

**ผลของสภาวะการผสมและระยะเวลาเก็บสารประกอบยาง
ต่อคุณสมบัติสารประกอบยางและผลิตภัณฑ์ที่ได้**



นางสาวลารัตน์ ลีลาประภากรณ์

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคณะหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-331-383-4

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**EFFECTS OF COMPOUNDING CONDITIONS AND STORAGE TIME OF
RUBBER COMPOUND ON THE PROPERTIES OF RESULTING RUBBER
COMPOUND AND VULCANIZATE**



Miss Larat Leelaprapaporn

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Chemical Engineering
Department of Chemical Engineering**

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 1998

ISBN 974-331-383-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ผลของสภาวะการผสมและระยะเวลาเก็บสารประกอบ
ข้างต่อคุณสมบัติสารประกอบข้างและผลิตภัณฑ์ที่ได้

โดย

นางสาวดารัตน์ ลีลาประภาภรณ์

ภาควิชา

วิศวกรรมเคมี

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ ดร. วรชัย แต้ไพสิฐพงษ์

ที่ปรึกษาร่วม

นายชำนาญ วิบุรพกรณ์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษิตตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ สุภวัฒน์ ชูติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



.....
(ศาสตราจารย์ ดร. วิวัฒน์ คั่นทะพานิชกุล)

ประธานกรรมการ



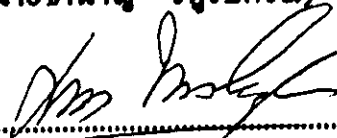
.....
(อาจารย์ ดร. วรชัย แต้ไพสิฐพงษ์)

อาจารย์ที่ปรึกษา



.....
(นายชำนาญ วิบุรพกรณ์)

ที่ปรึกษาร่วม



.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มด. สุภกนก ทองใหญ่)

กรรมการ

ถาวรค์ณ ลีลาประภากรณ : ผลของสภาวะการผสมและระยะเวลาเก็บสารประกอบยางค้อกุณสมบัติสารประกอบยางและผลลคกัณขัที่ได้ (EFFECTS OF COMPOUNDING CONDITIONS AND STORAGE TIME OF RUBBER COMPOUND ON THE PROPERTIES OF RESULTING RUBBER COMPOUND AND VULCANIZATE) อ. ที่ปรคิษา : อ. คร. วรคิญ ค้ตโศลลทรณ, ที่ปรคิษาารวม : นายขานาญ วุทรปรณ 206 หน้า. ISBN 974-331-383-4

งานวคิขณค้ได้ลคิษาผลของสภาวะการผสมสารประกอบยางในคร้องผสมระบบเปคิ (open mill mixer) และระยะเวลาเก็บสารประกอบยางภายหลังการผสมค้อนนาไปแปรรูปค้อกุณสมบัติของสารประกอบยางข้งได้ค้กัความหนคิณุนนค้เริ่มค้ัน (initial mooney viscosity) ความหนคิณุนนค้ค้ต่ำสุด (minimum mooney viscosity) ระยะเวลาค้อนเริ่มเกคิการเชื่อมโยงสายไซ้ (scorch time, T5) และระยะเวลาเมคิความหนคิณุนนค้เพิ่มจากค่าค้ต่ำสุด 35 หน่วย (T35) และค้อกุณสมบัติของผลลคกัณขัโพนยางรณคิทอข้งได้ค้กัอ้ตราการขยายค้ัวเมคิออกจากคิ (die swell) ขนาดความหนา (thickness) ขนาดเส้้นผ่าศูนย์กลางวงใน (inner diameter) อ้ตราการพองค้ัวภายหลังการอบค้ัวลมรคิอน (expansion) และความหนาแน่นภายหลังการอบค้ัวลมรคิอน (density) โดยใช้อุณหภูมิผสมที่ 76, 78, 80, 82 และ 84 °C และเก็บสารประกอบยางไว้ที่ระยะเวลา 0, 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 ช้ัวโมง

ผลการทดลองพบว้ที่ระยะเวลาเก็บสารประกอบยาง (storage time) หนคิง ๆ เมคิใช้อุณหภูมิผสมสารประกอบยาง (mixing temperature) ในคร้องผสมระบบเปคิสูงข้ัน จะทำคิความหนคิณุนนค้เริ่มค้ันและความหนคิณุนนค้ค้ต่ำสุดมคิค่าสูงข้ัน และจะทำคิให้ T5 และ T35 มคิค่าลดลง และที่อุณหภูมิผสมสารประกอบยางหนคิง ๆ เมคิเก็บสารประกอบยางไว้เปคินระยะเวลาหนคิงข้ัน จะทำคิความหนคิณุนนค้เริ่มค้ันและความหนคิณุนนค้ค้ต่ำสุดมคิค่าสูงข้ัน และจะทำคิให้ T5 และ T35 มคิค่าลดลง ค้แต่ข้ังไม่สามารถประเมินผลของอุณหภูมิผสมสารประกอบยางและผลของระยะเวลาเก็บสารประกอบยางภายหลังการผสมที่มคิค้อกุณสมบัติของโพนยางรณคิทอข้งได้

