

บทคัดย่อ

การสังเคราะห์สเตียริลอะโรมาติกเอสเทอร์จากปฏิกิริยาของสเตียริลแอลกอฮอล์และกรดอะโรมาติก โดยใช้อัตราส่วน 1:1 โดยโมล ใช้ปริมาณสารตัวเร่งกรดซัลฟิวริก 15% โดยน้ำหนักของกรดอะโรมาติก ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 80-100 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง โดยแปรชนิดของกรดอะโรมาติก ได้แก่ 1-Naphthoic acid, Phthalic acid, Biphenyl-4-carboxylic acid, Benzoic acid และ Anthracene-9-carboxylic acid ได้สเตียริลอะโรมาติกเอสเทอร์ ได้แก่ Stearyl 1-naphthoate (SN), Distearyl phthalate (DP), Stearyl biphenyl-4-carboxylate (SBC), Stearyl benzoate (SB) และ Stearyl anthracene-9-carboxylate (SAC) ซึ่งมีปริมาณผลผลิต 90.02, 88.69, 87.88, 86.68 และ 32.21% ตามลำดับ และพิสูจน์โครงสร้างสารด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปี การนำสเตียริลอะโรมาติกเอสเทอร์ 4 ชนิด คือ SN, DP, SBC และ SB ไปใช้เป็นสารช่วยในการแปรรูปยางคอมพาวนด์ ตามมาตรฐาน ASTM D3184 พบว่าการใช้สารช่วยในการแปรรูปสเตียริลอะโรมาติกเอสเทอร์ปริมาณ 5 phr ให้สมบัติของยางคอมพาวนด์ ได้แก่ พลังงานการผสม ความเหนียวนี้ อุณหภูมิสุดท้ายของการผสม และการคลายตัวของความเค้นใกล้เคียงกับการใช้น้ำมันอะโรมาติก และมีค่าต่ำกว่าการไม่ใช้น้ำมัน ส่วนพฤติกรรมการวัลคาไนซ์ พบว่ามีลักษณะที่ใกล้เคียงกับการใช้น้ำมันอะโรมาติกสำหรับสมบัติของยางวัลคาไนซ์ พบว่าการใช้สารช่วยในการแปรรูปสเตียริลอะโรมาติกเอสเทอร์ให้สมบัติเชิงกลโดยรวมใกล้เคียงกับการใช้น้ำมันอะโรมาติก และดีกว่าการไม่ใช้น้ำมัน แต่มีความต้านทานต่อการบ่มเร่งต่ำสุด อย่างไรก็ตามความต้านทานต่อการบ่มเร่งของยางที่ใช้สเตียริลอะโรมาติกเอสเทอร์สามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้โดยการใช้สารต้านการเสื่อมชนิด 6PPD นอกจากนี้พบว่าสามารถใช้สารช่วยในการแปรรูปสเตียริลอะโรมาติกเอสเทอร์โดยไม่จำเป็นต้องทำให้บริสุทธิ์ เนื่องจากให้สมบัติโดยรวมที่ไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจน Stearyl benzoate เป็นสารที่มีศักยภาพมากที่สุดในการนำไปใช้ในยางคอมพาวนด์ เนื่องจากต้นทุนการผลิตต่ำที่สุด และให้สมบัติของยางคอมพาวนด์ใกล้เคียงกับการใช้น้ำมันอะโรมาติกหลายประการ Stearyl benzoate จึงสามารถนำไปใช้ในการผลิตเป็นสารช่วยในการแปรรูปยางในอุตสาหกรรมยางที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมต่อไปได้

