

ภาวะที่มีผลต่อกระบวนการบ่มขยาย

นายวิชัย ตระกูลบุญ



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาศึกษาศาสตร์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2538

ISBN 974-631-586-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

T17439643

CONDITIONS AFFECTING THE CURING PROCESS OF RUBBER

Mr. Wichai Thakulnuch

A Thesis Submitted in Partial Fullfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Chemical Engineering

Graduate School

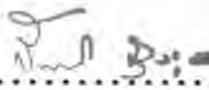
Chulalongkorn University

1995

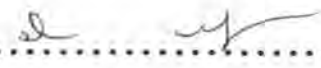
ISBN 974-631-586-2

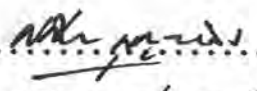
หัวข้อวิทยานิพนธ์      ภาวะที่มีผลต่อกระบวนการบ่มอง  
โดย                              นายวิชัย ตระกูลนุช  
ภาควิชา                        วิศวกรรมเคมี  
อาจารย์ที่ปรึกษา      ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศศิธร บุญ-หลง  
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม   นายลิขิต สรรพสุข


บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

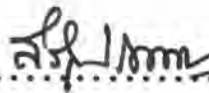
  
..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ กงสุวรรณ)

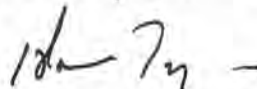
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(ศาสตราจารย์ ดร.ปิยะสาร ประเสริฐธรรม)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศศิธร บุญ-หลง)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
(นายลิขิต สรรพสุข)

  
..... กรรมการ  
(อาจารย์ ดร.สิริจุฑาทิรัตน์ โควาวิสารัช)

  
..... กรรมการ  
(อาจารย์ ดร.เจ็ดศักดิ์ ไชยชอุมา)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

วิจัย ตระกูลนุช : ภาวะที่มีผลต่อกระบวนการบ่มยาง (CONDITIONS AFFECTING THE CURING PROCESS OF RUBBER) อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.ศศิธร บุณ-หลง, อ.ที่ปรึกษาร่วม : นายลิขิต สรรพสุข, 93 หน้า. ISBN 974-631-586-2

กระบวนการบ่มยางเป็นระบบที่ขึ้นกับตัวแปรหลัก คือ อุณหภูมิ ระบบสารเคมี และเวลาที่ใช้ในการบ่มยาง ในกระบวนการบ่มยางในอุตสาหกรรมจำเป็นต้องใช้ภาวะที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติตามที่ต้องการและได้ผลผลิตสูงสุด จากความต้องการดังกล่าวจึงต้องมีการศึกษาภาวะที่มีผลต่อกระบวนการบ่มยาง ในการทดลองนี้ ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิโดยใช้สูตรยางผสมตัวอย่าง T458 นำมาทดสอบด้วยเครื่องวัดสมบัติการไหลของยางแบบจานสั่น (oscillating disk rheometer) ทดสอบที่อุณหภูมิ 130, 140, 150, 160, 170 และ 180 องศาเซลเซียส จากผลการทดสอบสามารถนำมาคำนวณค่าพลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยา ซึ่งใช้ในการคำนวณหาค่าสมมูลของการบ่มยางที่อุณหภูมิต่าง ๆ กันได้

การศึกษาผลของระบบสารเคมี ทำโดยการปรับปริมาณของสารเร่งปฏิกิริยาและสารบ่มที่ใช้ พบว่าค่าพลังงานกระตุ้นของแต่ละสูตรมีค่าแตกต่างกัน นอกจากนี้ปริมาณของสารเร่งปฏิกิริยาและสารบ่มยังมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของยาง จึงต้องมีการเลือกใช้สัดส่วนที่พอเหมาะเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติตามต้องการ