นอกจากนคิข้ยังพบว้เมคิความหนคิณุนนค้เริ่มค้ันของสารประกอบยางมคิค่าเพิ่มข้ัน มคิแนวโนมทำคิให้ขนาดความหนาและขนาดเส้้นผ่าศูนย์กลางวงในของโพนยางรณคิทอข้มคิค่าสูงข้ัน เมคิ T5 มคิค่าเพิ่มข้ัน มคิแนวโนมทำคิให้ขนาดความหนาและขนาดเส้้นผ่าศูนย์กลางวงในของโพนยางรณคิทอข้มคิค่าลดลง และจากการวคิเคราะห์แบบการถดถอยก้่าค้องนคิอยที่ลคิสุด (least square regression analysis method) พบว้ความถ้ัมพ้ันข้เหล่านี้มคิแนวโนมเปคินข้ิงเส้้นตรง

ภาควคิษา วคิศวกรรมคคิมิ
สาขาวิชา วคิศวกรรมคคิมิ
ปคิการลคิษา 2541

ลายมือช้ือนคิลคิ ลวคิตรี ลคิลาประภากรณ
ลายมือช้ืออาจารย้ที่ปรคิษา
ลายมือช้ืออาจารย้ที่ปรคิษาารวม

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

C817519 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD: RUBBER COMPOUNDING/CROSSLINK/RUBBER FOAM/VULCANIZATION

LARAT LEELAPRAPAPORN : EFFECTS OF COMPOUNDING CONDITIONS AND STORAGE TIME OF RUBBER COMPOUND ON THE PROPERTIES OF RESULTING RUBBER COMPOUND AND VULCANIZATE. THESIS ADVISOR : MR. VARUN TAEPAISITPHONGSE, Ph.D., CO. ADVISOR : MR. CHUMNAN VITTOORAPAKORN, B.Sc. (Polymer Science), 206 pp. ISBN 974-331-383-4.

The experimental study was conducted on the effects of compounding conditions in the open mill and storage time of resulting rubber compound before extrusion on the properties of resulting rubber compound, such as, initial mooney viscosity, minimum mooney viscosity, scorch time (T5) and T35, and on the properties of rubber foam product, such as, die swell, thickness, inner diameter, expansion, and density. The compounding were performed at 76, 78, 80, 82, and 84 °C and the resulting rubber compound were stored for 0, 2, 4, 6, 8, 10, and 12 hours.

The results showed that, at any storage time, when the mixing temperature in the open mill was increased, the initial and minimum mooney viscosities were increased, and the T5 and T35 were decreased. At any mixing temperature, when the storage time was longer, the initial and minimum mooney viscosity were increased, and the T5 and T35 were decreased. However, the effects of mixing temperature and storage time on the properties of rubber foam products could not be clearly evaluated from the experimental data.

Besides, it was found that when the value of initial mooney viscosity of the resulting rubber compound was higher, the thickness and inner diameter of rubber foam products had the tendency to increase. But when the value of T5 was higher, the thickness and inner diameter of rubber foam products had the tendency to decrease. The least square regression analysis method showed that the above relationships had the tendency to be linear.

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี

สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี

ปีการศึกษา..... 2541

ลายมือชื่อนิสิต..... ลาร์ลา เลลาปรำปำพร

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้เขียนได้รับความกรุณาอย่างยิ่งจาก อาจารย์ ดร. วรัญ ด้แต่ไพศิฐพงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านอาจารย์ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำแนวทางการวิจัย และให้ข้อคิดเห็นในการแก้ไขปัญหาค้าง ๆ ตลอดจนช่วยเหลือ และเพิ่มเติมวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จเป็นรูปเล่ม ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณท่าน อาจารย์เป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย ศ.ดร.วิวัฒน์ คัมพะพานิชกุล ประธานกรรมการ ศศ.ดร.มด.ศุภกนก ทองใหญ่ กรรมการ ซึ่งได้ให้ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ ทำให้วิทยานิพนธ์มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ คุณชานาญ วิฑูรปกรณ์ ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมและผู้ช่วย กรรมการผู้จัดการ บริษัท ตะวันออกโพลีเมอร์ อุตสาหกรรม จำกัด ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยทั้งหมด และขอขอบพระคุณ บริษัท ตะวันออกโพลีเมอร์ อุตสาหกรรม จำกัด ที่ได้เปิดโอกาสให้ผู้เขียนได้ศึกษาวิชาความรู้ที่เกี่ยวกับงานวิจัย และการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี ภาควิชา วิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอขอบคุณ คุณฉัตรชัย นาราช และคุณประเกียรติ ษรจันทร์ ทีมงานแผนก เทคนิคของบริษัท ตะวันออกโพลีเมอร์ อุตสาหกรรม จำกัด ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการเก็บรวบรวมข้อมูล อันส่งผลให้การวิจัยสำเร็จลุล่วงด้วยดี