ABSTRACT

The synthesis of stearyl aromatic esters and used as processing aids for natural rubber compounding were studied. In this work, stearyl aromatic esters were prepared from the reaction of stearyl alcohol and aromatic acids with the 1:1 mole ratio. The reaction was carried out at 80-100 °C for 3 hrs in the presence of 15% sulfuric acid by weight of aromatic acid as a catalyst. Various types of aromatic acids were employed, i.e. 1-naphthoic acid, phthalic acid, biphenyl-4-carboxylic acid, benzoic acid and anthracene-9-carboxylic acid. The resulting stearyl aromatic esters such as stearyl 1-naphthoate (SN), distearyl phthalate (DP), stearyl biphenyl-4-carboxylate (SBC), stearyl benzoate (SB) and stearyl anthracene-9-carboxylate (SAC) with their percentage yield of 90.02, 88.69, 87.88, 86.68 and 32.21 were obtained, respectively, and characterized by spectroscopic techniques. Using of 4 types of stearyl aromatic esters: SN, DP, SBC and SB as the processing aids at 5 phr in rubber compounding, according to the standard of ASTM D3184 and their properties were investigated. The results revealed that stearyl aromatic esters gave comparable compound properties; mixing energy, Mooney viscosity, dump temperature and stress relaxation to the aromatic oil and these properties were slightly lower than those of the compound without processing aids. For cure characteristics, these showed similar behaviors as the compound with aromatic oil. It is also found that the stearyl aromatic esters gave similar overall mechanical properties as aromatic oil. Although, the mechanical properties in term of tear strength, compression set and thermal stability of the vulcanizates were deteriorated after aging, it was improved by incorporating antioxidant (6PPD). Furthermore, stearyl benzoate could be used without purification, since there was no significant difference in overall vulcanizate properties. SB was the most useful processing aids in rubber compounding due to its processing aids properties and low-cost. Thus, stearyl aromatic esters can be used as eco-friendly processing aids in rubber industry.

กิตติกรรมประกาศ

รายงานวิจัยเรื่อง การเตรียมและสมบัติของน้ำมันแปรรูปยางจากปฏิกิริยาของ อนุพันธ์น้ำมันพืช (สเตียริลแอลกอฮอล์) กับกรดอะโรมาติกได้รับงบประมาณอุดหนุนการวิจัยจาก สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) งบประมาณแผ่นดินประจำปี 2553-2554 (โครงการ ต่อเนื่อง 2 ปี) รหัสโครงการ SAT530076c ภายใต้โครงการยุทธศาสตร์ 2554A11501097 การเตรียม น้ำมันชนิดใหม่และการพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ ในการใช้แทนน้ำมันเดิมที่มีพอลิอะโรมาติกไฮโดร คาร์บอนปริมาณสูงในกระบวนการแปรรูปยาง

ขอขอบคุณแผนกวิชาเคมี ภาควิชาวิทยาศาสตร์ ภาควิชาเทคโนโลยียางและ พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี ที่ให้ ความอนุเคราะห์การใช้เครื่องมือ เครื่องจักร และเครื่องทดสอบต่างๆ ในการทำวิจัยจนสำเร็จลุล่วง

ดร.เจริญ ภคธีรเธียร

รศ.อาชีชัน แกสมาน

ผศ.ดร.อดิษฐ์ รุ่งวิชานวัฒน์

นส.กุลภานันท์ แพเรือง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	(1)
ABSTRACT.....	(2)
กิตติกรรมประกาศ.....	(3)
สารบัญ.....	(4)
รายการตาราง.....	(6)
รายการรูป.....	(9)
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 เอสเทอร์.....	5
2.1.1 สมบัติของเอสเทอร์.....	5
2.1.2 ปฏิกิริยาการเตรียมเอสเทอร์.....	5
2.1.3 กลไกการเกิดปฏิกิริยาโดยใช้กรดเป็นสารตัวเร่ง.....	5
2.1.4 วิธีการเตรียมเอสเทอร์.....	8
2.2 ยางธรรมชาติ.....	9
2.2.1 โครงสร้างของยางธรรมชาติ.....	9
2.2.2 สมบัติทั่วไปของยางธรรมชาติวัลคาไนซ์.....	10
2.3 น้ำมันที่ได้จากปิโตรเลียม.....	12
2.4 การวัลคาไนซ์.....	13
2.4.1 การวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน.....	13
2.4.2 ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยาง.....	14
2.5 การใช้สารตัวเติมในยาง.....	17
2.6 เหม่าดำ.....	20
2.6.1 ชนิดของเหม่าดำ.....	21
2.6.2 สมบัติของเหม่าดำและอิทธิพลต่อสมบัติของยาง.....	21