ภาควิชา ..... วิศวกรรมเคมี  
สาขาวิชา ..... วิศวกรรมเคมี  
ปีการศึกษา ..... 2537

ลายมือชื่อนิติต .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

## C318077 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD: VULCANIZATION/ CURE TIME/ CURING/ CURING TEMPERATURE

WICHAI THAKULNUCH : CONDITIONS AFFECTING THE CURING PROCESS OF RUBBER. THESIS ADVISOR : ASSIST.PROF.SASITHORN BOON-LONG, Dr. 3e Cycle, THESIS CO-ADVISOR : MR.LIKHIT SAPPASOOK, 93 pp.  
ISBN 974-631-586-2

Curing process of rubber depends on three major parameters, they are temperature, chemical system and curing time. In practice, appropriate condition is important in obtaining the desired properties and productivity. For this reason, it is necessary to study the conditions affecting the curing process of rubber. This research was conducted to investigate the effects of temperature on rubber compound formula T458. Flow properties were measured using oscillating disk rheometer at 130, 140, 150, 160, 170 and 180°C, the results obtained were used to calculate the activation energy and cure equivalence at different temperature.

The effects of the chemical system was studied by adjusting the quantity of the accelerator and the curing agent used in the formulation. Results showed that activation energy varied with formulation. Moreover, the accelerator and curing agent affected the physical properties of the rubber compound, therefore to obtain desired properties appropriated ratio of accelerator and curing agent should be used.

ภาควิชา..... วิศวกรรมเคมี.....

สาขาวิชา..... วิศวกรรมเคมี.....

ปีการศึกษา..... 2537.....

ลายมือชื่อนิสิต..... *Wichai Thakulnuch*.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... *Asst. Prof. Sasithorn Boonlong*.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... *Mr. Likhit Sappasook*.....



## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศศิธร บุญ-หลง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่าง ๆ ของการวิจัยนี้มาด้วยดีตลอด

ขอขอบพระคุณ คุณลิขิต สรรพสุข ที่ปรึกษาร่วม ซึ่งได้สละเวลาช่วยเหลือ และสนับสนุน การศึกษาและวิจัย

ขอขอบคุณพนักงานแผนกแลกเปลี่ยน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและร่วมมือในการทดสอบ

ขอขอบคุณ คุณปวีณา ปานทอง ที่ได้ให้การสนับสนุน ช่วยเหลือและเป็นกำลังใจแก่ผู้วิจัย

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง แค่มิคา-มารดา ซึ่งสนับสนุนในการศึกษา และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมา จนสำเร็จการศึกษา

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญตาราง .....	ฅ
สารบัญภาพ .....	ท

## บทที่

1. บทนำ .....	1
ความเป็นมา .....	1
วัตถุประสงค์ .....	2
ขอบเขตการวิจัย .....	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	2
2. วารสารปริทัศน์ .....	3
शाงธรรมชาติและशाงสังเคราะห์ .....	3
การผสมสารเคมีและการวัลคะไนซ์ของशाง .....	5
การวัลคะไนซ์ .....	8
จลนพลศาสตร์เชิงเคมี .....	10
ผลของอุณหภูมิที่มีต่ออัตราการบ่ม .....	13
ค่าสัมมูลของการบ่ม .....	14
การหาค่าสัมมูลของการบ่ม .....	16
3. เครื่องมือและวิธีการทดลอง .....	21
เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง .....	21
1. เครื่องผสมแบบบิด บราวเนเตอร์ .....	21
2. เครื่องวัดสมบัติการไหลของशाงแบบจานสั้น .....	23

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
วิธีการทดลอง .....	30
1. ศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อกระบวนการบ่มยาง .....	30
2. ศึกษาผลของปริมาณสารเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อกระบวนการบ่มยาง .....	30
3. ศึกษาผลของปริมาณสารเชื่อมโสมที่มีต่อกระบวนการบ่มยาง .....	31
4. ศึกษาผลของชนิดของยางที่ใช้ที่มีต่อกระบวนการบ่มยาง .....	31
4. วิเคราะห์ผลการทดลอง .....	34
5. สรุปผลการทดลอง .....	44
เอกสารอ้างอิง .....	46
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. ข้อมูลการทดลอง .....	48
ภาคผนวก ข. คำศัพท์ .....	92
ประวัติผู้เขียน .....	93



สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1	ส่วนผสมของยางผสมสูตร T458 .....	32
ตารางที่ 3.2	ส่วนผสมของยางผสมสูตร T458-2, T458-3, T458-4, T458-5, T458-6, T458-7 .....	32
ตารางที่ 3.3	ส่วนผสมของยางผสมสูตร T458-S1, T458-S2, T458-S3, T458-S4, T458-S5 .....	33
ตารางที่ 3.4	ส่วนผสมของยางผสมสูตร T458-R1, T458-R3 .....	33
ตารางที่ 4.1	ค่า E ของยางสูตรทดลองในวิธีการทดลองที่ 2 .....	37
ตารางที่ 4.2	ค่า E ของยางสูตรทดลองในวิธีการทดลองที่ 3 .....	40
ตารางที่ ก.1	ผลการทดสอบยางผสมสูตร T458 โดยเครื่องวัดสมบัติการไหลของ ยางแบบจานสั้นที่อุณหภูมิต่างๆ .....	48
ตารางที่ ก.2	ค่า $1/T$ และ $\ln(\text{cure})$ ของสูตร T458 .....	50
ตารางที่ ก.3	ค่า relative rate และค่าเวลาจากการคำนวณ เทียบกับค่า $t_{90}$ จากการวัดโดยใช้อุณหภูมิอ้างอิง $150^{\circ}\text{C}$ .....	51
ตารางที่ ก.4	ค่า relative rate และค่าเวลาจากการคำนวณ เทียบกับค่า $t_{90}$ จากการวัดโดยใช้อุณหภูมิอ้างอิง $160^{\circ}\text{C}$ .....	51
ตารางที่ ก.5	ผลการทดสอบยางผสมสูตร T458-2 โดยเครื่องวัดสมบัติการไหลของ ยางแบบจานสั้นที่อุณหภูมิต่างๆ .....	52
ตารางที่ ก.6	ค่า $1/T$ และ $\ln(\text{cure})$ ของสูตร T458-2 .....	53
ตารางที่ ก.7	ค่า relative rate และค่าเวลาจากการคำนวณ เทียบกับค่า $t_{90}$ จากการวัดโดยใช้อุณหภูมิอ้างอิง $150^{\circ}\text{C}$ .....	54
ตารางที่ ก.8	ค่า relative rate และค่าเวลาจากการคำนวณ เทียบกับค่า $t_{90}$ จากการวัดโดยใช้อุณหภูมิอ้างอิง $160^{\circ}\text{C}$ .....	54
ตารางที่ ก.9	ผลการทดสอบยางผสมสูตร T458-3 โดยเครื่องวัดสมบัติการไหลของ ยางแบบจานสั้นที่อุณหภูมิต่างๆ .....	55
ตารางที่ ก.10	ค่า $1/T$ และ $\ln(\text{cure})$ ของสูตร T458-3 .....	56