สุดท้ายนี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ บิดา และ มารดา ที่ได้ส่งเสริม และสนับสนุนมาโดยตลอด ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวนามในที่นี้ ที่ได้ช่วยเหลือ และให้คำแนะนำในการทำวิจัยนี้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญภาพ.....	ฅ
สารบัญตาราง.....	ด
คำอธิบายสัญลักษณ์.....	บ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	7
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	7
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	8
บทที่ 2 คุณสมบัติและวิธีการผลิตโฟมยางชนิดท่อ	
2.1 คุณสมบัติทั่วไปโฟมยางชนิดท่อ.....	10
2.2 วิธีการผลิตโฟมยางชนิดท่อ.....	10
2.3 การทดสอบคุณสมบัติสารประกอบยาง.....	25
2.4 ผลของการเชื่อมโยงสายโซ่ระหว่างโมเลกุลต่อสมบัติทางกายภาพ ของยาง.....	31
บทที่ 3 การทดลอง	
3.1 วัตถุประสงค์.....	37
3.2 อุปกรณ์การทดลอง.....	43

	หน้า
3.3 การควบคุมภาวะการผสม.....	53
3.4 วิธีการทดลอง.....	55
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล	
4.1 ผลของอุณหภูมิผสมสารประกอบยางที่ 76 - 84 °C ด้วยเครื่องผสมระบบเปิดเมื่อเก็บสารประกอบยางที่ระยะเวลา 0 - 12 ชั่วโมงต่อคุณสมบัติของสารประกอบยางที่ได้.....	63
4.2 ผลของอุณหภูมิผสมสารประกอบยางที่ 76 - 84 °C ด้วยเครื่องผสมระบบเปิดเมื่อเก็บสารประกอบยางที่ระยะเวลา 2 - 12 ชั่วโมงต่อคุณสมบัติของโฟมยางชนิดท่อที่ได้.....	85
4.3 ผลของความหนืดมูนีเริ่มคั้นและระยะเวลาก่อนเริ่มเกิดการเชื่อมโยงสายโซ่ต่อคุณสมบัติโฟมยางชนิดท่อ.....	109
4.4 แนวทางการประยุกต์ใช้ผลการศึกษา.....	130
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 บทสรุป.....	132
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	134
รายการอ้างอิง.....	135
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ตารางผลการทดลอง.....	137
ภาคผนวก ข การคำนวณอัตราการขยายตัวของยางท่อเมื่อออกจากได (die swell).....	188
ภาคผนวก ก การคำนวณอัตราการพองตัวของโฟมยางชนิดท่อภายหลังการอบด้วยลมร้อน.....	190

	หน้า
ภาคผนวก ง การคำนวณความหนาแน่นของโฟมยางชนิดท่อภายหลัง การอบด้วยลมร้อน.....	193
ภาคผนวก จ สารตัวเติม (filler).....	195
ภาคผนวก ฉ สารพลาสติกไซเซอร์ (plasticizer).....	198
ภาคผนวก ช สารเชื่อมโยงสายโซ่ (vulcanization).....	200
ภาคผนวก ซ สารเร่ง (accelerator).....	204
ประวัติผู้เขียน.....	206