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.7 สารทำให้ยางนึ่มและสารช่วยในกระบวนการผลิต.....	23
บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย	
3.1 สารเคมีสำหรับการสังเคราะห์สเตียรอยด์ โรมาติกเอสเทอร์.....	26
3.2 ยางและสารเคมี.....	28
3.3 อุปกรณ์.....	30
3.4 การเตรียมสเตียรอยด์ โรมาติกเอสเทอร์.....	38
3.4.1 การเตรียมเบนโซอิลคลอไรด์.....	38
3.4.2 การเตรียมสเตียรอยด์เบนโซอิลจากเบนโซอิลคลอไรด์.....	38
3.4.3 การเตรียมสเตียรอยด์เบนโซอิลจากกรดเบนโซอิกโดยใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา.....	39
3.4.4 การเตรียมสเตียรอยด์เบนโซอิลจากกรดเบนโซอิกโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆ	40
3.4.5 การเตรียมสเตียรอยด์ โรมาติกเอสเทอร์	41
3.4.6 การทำสารให้บริสุทธิ์ด้วยวิธี VLC (Vacuum liquid chromatography)	43
3.4.7 การพิสูจน์โครงสร้างและศึกษาสมบัติของสเตียรอยด์ โรมาติกเอสเทอร์.....	44
3.5 ยางคอมพาวนด์.....	45
3.5.1 การเตรียมยางคอมพาวนด์.....	45
3.5.2 การศึกษาอิทธิพลของชนิดสารช่วยในการแปรรูปสเตียรอยด์ โรมาติกเอสเทอร์ ต่อสมบัติก่อนและหลังวัลคาไนซ์ของยางคอมพาวนด์.....	46
3.5.3 การศึกษาอิทธิพลของการใช้สารต้านการเสื่อมต่อสมบัติก่อนและหลังวัลคาไนซ์ ของยางคอมพาวนด์.....	47
3.5.4 การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้สเตียรอยด์ โรมาติกเอสเทอร์ ที่ไม่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์.....	47
3.6 การวิเคราะห์และทดสอบสมบัติต่างๆ.....	48
3.6.1 การวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ของสเตียรอยด์ โรมาติกเอสเทอร์.....	48
3.6.2 การทดสอบสมบัติก่อนการวัลคาไนซ์.....	49
3.6.3 การทดสอบสมบัติเชิงกล.....	50
3.6.4 การทดสอบสมบัติเชิงกลพลวัต.....	52
3.6.5 การศึกษาลักษณะพื้นฐานวิทยาของยาง.....	54

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.6.6 สมบัติความต้านทานต่อการเสื่อม.....	54
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	
4.1 การสังเคราะห์สเตียริลอะโรมาติกเอสเทอร์.....	55
4.1.1 การสังเคราะห์สเตียริลเบนโซเอตจากเบนโซอิลคลอไรด์.....	55
4.1.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์สเตียริลเบนโซเอต.....	55
4.1.3 การศึกษาสภาวะสารตัวเร่งอื่นๆ ในการสังเคราะห์สเตียริลเบนโซเอต.....	59
4.1.4 การสังเคราะห์สเตียริลอะโรมาติกเอสเทอร์.....	60
4.1.5 การพิสูจน์โครงสร้างของสเตียริลอะโรมาติกเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ ทั้ง 5 ชนิด ด้วยเทคนิค FT-IR, ¹ H-NMR และ MS.....	63
4.2 การศึกษาอิทธิพลชนิดของสเตียริลอะโรมาติกเอสเทอร์ ต่อสมบัติก่อนและหลังวัลคาไนซ์ของยางคอมพาวนด์.....	73
4.2.1 สมบัติก่อนการวัลคาไนซ์ของยางที่ใช้สเตียริลอะโรมาติกเอสเทอร์ชนิดต่างๆ ใช้น้ำมันอะโรมาติกและไม่ใช้น้ำมัน.....	74
4.2.2 สมบัติหลังการวัลคาไนซ์ของยางที่ใช้สเตียริลอะโรมาติกเอสเทอร์ชนิดต่างๆ ใช้น้ำมันอะโรมาติก และไม่ใช้น้ำมัน.....	79
4.2.3 สมบัติด้านสัณฐานวิทยาของยางที่ใช้สเตียริลอะโรมาติกเอสเทอร์ชนิดต่างๆ ใช้น้ำมันอะโรมาติกและไม่ใช้น้ำมัน.....	86
4.3 การศึกษาอิทธิพลของการใช้สารด้านการเชื่อมต่อสมบัติ ก่อนและหลังวัลคาไนซ์ของยางคอมพาวนด์.....	88
4.3.1 สมบัติก่อนการวัลคาไนซ์ของยางที่มีการใช้สารด้านการเชื่อมต่อ.....	88
4.3.2 สมบัติหลังการวัลคาไนซ์ของยางที่มีการใช้สารด้านการเชื่อมต่อ.....	92
4.4 การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้สเตียริลอะโรมาติกเอสเทอร์ ที่ไม่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์.....	97
4.4.1 สมบัติก่อนการวัลคาไนซ์ของยางที่ใช้ Stearyl benzoate (SB) และ crude stearyl benzoate (crude SB)	97
4.4.2 สมบัติหลังการวัลคาไนซ์ของยางที่ใช้ Stearyl benzoate (SB) และ crude stearyl benzoate (crude SB).....	100

