัญญาณวิทยาของพอลิเมอร์เบลนค์ที่เตรียมจาก NR-g-HPM/Nylon 6 เมื่อแปรอัตราส่วนการเบลนค์ ที่อุณหภูมิ 240°C.....	104
4.36 ลักษณะสัญญาณวิทยาของพอลิเมอร์เบลนค์ที่เตรียมจาก NR-g-HPM/Nylon 6 เมื่อแปรอัตราส่วนการเบลนค์ ที่อุณหภูมิ 250°C.....	105
4.37 เทอร์โมแกรม TGA ของพอลิเมอร์เบลนค์ที่เตรียมจาก NR-g-HPM/Nylon 6 ที่อุณหภูมิ 230°C ที่แปรอัตราส่วนยางต่อพลาสติกเปรียบเทียบกับไนลอน 6.....	106
4.38 เทอร์โมแกรม DTG ของพอลิเมอร์เบลนค์ที่เตรียมจาก NR-g-HPM/Nylon 6 ที่อุณหภูมิ 230°C ที่แปรอัตราส่วนยางต่อพลาสติกเปรียบเทียบกับไนลอน 6.....	107

รายการรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.39 เทอร์โมแกรม TGA ของพอลิเมอร์เบลนด์ที่เตรียมจาก NR-g-HPM/Nylon 6 ที่อุณหภูมิ 240°C ที่แปรอัตราส่วนยางต่อพลาสติกเปรียบเทียบกับไนลอน 6.....	109
4.40 เทอร์โมแกรม DTG ของพอลิเมอร์เบลนด์ที่เตรียมจาก NR-g-HPM/Nylon 6 ที่อุณหภูมิ 240°C ที่แปรอัตราส่วนยางต่อพลาสติกเปรียบเทียบกับไนลอน 6.....	109
4.41 เทอร์โมแกรม TGA ของพอลิเมอร์เบลนด์ที่เตรียมจาก NR-g-HPM/Nylon 6 ที่อุณหภูมิ 250°C ที่แปรอัตราส่วนยางต่อพลาสติกเปรียบเทียบกับไนลอน 6.....	111
4.42 เทอร์โมแกรม DTG ของพอลิเมอร์เบลนด์ที่เตรียมจาก NR-g-HPM/Nylon 6 ที่อุณหภูมิ 250°C ที่แปรอัตราส่วนยางต่อพลาสติกเปรียบเทียบกับไนลอน 6.....	111

Prince of Songkhla University
Pattani Campus