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
1.1	ลักษณะของ โฟมยางชนิดท่อ..... 2
1.2	ลักษณะของ โฟมยางชนิดแผ่น..... 2
1.3	ตัวอย่างการนำ โฟมยางชนิดแผ่น ไปใช้ในการลดการสั่นสะเทือนในระบบ ท่อลม..... 3
1.4	ตัวอย่างการนำ โฟมยางชนิดท่อและแผ่น ไปใช้เป็นฉนวนหุ้มท่อน้ำเย็น..... 4
1.5	ตัวอย่างการนำ โฟมยางชนิดท่อ ไปใช้หุ้มท่อน้ำยาฟรียอนของเครื่องทำ ความเย็นแบบแยกส่วน (split type air conditioner)..... 4
1.6	ขั้นตอนการผลิต โฟมยางชนิดท่อ..... 6
2.1	สูตรโครงสร้าง โคออลิเมอร์เอทิลีน - โพรพิลีน..... 11
2.2	สูตรโครงสร้าง โคลไรโคโลพีนอะโคอิน..... 11
2.3	สูตรโครงสร้าง เอทิลีนนอร์บอนีน..... 12
2.4	สูตรโครงสร้าง ทราน - 1,4 เฮกซะ โคอิน..... 12
2.5	ส่วนประกอบเครื่องผสม Banbury และลักษณะการทำงานของโรเตอร์.... 15
2.6	ส่วนประกอบของเครื่อง shaw intermix และลักษณะการทำงานของ โรเตอร์..... 17
2.7	ปฏิกิริยาการเชื่อม โยงสายโซ่ระหว่างโมเลกุลยาง..... 19
2.8	ลักษณะการเชื่อม โยงสายโซ่ด้วยกำมะถัน..... 19
2.9	เครื่องผสมระบบเปิด..... 22
2.10	ระบบน้ำหล่อเย็นในลูกกึ่ง..... 23
2.11	ภาพตัดเครื่องอัดรีดยางผ่าน โคลแบบอาศัยแรงอัดขางจากการหมุนของสกรู 24
2.12	ตำแหน่งงาน โรเตอร์ในห้องใส่ยางของเครื่องวัดความหนืดมูนนี่..... 26
2.13	ผลทดสอบความหนืดมูนนี่ของสารประกอบยางที่ไม่มีสารเชื่อม โยง สายโซ่..... 27

รูปที่	หน้า
2.14 ตัวอย่างผลทดสอบความหนืดมูนี้ของสารประกอบยางเมื่อมีสารเชื่อม โยงสายโซ่.....	27
2.15 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงยางจนขาดและระยะยืดยางจนขาดกับ ปริมาณการเชื่อมโยงสายโซ่.....	33
2.16 ความสัมพันธ์ระหว่าง resilience กับปริมาณการเชื่อมโยงสายโซ่.....	34
3.1 เครื่องผสมระบบปิดและส่วนควบคุมการผสมที่ใช้ในการทดลอง.....	44
3.2 เครื่องผสมระบบเปิดและส่วนควบคุมการทำงานที่ใช้ในการทดลอง.....	46
3.3 เครื่องอัดรีดยางผ่าน ใดที่ใช้ในการทดลอง.....	47
3.4 เครื่องวัดความหนืดมูนี้ที่ใช้ในการทดลอง.....	48
3.5 ส่วนประกอบส่วนใส่ตัวอย่างของเครื่องวัดความหนืดมูนี้.....	49
3.6 ส่วนประกอบส่วนควบคุมการทำงานเครื่องวัดความหนืดมูนี้.....	50
3.7 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรดที่ใช้ในการทดลอง.....	51
3.8 เวอร์เนียร์ คาลิเปอร์ที่ใช้ในการทดลอง.....	52
3.9 เครื่องชั่งที่ใช้ในการทดลอง.....	53
3.10 ขั้นตอนการผสมในเครื่องผสมระบบปิด.....	56
3.11 ขั้นตอนการผสมในเครื่องผสมระบบเปิด.....	58
3.12 การสุ่มตัดตัวอย่างสารประกอบยางเพื่อนำไปทดสอบความหนืดมูนี้.....	59
4.1 ผลของอุณหภูมิผสมสารประกอบยางที่ 76 - 84 ° C ที่ระยะเวลาเก็บ สารประกอบยาง 0 - 12 ชั่วโมงต่อความหนืดมูนี้เริ่มต้นของสาร ประกอบยาง.....	65
4.2 ผลของระยะเวลาเก็บสารประกอบยาง 0 - 12 ชั่วโมงจากการผสมสาร ประกอบยางที่อุณหภูมิ 76 - 84 ° C ต่อความหนืดมูนี้เริ่มต้นของสาร ประกอบยาง.....	67
4.3 ผลของอุณหภูมิผสมสารประกอบยางที่ 76 - 84 ° C ที่ระยะเวลาเก็บ สารประกอบยาง 0 - 12 ชั่วโมงต่อความหนืดมูนี้ต่ำสุดของสาร ประกอบยาง.....	70