สารบัญตาราง(ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ ก.11	ค่า relative rate และค่าเวลาจากการคำนวณเทียบกับค่า $t_{90}$ จากการวัดโดยใช้อุณหภูมิอ้างอิง $150^{\circ}\text{C}$ .....57
ตารางที่ ก.12	ค่า relative rate และค่าเวลาจากการคำนวณเทียบกับค่า $t_{90}$ จากการวัดโดยใช้อุณหภูมิอ้างอิง $160^{\circ}\text{C}$ .....57
ตารางที่ ก.13	ผลการทดสอบยางผสมสูตร T458-4 โดยเครื่องวัดสมบัติการไหลของ ยางแบบจานสั้นที่อุณหภูมิต่างๆ .....58
ตารางที่ ก.14	ค่า $1/T$ และ $\text{Ln}(\text{cure})$ ของสูตร T458-4 .....59
ตารางที่ ก.15	ค่า relative rate และค่าเวลาจากการคำนวณเทียบกับค่า $t_{90}$ จากการวัดโดยใช้อุณหภูมิอ้างอิง $150^{\circ}\text{C}$ .....60
ตารางที่ ก.16	ค่า relative rate และค่าเวลาจากการคำนวณเทียบกับค่า $t_{90}$ จากการวัดโดยใช้อุณหภูมิอ้างอิง $160^{\circ}\text{C}$ .....60
ตารางที่ ก.17	ผลการทดสอบยางผสมสูตร T458-5 โดยเครื่องวัดสมบัติการไหลของ ยางแบบจานสั้นที่อุณหภูมิต่างๆ .....61
ตารางที่ ก.18	ค่า $1/T$ และ $\text{Ln}(\text{cure})$ ของสูตร T458-5 .....62
ตารางที่ ก.19	ค่า relative rate และค่าเวลาจากการคำนวณเทียบกับค่า $t_{90}$ จากการวัดโดยใช้อุณหภูมิอ้างอิง $150^{\circ}\text{C}$ .....63
ตารางที่ ก.20	ค่า relative rate และค่าเวลาจากการคำนวณเทียบกับค่า $t_{90}$ จากการวัดโดยใช้อุณหภูมิอ้างอิง $160^{\circ}\text{C}$ .....63
ตารางที่ ก.21	ผลการทดสอบยางผสมสูตร T458-6 โดยเครื่องวัดสมบัติการไหลของ ยางแบบจานสั้นที่อุณหภูมิต่างๆ .....64
ตารางที่ ก.22	ค่า $1/T$ และ $\text{Ln}(\text{cure})$ ของสูตร T458-6 .....65
ตารางที่ ก.23	ค่า relative rate และค่าเวลาจากการคำนวณเทียบกับค่า $t_{90}$ จากการวัดโดยใช้อุณหภูมิอ้างอิง $150^{\circ}\text{C}$ .....66
ตารางที่ ก.24	ค่า relative rate และค่าเวลาจากการคำนวณเทียบกับค่า $t_{90}$ จากการวัดโดยใช้อุณหภูมิอ้างอิง $160^{\circ}\text{C}$ .....66