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	106
เอกสารอ้างอิง.....	111
ภาคผนวก	115
ภาคผนวก ก	115
ภาคผนวก ข	118
ภาคผนวก ค	121
ภาคผนวก ง	124
ภาคผนวก จ	125
ภาคผนวก ฉ	127

รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การจำแนกระบบที่วัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน.....	13
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	26
3.2 สมบัติของสารที่ใช้ทำปฏิกิริยา.....	27
3.3 สมบัติของเขม่าดำ.....	29
3.4 สมบัติของน้ำมันอะโรมาติก.....	29
3.5 สารตัวเร่งที่ใช้ในการเตรียมสเตียริลเบนโซเอต.....	40
3.6 สภาพที่ใช้ศึกษาในปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของสเตียริลอะโรมาติกเอสเทอร์.....	43
3.7 ระบบของตัวทำละลายที่ใช้ในการตรวจสอบสเตียริลอะโรมาติกเอสเทอร์ ด้วยเทคนิคTLC.....	44
3.8 สูตรที่ใช้ในการเตรียมยางคอมพาวนด์.....	45
3.9 ลำดับขั้นตอนการผสมยางกับสารเคมี.....	46
3.10 “Running in” และระยะเดินที่ต้องทดสอบจริง.....	53
3.11 สูตรยางมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบความต้านทานต่อการสึกหรอ.....	53
4.1 เปอร์เซนต์ผลิตภัณฑ์ Stearyl benzoate ที่ได้ เมื่อใช้สารตัวเร่งกรดซัลฟิวริก ปริมาณต่างๆ.....	56
4.2 เปอร์เซนต์ผลิตภัณฑ์ Stearyl benzoate จากอัตราส่วนต่างๆ ของกรดเบนโซอิกกับ สเตียริลแอลกอฮอล์.....	58
4.3 เปอร์เซนต์ผลิตภัณฑ์ Stearyl benzoate จากการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่างๆ.....	58
4.4 เปอร์เซนต์ผลิตภัณฑ์ Stearyl benzoate จากการใช้ตัวเร่งชนิดต่างๆ.....	60
4.5 สภาพที่เหมาะสมในการสังเคราะห์สเตียริลอะโรมาติกเอสเทอร์ทั้ง 5 ชนิด.....	61
4.6 สมบัติพื้นฐานบางประการของสเตียริลอะโรมาติกเอสเทอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์.....	61
4.7 สมบัติพื้นฐานบางประการของสเตียริลอะโรมาติกเอสเทอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์.....	62
4.8 พลังงานการผสม และความหนืดมูนี้ของยางคอมพาวนด์ที่ใช้สเตียริลอะโรมาติก เอสเทอร์ชนิดต่างๆ ใช้น้ำมันอะโรมาติกและไม่ใช้น้ำมัน.....	115
4.9 อุณหภูมิของยางคอมพาวนด์ที่ใช้สเตียริลอะโรมาติกเอสเทอร์ชนิดต่างๆ ใช้น้ำมันอะโรมาติกและไม่ใช้น้ำมัน ภายหลังจากการผสม.....	115
4.10 สมบัติการวัลคาไนซ์ของยางคอมพาวนด์ที่ใช้สเตียริลอะโรมาติกเอสเทอร์ชนิดต่างๆ ใช้น้ำมันอะโรมาติกและไม่ใช้น้ำมัน โดยวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 150 °C.....	78