รูปที่	หน้า	
4.4	ผลของระยะเวลาเก็บสารประกอบยาง 0 - 12 ชั่วโมงจากการผสมสารประกอบยางที่อุณหภูมิ 76 - 84 °C ต่อความหนืดมูนีต่ำสุดของสารประกอบยาง.....	72
4.5	ผลของอุณหภูมิผสมสารประกอบยางที่ 76 - 84 °C ที่ระยะเวลาเก็บสารประกอบยาง 0 - 12 ชั่วโมงต่อระยะเวลาก่อนเริ่มเกิดการเชื่อมโยงสายโซ่ของสารประกอบยาง.....	75
4.6	ผลของระยะเวลาเก็บสารประกอบยาง 0 - 12 ชั่วโมงจากการผสมสารประกอบยางที่อุณหภูมิ 76 - 84 °C ต่อระยะเวลาก่อนเริ่มเกิดการเชื่อมโยงสายโซ่ของสารประกอบยาง.....	77
4.7	ผลของอุณหภูมิผสมสารประกอบยางที่ 76 - 84 °C ที่ระยะเวลาเก็บสารประกอบยาง 0 - 12 ชั่วโมงต่อระยะเวลาเมื่อความหนืดมูนีเพิ่มจากค่าต่ำสุด 35 หน่วยของสารประกอบยาง.....	81
4.8	ผลของระยะเวลาเก็บสารประกอบยาง 0 - 12 ชั่วโมงจากการผสมสารประกอบยางที่อุณหภูมิ 76 - 84 °C ต่อระยะเวลาเมื่อความหนืดมูนีเพิ่มจากค่าต่ำสุด 35 หน่วยของสารประกอบยาง.....	83
4.9	ผลของอุณหภูมิผสมสารประกอบยางที่ 76 - 84 °C ที่ระยะเวลาเก็บสารประกอบยาง 2 - 12 ชั่วโมงต่ออัตราการขยายตัวของโฟมยางชนิดท่อเมื่อออกจากได.....	88
4.10	ผลของระยะเวลาเก็บสารประกอบยาง 2 - 12 ชั่วโมงจากการผสมสารประกอบยางที่อุณหภูมิ 76 - 84 °C ต่ออัตราการขยายตัวของโฟมยางชนิดท่อเมื่อออกจากได.....	89
4.11	ผลของอุณหภูมิผสมสารประกอบยางที่ 76 - 84 °C ที่ระยะเวลาเก็บสารประกอบยาง 2 - 12 ชั่วโมงต่อขนาดความหนาของโฟมยางชนิดท่อ.....	92

รูปที่	หน้า
4.12 ผลของระยะเวลาเก็บสารประกอบยาง 2 - 12 ชั่วโมงจากการผสมสารประกอบยางที่อุณหภูมิ 76 - 84 °C ต่อขนาดความหนาไฟมยางชนิดท่อ.....	93
4.13 ผลของอุณหภูมิผสมสารประกอบยางที่ 76 - 84 °C ที่ระยะเวลาเก็บสารประกอบยาง 2 - 12 ชั่วโมงต่อเส้นผ่าศูนย์กลางวงในของไฟมยางชนิดท่อ.....	96
4.14 ผลของระยะเวลาเก็บสารประกอบยาง 2 - 12 ชั่วโมงจากการผสมสารประกอบยางที่อุณหภูมิ 76 - 84 °C ต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางวงในของไฟมยางชนิดท่อ.....	97
4.15 ผลของอุณหภูมิผสมสารประกอบยางที่ 76 - 84 °C ที่ระยะเวลาเก็บสารประกอบยาง 2 - 12 ชั่วโมงต่ออัตราการพองตัวของไฟมยางชนิดท่อภายหลังการอบด้วยลมร้อน.....	101
4.16 ผลของระยะเวลาเก็บสารประกอบยาง 2 - 12 ชั่วโมงจากการผสมสารประกอบยางที่อุณหภูมิ 76 - 84 °C ต่ออัตราการพองตัวของไฟมยางชนิดท่อภายหลังการอบด้วยลมร้อน.....	102
4.17 ผลของอุณหภูมิผสมสารประกอบยางที่ 76 - 84 °C ที่ระยะเวลาเก็บสารประกอบยาง 2 - 12 ชั่วโมงต่อความหนาแน่นของไฟมยางชนิดท่อภายหลังการอบด้วยลมร้อน.....	106
4.18 ผลของระยะเวลาเก็บสารประกอบยาง 2 - 12 ชั่วโมงจากการผสมสารประกอบยางที่อุณหภูมิ 76 - 84 °C ต่อความหนาแน่นของไฟมยางชนิดท่อภายหลังการอบด้วยลมร้อน.....	107
4.19 ผลของความหนืดมูนนี่เริ่มต้นของสารประกอบยางต่ออัตราการขยายตัวของไฟมยางชนิดท่อเมื่อออกจากไค.....	112
4.20 ผลของระยะเวลาก่อนเริ่มเกิดการเชื่อมโยงสายโซ่ของสารประกอบยางต่ออัตราการขยายตัวของไฟมยางชนิดท่อเมื่อออกจากไค.....	113