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ ก.25 ผลการทดสอบยางผสมสูตร T458-7 โดยเครื่องวัดสมบัติการไหลของ ยางแบบจานสั้นที่อุณหภูมิต่างๆ .....	67
ตารางที่ ก.26 ค่า $1/T$ และ $\ln(\text{cure})$ ของสูตร T458-7 .....	68
ตารางที่ ก.27 ค่า relative rate และค่าเวลาจากการคำนวณเทียบกับค่า $t_{90}$ จากการวัดโดยใช้อุณหภูมิอ้างอิง $150^{\circ}\text{C}$ .....	69
ตารางที่ ก.28 ค่า relative rate และค่าเวลาจากการคำนวณเทียบกับค่า $t_{90}$ จากการวัดโดยใช้อุณหภูมิอ้างอิง $160^{\circ}\text{C}$ .....	69
ตารางที่ ก.29 ผลการทดสอบยางผสมสูตร T458-S2 โดยเครื่องวัดสมบัติการไหล ของยางแบบจานสั้นที่อุณหภูมิต่างๆ .....	71
ตารางที่ ก.30 ค่า $1/T$ และ $\ln(\text{cure})$ ของสูตร T458-S2 .....	72
ตารางที่ ก.31 ค่า relative rate และค่าเวลาจากการคำนวณเทียบกับค่า $t_{90}$ จากการวัดโดยใช้อุณหภูมิอ้างอิง $150^{\circ}\text{C}$ .....	73
ตารางที่ ก.32 ค่า relative rate และค่าเวลาจากการคำนวณเทียบกับค่า $t_{90}$ จากการวัดโดยใช้อุณหภูมิอ้างอิง $160^{\circ}\text{C}$ .....	73
ตารางที่ ก.33 ผลการทดสอบยางผสมสูตร T458-S21 โดยเครื่องวัดสมบัติการไหล ของยางแบบจานสั้นที่อุณหภูมิต่างๆ .....	74
ตารางที่ ก.34 ค่า $1/T$ และ $\ln(\text{cure})$ ของสูตร T458-S21 .....	75
ตารางที่ ก.35 ค่า relative rate และค่าเวลาจากการคำนวณเทียบกับค่า $t_{90}$ จากการวัดโดยใช้อุณหภูมิอ้างอิง $150^{\circ}\text{C}$ .....	76
ตารางที่ ก.36 ค่า relative rate และค่าเวลาจากการคำนวณเทียบกับค่า $t_{90}$ จากการวัดโดยใช้อุณหภูมิอ้างอิง $160^{\circ}\text{C}$ .....	76
ตารางที่ ก.37 ผลการทดสอบยางผสมสูตร T458-S3 โดยเครื่องวัดสมบัติการไหล ของยางแบบจานสั้นที่อุณหภูมิต่างๆ .....	77
ตารางที่ ก.38 ค่า $1/T$ และ $\ln(\text{cure})$ ของสูตร T458-S3 .....	78

สารบัญตาราง(ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ ก.39	ค่า relative rate และค่าเวลาจากการคำนวณเทียบกับค่า $t_{90}$ จากการวัดโดยใช้อุณหภูมิอ้างอิง 150 ° C .....79
ตารางที่ ก.40	ค่า relative rate และค่าเวลาจากการคำนวณเทียบกับค่า $t_{90}$ จากการวัดโดยใช้อุณหภูมิอ้างอิง 160 ° C .....79
ตารางที่ ก.41	ผลการทดสอบยางผสมสูตร T458-S4 โดยเครื่องวัดสมบัติการไหล ของยางแบบจานสั้นที่อุณหภูมิต่างๆ .....80
ตารางที่ ก.42	ค่า $1/T$ และ $\ln(\text{cure})$ ของสูตร T458-S4 .....81
ตารางที่ ก.43	ค่า relative rate และค่าเวลาจากการคำนวณเทียบกับค่า $t_{90}$ จากการวัดโดยใช้อุณหภูมิอ้างอิง 150 ° C .....82
ตารางที่ ก.44	ค่า relative rate และค่าเวลาจากการคำนวณเทียบกับค่า $t_{90}$ จากการวัดโดยใช้อุณหภูมิอ้างอิง 160 ° C .....82
ตารางที่ ก.45	ผลการทดสอบยางผสมสูตร T458-S5 โดยเครื่องวัดสมบัติการไหล ของยางแบบจานสั้นที่อุณหภูมิต่างๆ .....83
ตารางที่ ก.46	ค่า $1/T$ และ $\ln(\text{cure})$ ของสูตร T458-S5 .....84
ตารางที่ ก.47	ค่า relative rate และค่าเวลาจากการคำนวณเทียบกับค่า $t_{90}$ จากการวัดโดยใช้อุณหภูมิอ้างอิง 150 ° C .....85
ตารางที่ ก.48	ค่า relative rate และค่าเวลาจากการคำนวณเทียบกับค่า $t_{90}$ จากการวัดโดยใช้อุณหภูมิอ้างอิง 160 ° C .....85
ตารางที่ ก.49	ผลการทดสอบยางผสมสูตร T458-R1 โดยเครื่องวัดสมบัติการไหล ของยางแบบจานสั้นที่อุณหภูมิต่างๆ .....86
ตารางที่ ก.50	ค่า $1/T$ และ $\ln(\text{cure})$ ของสูตร T458-R1 .....87
ตารางที่ ก.51	ค่า relative rate และค่าเวลาจากการคำนวณเทียบกับค่า $t_{90}$ จากการวัดโดยใช้อุณหภูมิอ้างอิง 150 ° C .....88
ตารางที่ ก.52	ค่า relative rate และค่าเวลาจากการคำนวณเทียบกับค่า $t_{90}$ จากการวัดโดยใช้อุณหภูมิอ้างอิง 160 ° C .....88