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.11 ความต้านทานต่อแรงดึง และความสามารถในการยึดจนขาดของยางวัลคาไนซ์ที่ใช้สเตียริลอะโรมาติกเอสเทอร์ชนิดต่างๆ ใช้น้ำมันอะโรมาติกและไม่ใช้น้ำมัน.....	116
4.12 มอดูลัสที่ระยะยืด 300% และความแข็งของยางวัลคาไนซ์ที่ใช้สเตียริลอะโรมาติกเอสเทอร์ชนิดต่างๆ ใช้น้ำมันอะโรมาติกและไม่ใช้น้ำมัน.....	116
4.13 ความต้านทานต่อการฉีกขาด และความต้านทานต่อการสึกหรอของยางวัลคาไนซ์ที่ใช้สเตียริลอะโรมาติกเอสเทอร์ชนิดต่างๆ ใช้น้ำมันอะโรมาติกและไม่ใช้น้ำมัน.....	117
4.14 ความสามารถในการคืนรูปหลังการกดของยางวัลคาไนซ์ที่ใช้สเตียริลอะโรมาติกเอสเทอร์ชนิดต่างๆ ใช้น้ำมันอะโรมาติกและไม่ใช้น้ำมัน.....	117
4.15 การเปลี่ยนแปลงของความต้านทานต่อแรงดึงและความสามารถในการยึดจนขาดภายหลังการบ่มเร่งของยางวัลคาไนซ์ที่ใช้สเตียริลอะโรมาติกเอสเทอร์ชนิดต่างๆ ใช้น้ำมันอะโรมาติกและไม่ใช้น้ำมัน.....	118
4.16 Glass transition temperature ของยางแต่ละสูตรที่ใช้สเตียริลอะโรมาติกเอสเทอร์ชนิดต่างๆ ใช้น้ำมันอะโรมาติกและไม่ใช้น้ำมัน.....	85
4.17 พลังงานการผสมและความหนืดมูนนี่ของยางคอมพาวนด์ที่มีการใช้สารด้านการเชื่อม.....	118
4.18 อุณหภูมิของยางคอมพาวนด์ภายหลังการผสมที่มีการใช้สารด้านการเชื่อม.....	119
4.19 สมบัติการวัลคาไนซ์ของยางคอมพาวนด์ที่มีการใช้สารด้านการเชื่อมโดยวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 150°C.....	91
4.20 ความต้านทานต่อแรงดึงและความสามารถในการยึดจนขาดของยางวัลคาไนซ์ที่มีการใช้สารด้านการเชื่อม.....	119
4.21 มอดูลัสที่ระยะยืด 300% และความแข็งของยางวัลคาไนซ์ที่มีการใช้สารด้านการเชื่อม.....	119
4.22 ความต้านทานต่อการฉีกขาดและความต้านทานต่อการสึกหรอของยางวัลคาไนซ์ที่มีการใช้สารด้านการเชื่อม.....	120
4.23 ความสามารถในการคืนรูปหลังการกดของยางวัลคาไนซ์ที่มีการใช้สารด้านการเชื่อม.....	120
4.24 การเปลี่ยนแปลงของความต้านทานต่อแรงดึงและความสามารถในการยึดจนขาดภายหลังการบ่มเร่งของยางวัลคาไนซ์ที่มีการใช้สารด้านการเชื่อม.....	121
4.25 Glass transition temperature ของยางแต่ละสูตรที่มีการใช้สารด้านการเชื่อม.....	96
4.26 พลังงานการผสม และความหนืดมูนนี่ของยางคอมพาวนด์ที่ใช้ Stearyl benzoate (SB) และ crude stearyl benzoate (crude SB).....	121