รูปที่		หน้า
4.21	ผลของความหนืดมูนนี่เริ่มต้นของสารประกอบยางต่อขนาดความหนาของโฟมยางชนิดท่อ.....	116
4.22	ผลของระยะเวลาก่อนเริ่มเกิดการเชื่อม โยงสายโซ่ของสารประกอบยางต่อขนาดความหนาของโฟมยางชนิดท่อ.....	117
4.23	ผลของความหนืดมูนนี่เริ่มต้นของสารประกอบยางต่อเส้นผ่าศูนย์กลางวงในของโฟมยางชนิดท่อ.....	120
4.24	ผลของระยะเวลาก่อนเริ่มเกิดการเชื่อม โยงสายโซ่ของสารประกอบยางต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางวงในโฟมยางชนิดท่อ.....	121
4.25	ผลของความหนืดมูนนี่เริ่มต้นของสารประกอบยางต่ออัตราการพองตัวของโฟมยางชนิดท่อภายหลังการอบด้วยลมร้อน.....	124
4.26	ผลของระยะเวลาก่อนเริ่มเกิดการเชื่อม โยงสายโซ่ของสารประกอบยางต่ออัตราการพองตัวของโฟมยางชนิดท่อภายหลังการอบด้วยลมร้อน.....	125
4.27	ผลของความหนืดมูนนี่เริ่มต้นของสารประกอบยางต่อความหนาแน่นของโฟมยางชนิดท่อภายหลังการอบด้วยลมร้อน.....	128
4.28	ผลของระยะเวลาก่อนเริ่มเกิดการเชื่อม โยงสายโซ่ของสารประกอบยางต่อความหนาแน่นของโฟมยางชนิดท่อภายหลังการอบด้วยลมร้อน.....	129
ช.1	ปฏิกิริยาการเชื่อม โยงสายโซ่ระหว่าง โมเลกุลยาง.....	201
ช.2	ลักษณะการเชื่อม โยงสายโซ่ด้วยกำมะถัน.....	201

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
1.1	มูลค่าการส่งออกผลิตภัณฑ์อย่างช่วงปี พ.ศ. 2531 - 2537.....	1
2.1	พลังงานพันธะของชนิดพันธะเคมีที่เชื่อม โยงสายโซ่ระหว่างโมเลกุล.....	36
3.1	คุณสมบัติยางเอทิลีน - โพรพิลีน ไดอีน โมโนเมอร์.....	37
3.2	คุณสมบัติเขม่าดำ.....	38
3.3	คุณสมบัติแมกนีเซียมซิติเลด.....	38
3.4	คุณสมบัติสารผสมของอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนเรซิน.....	39
3.5	คุณสมบัติลูมินาไฮเดรท.....	40
3.6	คุณสมบัติแอนติโมนีไดรอกไซด์.....	40
3.7	คุณสมบัติคลอรีนเคเตคพาราฟิน.....	41
3.8	คุณสมบัติกำมะถัน.....	41
3.9	คุณสมบัติ 2 - ไคเบนโซโรอาซิลโคซัลไฟด์.....	42
3.10	คุณสมบัติซิงค์ออกไซด์.....	42
3.11	คุณสมบัติกรดเตียริก.....	43
3.12	คุณสมบัติอะโซไดคาร์โบนาไมด์.....	43
3.13	จำนวนการทดลองและภาวะการทดลอง.....	61
4.1	อัตราการเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยของค่าความหนืดมูนีเริ่มต้นของสารประกอบยาง เมื่ออุณหภูมิผสมสารประกอบยางเพิ่มจาก 76 °C ไปเป็น 84 °C ที่ระยะเวลาเก็บสารประกอบยางหนึ่ง ๆ.....	64
4.2	อัตราการเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยของค่าความหนืดมูนีเริ่มต้นของสารประกอบยาง เมื่อเก็บสารประกอบยางเป็นเวลา 0 - 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิผสมสารประกอบยางหนึ่ง ๆ.....	66