สารบัญตาราง(ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ ก.53 ผลการทดสอบยางผสมสูตร T458-R3 โดยเครื่องวัดสมบัติการไหล ของยางแบบจานสั้นที่อุณหภูมิต่างๆ .....	89
ตารางที่ ก.54 ค่า $1/T$ และ $\ln(\text{cure})$ ของสูตร T458-R3 .....	90
ตารางที่ ก.55 ค่า relative rate และค่าเวลาจากการคำนวณเทียบกับค่า $t_{90}$ จากการวัดโดยใช้อุณหภูมิอ้างอิง $150^{\circ}\text{C}$ .....	91
ตารางที่ ก.56 ค่า relative rate และค่าเวลาจากการคำนวณเทียบกับค่า $t_{90}$ จากการวัดโดยใช้อุณหภูมิอ้างอิง $160^{\circ}\text{C}$ .....	91

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1	การเชื่อมโยงระหว่างสารโม่เหลวของยาง ..... 9
รูปที่ 2.2	ลักษณะของการเชื่อมโยงโดยกำเนิด ..... 9
รูปที่ 2.3	อัตราการเกิดปฏิกิริยา จากการทดสอบด้วยเครื่อง curometer(เส้นทึบ) และ rheometer(เส้นประ) ..... 12
รูปที่ 2.4	ลักษณะของการบ่ม ..... 13
รูปที่ 2.5	แสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเทียบกับเวลา ในช่วงให้ความร้อนและ ลดความร้อนของยางขนาดใหญ่ ..... 18
รูปที่ 2.6	การเปรียบเทียบค่าสมมูลของการบ่ม ที่อุณหภูมิคงที่ ..... 19
รูปที่ 2.7	การเปรียบเทียบค่าสมมูลของการบ่ม ที่อุณหภูมิอ้างอิง และที่อุณหภูมิไม่คงที่ ..... 20
รูปที่ 3.1	เครื่องบราเบนเดอร์ ..... 22
รูปที่ 3.2	รูปแบบของกราฟการบ่ม ..... 23
รูปที่ 3.3	เครื่องวัดสมบัติการไหลของยางแบบจานสั้น ..... 27
รูปที่ 3.4	ลักษณะของเครื่องทดสอบในส่วนของห้องใส่ยางที่มีจานโลหะอยู่ภายใน ..... 28
รูปที่ 3.5	ชิ้นส่วนของห้องใส่ยางด้านบน ..... 28
รูปที่ 3.6	ชิ้นส่วนของห้องใส่ยางด้านล่าง ..... 29
รูปที่ 3.7	จานทดสอบ ..... 29
รูปที่ 4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า E กับปริมาณของสารเร่งปฏิกิริยา ..... 37
รูปที่ 4.2	ความสัมพันธ์ของค่า t <sub>90</sub> กับปริมาณสารเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่างๆ ..... 38
รูปที่ 4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า MH กับปริมาณสารเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่างๆ ..... 39
รูปที่ 4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า E กับปริมาณของสารเชื่อมโยง ..... 40
รูปที่ 4.5	ความสัมพันธ์ของค่า t <sub>90</sub> กับปริมาณสารเชื่อมโยงที่อุณหภูมิต่างๆ ..... 41
รูปที่ 4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า MH กับปริมาณสารเชื่อมโยงที่อุณหภูมิต่างๆ ..... 42
รูปที่ ก.1	กราฟผลการทดสอบยางผสมสูตร T458 ที่อุณหภูมิต่างๆ ..... 49
รูปที่ ก.2	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง 1/T กับ Ln(cure) ของสูตร T458 ..... 50
รูปที่ ก.3	กราฟผลการทดสอบยางผสมสูตร T458-2 ที่อุณหภูมิต่างๆ ..... 52