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.27 อุณหภูมิของยางคอมพาวนด์ภายหลังการผสมที่ใช้ Stearyl benzoate (SB) และ crude stearyl benzoate (crude SB).....	121
4.28 สมบัติการวัลคาไนซ์ของยางคอมพาวนด์ที่ใช้ Stearyl benzoate (SB) และ crude stearyl benzoate (crude SB) โดยวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 150 °C.....	99
4.29 ความต้านทานต่อแรงดึงและความสามารถในการยืดขนาดของยางวัลคาไนซ์ที่ใช้ Stearyl benzoate (SB) และ crude stearyl benzoate (crude SB).....	122
4.30 มอดูลัสที่ระยะยืด 300% และความแข็งของยางวัลคาไนซ์ที่ใช้ Stearyl benzoate (SB) และ crude stearyl benzoate (crude SB).....	122
4.31 ความต้านทานต่อการฉีกขาดและความต้านทานต่อการสึกหรอของยางวัลคาไนซ์ที่ใช้ Stearyl benzoate (SB) และ crude stearyl benzoate (crude SB).....	122
4.32 ความสามารถในการคืนรูปหลังการกดของยางวัลคาไนซ์ที่ใช้ Stearyl benzoate (SB) และ crude stearyl benzoate (crude SB).....	122
4.33 การเปลี่ยนแปลงของความต้านทานต่อแรงดึงและความสามารถในการยืดขนาดภายหลังการบ่มแรงของยางวัลคาไนซ์ที่ใช้ Stearyl benzoate (SB) และ crude stearyl benzoate (crude SB).....	123
4.34 Glass transition temperature ของยางแต่ละสูตรที่ใช้ Stearyl benzoate (SB) และ crude stearyl benzoate (crude SB).....	105
5.1 สภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์สไตรอะโรมาติกเอสเทอร์ทั้ง 5 ชนิด.....	107

รายการรูป

รูปที่	หน้า
2.1	9
2.2	13
2.3	15
2.4	17
2.5	18
2.6	18
(ก)	
(ข)	18
2.7	19
(ก)	
(ข)	19
2.8	20
2.9	22
3.1	31
3.2	31
3.3	31
3.4	32
3.5	32
3.6	32
3.7	33
3.8	34
3.9	34
3.10	34
3.11	34
3.12	35
3.13	35
3.14	36

รายการรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.15 เครื่องแมสสเปกโตรมิเตอร์.....	36
3.16 เครื่องทดสอบความทนทานต่อการสึกหรอแบบอาครอน.....	37
3.17 เครื่องหาจุดหลอมเหลวแบบไฟฟ้า.....	37
3.18 เครื่องระเหยสารแบบหมุน.....	37
4.1 อินฟราเรดสเปกตรัมของ Benzoic acid, Stearyl alcohol และ Stearyl benzoate.....	63
4.2 ¹ H-NMR สเปกตรัมของ Stearyl benzoate.....	64
4.3 แมสสเปกตรัม (EIMS) ของ Stearyl benzoate.....	64
4.4 อินฟราเรดสเปกตรัมของ Phthalic acid, Stearyl alcohol และ Distearyl phthalate.....	65
4.5 ¹ H-NMR สเปกตรัมของ Distearyl phthalate.....	66
4.6 แมสสเปกตรัม (EIMS) ของ Distearyl phthalate.....	66
4.7 อินฟราเรดสเปกตรัมของ Biphenyl-4-carboxylic acid, Stearyl alcohol และ Stearyl biphenyl-4-carboxylate.....	67
4.8 ¹ H-NMR สเปกตรัมของ Stearyl biphenyl-4-carboxylate.....	68
4.9 แมสสเปกตรัม (EIMS) ของ Stearyl biphenyl-4-carboxylate.....	68
4.10 อินฟราเรดสเปกตรัมของ 1-Naphthoic acid, Stearyl alcohol และ Stearyl 1-naphthoate.....	69
4.11 ¹ H-NMR สเปกตรัมของ Stearyl 1-naphthoate.....	70
4.12 แมสสเปกตรัม (EIMS) ของ Stearyl 1-naphthoate.....	70
4.13 อินฟราเรดสเปกตรัมของ Anthracene-9-carboxylic acid, Stearyl alcohol และ Stearyl anthracene-9-carboxylate.....	71
4.14 ¹ H-NMR สเปกตรัมของ Stearyl anthracene-9-carboxylate.....	72
4.15 แมสสเปกตรัม (EIMS) ของ Stearyl anthracene-9-carboxylate.....	72
4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างทอร์กการผสมกับเวลาการผสมของยางคอมพาวนด์ที่ใช้ สเตียริลอะโรมาติกเอสเทอร์ชนิดต่างๆใช้น้ำมันอะโรมาติกและไม่ใช้น้ำมัน.....	74
4.17 พลังงานการผสมและความหนืดของยางคอมพาวนด์ที่ใช้สเตียริลอะโรมาติก เอสเทอร์ชนิดต่างๆใช้น้ำมันอะโรมาติกและไม่ใช้น้ำมัน.....	75
4.18 อุณหภูมิของยางคอมพาวนด์ที่ใช้สเตียริลอะโรมาติกเอสเทอร์ชนิดต่างๆ ใช้น้ำมันอะโรมาติกและไม่ใช้น้ำมัน ภายหลังจากการผสม.....	76

รายการรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.19 การคลายตัวของความเค้นของยางคอมพาวนด์ที่ใช้สเตียริลอะโรมาติกเอสเทอร์ชนิดต่างๆ ใช้น้ำมันอะโรมาติกและไม่ใช้น้ำมัน.....	77
4.20 พฤติกรรมการวัลคาไนซ์ของยางคอมพาวนด์ที่ใช้สเตียริลอะโรมาติกเอสเทอร์ชนิดต่างๆ ใช้น้ำมันอะโรมาติกและไม่ใช้น้ำมัน.....	79
4.21 ความต้านทานต่อแรงดึงและความสามารถในการยืดจนขาดของยางวัลคาไนซ์ที่ใช้สเตียริลอะโรมาติกเอสเทอร์ชนิดต่างๆ ใช้น้ำมันอะโรมาติกและไม่ใช้น้ำมัน.....	79
4.22 มอดูลัสที่ระยะยืด 300% และความแข็งของยางวัลคาไนซ์ที่ใช้สเตียริลอะโรมาติกเอสเทอร์ชนิดต่างๆ ใช้น้ำมันอะโรมาติกและไม่ใช้น้ำมัน.....	81
4.23 ความต้านทานต่อการฉีกขาดและความต้านทานต่อการสึกหรอของยางวัลคาไนซ์ที่ใช้สเตียริลอะโรมาติกเอสเทอร์ชนิดต่างๆ ใช้น้ำมันอะโรมาติกและไม่ใช้น้ำมัน.....	81
4.24 ความสามารถในการคืนรูปหลังการกดของยางวัลคาไนซ์ที่ใช้สเตียริลอะโรมาติกเอสเทอร์ชนิดต่างๆ ใช้น้ำมันอะโรมาติกและไม่ใช้น้ำมัน.....	83
4.25 การเปลี่ยนแปลงของความต้านทานต่อแรงดึงและความสามารถในการยืดจนขาดของยางวัลคาไนซ์ภายหลังการบ่มเร่งของยางวัลคาไนซ์ที่ใช้สเตียริลอะโรมาติกเอสเทอร์ชนิดต่างๆ ใช้น้ำมันอะโรมาติกและไม่ใช้น้ำมัน.....	83
4.26 Storage modulus ของยางวัลคาไนซ์ที่ใช้สเตียริลอะโรมาติกเอสเทอร์ชนิดต่างๆ ใช้น้ำมันอะโรมาติกและไม่ใช้น้ำมัน.....	84
4.27 tan delta ของยางวัลคาไนซ์ที่ใช้สเตียริลอะโรมาติกเอสเทอร์ชนิดต่างๆ ใช้น้ำมันอะโรมาติกและไม่ใช้น้ำมัน.....	85
4.28 สันฐานวิทยาของยางคอมพาวนด์ โดยการแปรชนิดของสารช่วยในการแปรรูป.....	87
4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างทอร์กการผสมกับเวลาของยางคอมพาวนด์ที่มีการใช้สารด้านการเชื่อม.....	89
4.30 พลังงานการผสมและความหนืดมูนี้ของยางคอมพาวนด์ที่มีการใช้สารด้านการเชื่อม....	89
4.31 อุณหภูมิของยางคอมพาวนด์ภายหลังการผสมที่มีการใช้สารด้านการเชื่อม.....	90
4.32 การคลายตัวของความเค้นของยางคอมพาวนด์ที่มีการใช้สารด้านการเชื่อม.....	90
4.33 พฤติกรรมการวัลคาไนซ์ของยางคอมพาวนด์ที่มีการใช้สารด้านการเชื่อม.....	91

รายการรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.34 ความต้านทานต่อแรงดึงและความสามารถในการยืดขนาดของยางวัลคาไนซ์ ที่มีการใช้สารด้านการเชื่อม.....	92
4.35 มอดูลัสที่ระยะยืด 300% และความแข็งของยางวัลคาไนซ์ที่มีการใช้สารด้านการเชื่อม.....	93
4.36 ความต้านทานต่อการฉีกขาด และความต้านทานต่อการสึกหรอของยางวัลคาไนซ์ ที่มีการใช้สารด้านการเชื่อม.....	94
4.37 ความสามารถในการคืนรูปหลังการกดของยางวัลคาไนซ์ที่มีการใช้สารด้านการเชื่อม.....	94
4.38 การเปลี่ยนแปลงของความต้านทานต่อแรงดึงและความสามารถในการยืดขนาด ภายหลังการบ่มเร่งของยางวัลคาไนซ์ที่มีการใช้สารด้านการเชื่อม.....	95
4.39 Storage modulus ของยางวัลคาไนซ์ที่มีการใช้สารด้านการเชื่อม.....	95
4.40 tan delta ของยางวัลคาไนซ์ที่มีการใช้สารด้านการเชื่อม.....	96
4.41 ความสัมพันธ์ระหว่างทอร์กของการผสมกับเวลาของยางคอมพาวนด์ที่ใช้ Stearyl benzoate (SB) และ crude stearyl benzoate (crude SB).....	97
4.42 พลังงานการผสม และความหนืดมูนี้ของยางคอมพาวนด์ที่ใช้ Stearyl benzoate (SB) และ crude stearyl benzoate (crude SB).....	98
4.43 อุณหภูมิของยางคอมพาวนด์ภายหลังการผสมที่ใช้ Stearyl benzoate (SB) และ crude stearyl benzoate (crude SB).....	98
4.44 การคลายตัวของความเค้นของยางคอมพาวนด์ที่ใช้ Stearyl benzoate (SB) และ crude stearyl benzoate (crude SB).....	99
4.45 พฤติกรรมการวัลคาไนซ์ของยางคอมพาวนด์ที่ใช้ Stearyl benzoate (SB) และ crude stearyl benzoate (crude SB).....	100
4.46 ความต้านทานต่อแรงดึง และความสามารถในการยืดขนาดของยางวัลคาไนซ์ ที่ใช้ Stearyl benzoate (SB) และ crude stearyl benzoate (crude SB).....	101
4.47 มอดูลัสที่ระยะยืด 300% และความแข็งของยางวัลคาไนซ์ที่ใช้ Stearyl benzoate (SB) และ crude stearyl benzoate (crude SB).....	101
4.48 ความต้านทานต่อการฉีกขาด และความต้านทานต่อการสึกหรอของยางวัลคาไนซ์ ที่ใช้ Stearyl benzoate (SB) และ crude stearyl benzoate (crude SB).....	102
4.49 ความสามารถในการคืนรูปหลังการกดของยางวัลคาไนซ์ที่ใช้ Stearyl benzoate (SB) และ crude stearyl benzoate (crude SB).....	103

รายการรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.50 การเปลี่ยนแปลงของความต้านทานต่อแรงดึงและความสามารถในการยืดขนาด ภายหลังการบ่มแรงของยางวัลคาไนซ์ที่ใช้ Stearyl benzoate (SB) และ crude stearyl benzoate (crude SB).....	103
4.51 Storage modulus ของยางวัลคาไนซ์ที่ใช้ Stearyl benzoate (SB) และ crude stearyl benzoate (crude SB).....	104
4.52 tan delta ของยางวัลคาไนซ์ที่ใช้ Stearyl benzoate (SB) และ crude stearyl benzoate (crude SB).....	104