ตารางที่	หน้า
4.3	อัตราการเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยของค่าความหนืดมูนีต่ำสุดของสารประกอบยาง เมื่ออุณหภูมิผสมสารประกอบยางเพิ่มจาก 76 °C ไปเป็น 84 °C ที่ระยะเวลาเก็บสารประกอบยางหนึ่ง ๆ..... 69
4.4	อัตราการเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยของค่าความหนืดมูนีต่ำสุดของสารประกอบยาง เมื่อเก็บสารประกอบยางเป็นเวลา 0 - 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิผสมสารประกอบยางหนึ่ง ๆ..... 71
4.5	อัตราการลดลงโดยเฉลี่ยของระยะเวลาก่อนเริ่มเกิดการเชื่อมโยงสายโซ่ของสารประกอบยาง เมื่ออุณหภูมิผสมสารประกอบยางเพิ่มจาก 76 °C ไปเป็น 84 °C ที่ระยะเวลาเก็บสารประกอบยางหนึ่ง ๆ..... 74
4.6	อัตราการลดลงโดยเฉลี่ยของระยะเวลาก่อนเริ่มเกิดการเชื่อมโยงสายโซ่ของสารประกอบยาง เมื่อเก็บสารประกอบยางเป็นเวลา 0 - 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิผสมสารประกอบยางหนึ่ง ๆ..... 76
4.7	อัตราการลดลงโดยเฉลี่ยของระยะเวลาเมื่อความหนืดมูนีเพิ่มจากค่าต่ำสุด 35 หน่วยของสารประกอบยาง เมื่ออุณหภูมิผสมสารประกอบยางเพิ่มจาก 76 °C ไปเป็น 84 °C ที่ระยะเวลาเก็บสารประกอบยางหนึ่ง ๆ..... 80
4.8	อัตราการลดลงโดยเฉลี่ยของระยะเวลาเมื่อความหนืดมูนีเพิ่มจากค่าต่ำสุด 35 หน่วยของสารประกอบยาง เมื่อเก็บสารประกอบยางเป็นเวลา 0 - 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิผสมสารประกอบยางหนึ่ง ๆ 82
4.9	อัตราการเปลี่ยนแปลงโดยเฉลี่ยของอัตราการขยายตัวของโฟมยางชนิดท่อเมื่อออกจากไค เมื่ออุณหภูมิผสมสารประกอบยางเพิ่มจาก 76 °C ไปเป็น 84 °C ที่ระยะเวลาเก็บสารประกอบยางหนึ่ง ๆ 86
4.10	อัตราการเปลี่ยนแปลงโดยเฉลี่ยของอัตราการขยายตัวของโฟมยางชนิดท่อเมื่อออกจากไค เมื่อเก็บสารประกอบยางเป็นเวลา 0 - 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิผสมสารประกอบยางหนึ่ง ๆ..... 87

ตารางที่	หน้า
4.11	<p>อัตราการเปลี่ยนแปลงโดยเฉลี่ยของขนาดความหนาของโฟมยางชนิดท่อ เมื่ออุณหภูมิผสมสารประกอบยางเพิ่มจาก 76°C ไปเป็น 84°C ที่ระยะเวลาเก็บสารประกอบยางหนึ่ง ๆ 90</p>
4.12	<p>อัตราการเปลี่ยนแปลงโดยเฉลี่ยของขนาดความหนาของโฟมยางชนิดท่อ เมื่อเก็บสารประกอบยางเป็นเวลา 0 - 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิผสมสารประกอบยางหนึ่ง ๆ..... 91</p>
4.13	<p>อัตราการเปลี่ยนแปลงโดยเฉลี่ยของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางวงในของโฟมยางชนิดท่อ เมื่ออุณหภูมิผสมสารประกอบยางเพิ่มจาก 76°C ไปเป็น 84°C ที่ระยะเวลาเก็บสารประกอบยางหนึ่ง ๆ 94</p>
4.14	<p>อัตราการเปลี่ยนแปลงโดยเฉลี่ยของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางวงในของโฟมยางชนิดท่อ เมื่อเก็บสารประกอบยางเป็นเวลา 0 - 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิผสมสารประกอบยางหนึ่ง ๆ..... 95</p>
4.15	<p>อัตราการเปลี่ยนแปลงโดยเฉลี่ยของอัตราการพองตัวของโฟมยางชนิดท่อภายหลังการอบด้วยลมร้อน เมื่ออุณหภูมิผสมสารประกอบยางเพิ่มจาก 76°C ไปเป็น 84°C ที่ระยะเวลาเก็บสารประกอบยางหนึ่ง ๆ</p>
4.16	<p>อัตราการเปลี่ยนแปลงโดยเฉลี่ยของอัตราการพองตัวของโฟมยางชนิดท่อภายหลังการอบด้วยลมร้อน เมื่อเก็บสารประกอบยางเป็นเวลา 0 - 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิผสมสารประกอบยางหนึ่ง ๆ..... 99</p>
4.17	<p>อัตราการเปลี่ยนแปลงโดยเฉลี่ยของความหนาแน่นของโฟมยางชนิดท่อภายหลังการอบด้วยลมร้อน เมื่ออุณหภูมิผสมสารประกอบยางเพิ่มจาก 76°C ไปเป็น 84°C ที่ระยะเวลาเก็บสารประกอบยางหนึ่ง ๆ..... 100</p>
4.18	<p>อัตราการเปลี่ยนแปลงโดยเฉลี่ยของความหนาแน่นของโฟมยางชนิดท่อภายหลังการอบด้วยลมร้อน เมื่อเก็บสารประกอบยางเป็นเวลา 0 - 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิผสมสารประกอบยางหนึ่ง ๆ..... 104</p>