สารบัญภาพ(ต่อ)

หน้า

รูปที่ ก.4	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง 1/T กับ Ln(cure) ของสูตร T458-2 .....	53
รูปที่ ก.5	กราฟผลการทดสอบยางผสมสูตร T458-3 ที่อุณหภูมิต่างๆ .....	55
รูปที่ ก.6	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง 1/T กับ Ln(cure) ของสูตร T458-3 .....	56
รูปที่ ก.7	กราฟผลการทดสอบยางผสมสูตร T458-4 ที่อุณหภูมิต่างๆ .....	58
รูปที่ ก.8	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง 1/T กับ Ln(cure) ของสูตร T458-4 .....	59
รูปที่ ก.9	กราฟผลการทดสอบยางผสมสูตร T458-5 ที่อุณหภูมิต่างๆ .....	61
รูปที่ ก.10	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง 1/T กับ Ln(cure) ของสูตร T458-5 .....	62
รูปที่ ก.11	กราฟผลการทดสอบยางผสมสูตร T458-6 ที่อุณหภูมิต่างๆ .....	64
รูปที่ ก.12	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง 1/T กับ Ln(cure) ของสูตร T458-6 .....	65
รูปที่ ก.13	กราฟผลการทดสอบยางผสมสูตร T458-7 ที่อุณหภูมิต่างๆ .....	67
รูปที่ ก.14	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง 1/T กับ Ln(cure) ของสูตร T458-7 .....	68
รูปที่ ก.15	กราฟผลการทดสอบยางผสมสูตร T458-S1 ที่อุณหภูมิต่างๆ .....	70
รูปที่ ก.16	กราฟผลการทดสอบยางผสมสูตร T458-S2 ที่อุณหภูมิต่างๆ .....	71
รูปที่ ก.17	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง 1/T กับ Ln(cure) ของสูตร T458-S2 .....	72
รูปที่ ก.18	กราฟผลการทดสอบยางผสมสูตร T458-S21 ที่อุณหภูมิต่างๆ .....	74
รูปที่ ก.19	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง 1/T กับ Ln(cure) ของสูตร T458-S21.....	75
รูปที่ ก.20	กราฟผลการทดสอบยางผสมสูตร T458-S3 ที่อุณหภูมิต่างๆ .....	77
รูปที่ ก.21	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง 1/T กับ Ln(cure) ของสูตร T458-S3 .....	78
รูปที่ ก.22	กราฟผลการทดสอบยางผสมสูตร T458-S4 ที่อุณหภูมิต่างๆ .....	80
รูปที่ ก.23	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง 1/T กับ Ln(cure) ของสูตร T458-S4 .....	81
รูปที่ ก.24	กราฟผลการทดสอบยางผสมสูตร T458-S5 ที่อุณหภูมิต่างๆ .....	83
รูปที่ ก.25	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง 1/T กับ Ln(cure) ของสูตร T458-S5 .....	84
รูปที่ ก.26	กราฟผลการทดสอบยางผสมสูตร T458-R1 ที่อุณหภูมิต่างๆ .....	86
รูปที่ ก.27	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง 1/T กับ Ln(cure) ของสูตร T458-R1 .....	87

สารบัญภาพ(ต่อ)

หน้า

รูปที่ ก.28	กราฟผลการทดสอบยางผสมสูตร T458-R3 ที่อุณหภูมิต่างๆ .....	89
รูปที่ ก.29	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $1/T$ กับ $\ln(\text{cure})$ ของสูตร T458-R3 .....	90