ตารางที่	หน้า	
4.19	พารามิเตอร์ของความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง ($y = ax + b$) จากการวิเคราะห์การถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด ระหว่างความหนืดมูนนี่เริ่มต้นและระยะเวลาก่อนเริ่มเกิดการเชื่อม โยงสายโซ่กับอัตราการขยายตัวของโฟมยางชนิดท่อเมื่อออกจากไค.....	114
4.20	พารามิเตอร์ของความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง ($y = ax + b$) จากการวิเคราะห์การถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด ระหว่างความหนืดมูนนี่เริ่มต้นและระยะเวลาก่อนเริ่มเกิดการเชื่อม โยงสายโซ่กับขนาดความหนาของโฟมยางชนิดท่อ.....	118
4.21	พารามิเตอร์ของความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง ($y = ax + b$) จากการวิเคราะห์การถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด ระหว่างความหนืดมูนนี่เริ่มต้นและระยะเวลาก่อนเริ่มเกิดการเชื่อม โยงสายโซ่กับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางวงในของโฟมยางชนิดท่อ.....	122
4.22	พารามิเตอร์ของความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง ($y = ax + b$) จากการวิเคราะห์การถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด ระหว่างความหนืดมูนนี่เริ่มต้นและระยะเวลาก่อนเริ่มเกิดการเชื่อม โยงสายโซ่กับอัตราการพองตัวของโฟมยางชนิดท่อภายหลังการอบด้วยลมร้อน.....	126
4.23	พารามิเตอร์ของความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง ($y = ax + b$) จากการวิเคราะห์การถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด ระหว่างความหนืดมูนนี่เริ่มต้นและระยะเวลาก่อนเริ่มเกิดการเชื่อม โยงสายโซ่กับความหนาแน่นของโฟมยางชนิดท่อภายหลังการอบด้วยลมร้อน.....	130

คำอธิบายสัญลักษณ์

A_C	พื้นที่หน้าตัดของชั้นทดสอบ
%DS	อัตราการขยายตัวของโคมยางชนิดท่อเมื่อออกจากโค
f	ค่าแรงที่ใช้ยึดยางออกที่ระยะความยาวที่กำหนด
I_1	เส้นผ่าศูนย์กลางกลางวงในหัวโค
I_2	เส้นผ่าศูนย์กลางกลางวงในยางท่อ
I_{21}	เส้นผ่าศูนย์กลางกลางวงในยางท่อเมื่อออกจากโคด้านหัว
I_{22}	เส้นผ่าศูนย์กลางกลางวงในยางท่อเมื่อออกจากโคด้านท้าย
I_3	เส้นผ่าศูนย์กลางกลางวงในยางท่อภายหลังการอบด้วยลมร้อน
I_{31}	เส้นผ่าศูนย์กลางกลางวงในยางท่อภายหลังการอบด้วยลมร้อนด้านหัว
I_{32}	เส้นผ่าศูนย์กลางกลางวงในยางท่อภายหลังการอบด้วยลมร้อนด้านท้าย
L_2	ความยาวยางท่อเมื่อออกจากโค
L_3	ความยาวยางท่อภายหลังการอบด้วยลมร้อน
M	น้ำหนักยางท่อภายหลังการอบด้วยลมร้อน
M_C	น้ำหนักโมเดกุลยางในบริเวณระหว่างจุดเชื่อม โยงโมเดกุล 2 จุด
O_1	เส้นผ่าศูนย์กลางกลางวงนอกโค
O_2	เส้นผ่าศูนย์กลางกลางวงนอกยางท่อ
O_3	เส้นผ่าศูนย์กลางกลางวงนอกยางท่อภายหลังการอบด้วยลมร้อน
P	ความหนาแน่นของยาง
R	ค่าคงที่ของก๊าซ
T_C	เวลาเกิดการเชื่อม โยงสายโซ่
T	อุณหภูมิสัมบูรณ์
T_{21}	ความหนาวยางท่อเมื่อออกจากโคด้านหัว
T_{22}	ความหนาวยางท่อเมื่อออกจากโคด้านท้าย
T_{31}	ความหนาวยางท่อภายหลังการอบด้วยลมร้อนด้านหัว
T_{32}	ความหนาวยางท่อภายหลังการอบด้วยลมร้อนด้านท้าย

T5	ระยะเวลาก่อนเริ่มเกิดการเชื่อมโยงสายโซ่
T35	ระยะเวลาเมื่อความหนืดมูนนี้เพิ่มจากค่าต่ำสุด 35 หน่วย
T Δ 30	ดัชนีการเชื่อมโยงสายโซ่
V _c	ปริมาตรยางที่คำนวณจากขนาดไต
V _d	ปริมาตรยางที่เมื่อออกจากไต
V _e	ปริมาตรยางที่ภายหลังการอบด้วยลมร้อน
W	elasticity
X	ระยะยืดยางออกใน 3 ทิศทาง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย