

การดัดแปรพอลิเมอร์ผสมพีวีซีกับยางไนไตรล์โดยใช้ยางธรรมชาติ ยางสไตรีน- บิวทาไดอีน
และยางพอลิบิวทาไดอีน



นายเอกรัช พุฒิตตวงศ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

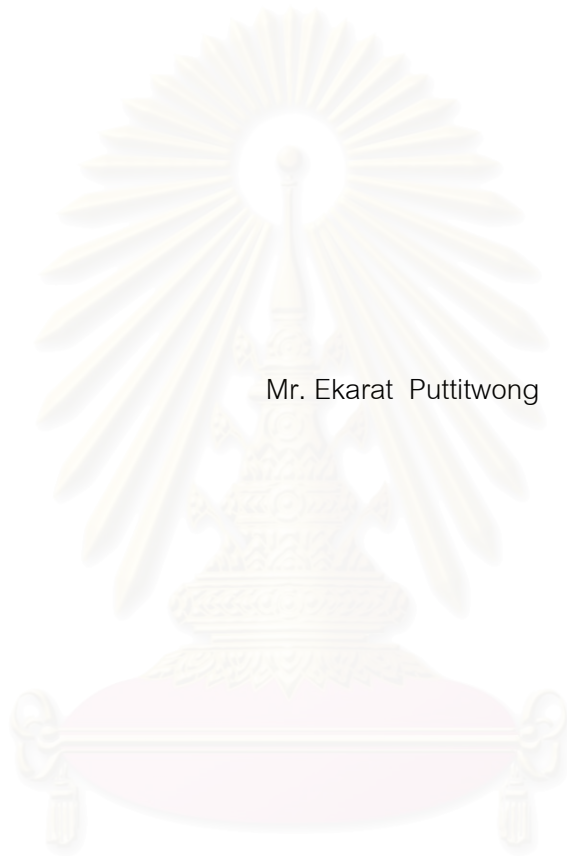
สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-13-0137-5

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MODIFICATION OF POLY(VINYL CHLORIDE) / NITRILE RUBBER BLEND
USING NATURAL RUBBER, STYRENE - BUTADIENE RUBBER
AND POLYBUTADIENE RUBBER



Mr. Ekarat Puttitwong

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Chemical Technology
Department of Chemical Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2000

ISBN 974-13-0137-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การดัดแปรพอลิเมอร์ผสมพีวีซีกับยางไนไตรล์โดยใช้ยางธรรมชาติ
	ยางสไตรีน-บิวทาไดอีน และยางพอลิบิวทาไดอีน
โดย	นายเอกวิทย์ พุฒฑิตวงศ์
สาขาวิชา	เคมีเทคนิค
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศาสตราจารย์ ดร.ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	นางวราภรณ์ ขจรไชยกูล

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย โปธิพิจิตร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ชูชาติ บาวมี)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ศาสตราจารย์ ดร.ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(นางวราภรณ์ ขจรไชยกูล)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.เพ็ญพรรณ หัตถศกร)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ งามประเสริฐสิทธิ์)

เอกรัช พุฒพิทวงศ์: การดัดแปรพอลิเมอร์ผสมพีวีซีกับยางไนไตรล์โดยใช้ยางธรรมชาติ ยาง
สไตรีน-บิวทาไดอีน และยางพอลิบิวทาไดอีน (MODIFICATION OF POLY(VINYL
CHLORIDE) / NITRILE RUBBER BLEND USING NATURAL RUBBER , STYRENE -
BUTADIENE RUBBER AND POLYBUTADIENE RUBBER) อ. ที่ปรึกษา : ศาสตราจารย์
ดร.ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ, อ.ที่ปรึกษาร่วม : นางวราภรณ์ ขจรไชยกูล จำนวนหน้า
121 หน้า. ISBN 974-13-0137-5.

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ที่ 20/80, 30/70 และ 40/60 โดย
ใช้ยางธรรมชาติ ยางสไตรีน-บิวทาไดอีน และยางพอลิบิวทาไดอีน ทดแทนยางไนไตรล์บางส่วนที่ 10,
20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักพอลิเมอร์ผสมทั้งหมด โดยศึกษาสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ สมบัติ
การยืดยง ความต้านทานต่อการสึกหรอ การกระดอน การยุบตัว ความแข็ง การบ่มเร่งด้วยความร้อน
และสมบัติทางเคมี

จากการศึกษาพบว่า พีวีซีมีผลต่อสมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์ผสมทั้งสมบัติก่อนการคง
รูป ได้แก่ ความหนืดมูนิเพิ่มขึ้นและเวลาวัลคาไนซ์เพิ่มขึ้น แต่เวลาเริ่มวัลคาไนซ์เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย
ส่วนสมบัติหลังการคงรูป ได้แก่ ความทนแรงดึง โมดูลัส ความทนทานต่อการฉีกขาด ความต้านทาน
ต่อการสึกหรอมีค่าเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์การยุบตัวที่ 100 องศาเซลเซียส เวลา 22 ชั่วโมงลดลง แต่สมบัติ
ด้านการกระดอน ระยะยืดเมื่อขาด มีค่าลดลง ส่วนสมบัติทางกายภาพพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไน
ไตรล์ ที่อัตราส่วนของพีวีซีและยางไนไตรล์ คือ 20:80 , 30:70 และ 40:60 พบว่าการเติมยางธรรมชาติ
ที่ 10 , 20 เปอร์เซ็นต์ , ยางสไตรีน-บิวทาไดอีน และยางพอลิบิวทาไดอีนที่ 10 , 20 , 30 เปอร์เซ็นต์ ให้
ผลสมบัติต่างๆ ที่ดีขึ้น แต่ค่าความต้านทานต่อการสึกหรอ และความต้านทานต่อน้ำมันมีค่าลดลงเมื่อ
เพิ่มยางธรรมชาติ ยางสไตรีน-บิวทาไดอีน และยางพอลิบิวทาไดอีน(20-30%) และพอลิเมอร์ผสมพีวี
ซีและยางไนไตรล์ ที่อัตราส่วนของพีวีซีและยางไนไตรล์ ที่ 20:80 โดยเติมยางธรรมชาติ 10 เปอร์เซ็นต์
ที่อัตราส่วนของพีวีซีและยางไนไตรล์ ที่ 30:70 โดยเติมยางธรรมชาติ 10 เปอร์เซ็นต์ และยางสไตรีน-
บิวทาไดอีน 10, 20 เปอร์เซ็นต์ และที่อัตราส่วนของพีวีซีและยางไนไตรล์ที่ 40:60 โดยเติมยางสไตรีน-
บิวทาไดอีน 10 เปอร์เซ็นต์ ให้สมบัติทางกายภาพที่ดีขึ้นและต้นทุนการผลิตลดลง โดยเปรียบเทียบกับ
พอลิเมอร์พีวีซีและยางไนไตรล์ ที่อัตราส่วนของพีวีซีและยางไนไตรล์ที่ 30:70

ภาควิชา เคมีเทคนิค
สาขาวิชา เคมีเทคนิค
ปีการศึกษา 2543

ลายมือชื่อนิสิต.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4172553823 : MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY

KEY WORD: Nitrile rubber / Poly(vinyl chloride) / Natural rubber / Styrene-butadiene rubber / Polybutadiene rubber

EKARAT PUTTITWONG : MODIFICATION OF POLY(VINYL CHLORIDE) / NITRILE RUBBER BLEND USING NATURAL RUBBER , STYRENE - BUTADIENE RUBBER AND POLYBUTADIENE RUBBER. THESIS ADVISOR : PATTARAPAN PRASASSARAKICH Ph.D., THESIS COADVISOR : VARAPORN KAJORNCHAIYAKUL, 121 pp. ISBN 974-13-0137-5.

Natural rubber, styrene-butadiene rubber and polybutadiene rubber were used to replace part of the butadiene-acrylonitrile rubber in 20/80, 30/70 and 40/60 poly(vinyl chloride) / butadiene-acrylonitrile rubber blend. Such replacement of 10, 20 and 30 % of total weight of the blend was used in this work. The effect of blend composition on tensile properties, abrasion resistance, resilience, compression set, hardness, heat aging and chemical properties were investigated.

PVC affect the physical properties both unvulcanisate and vulcanisate. Increasing PVC content increased mooney viscosity and 90% cure time increased but scorch time did not changed. The physical properties, tensile strength, modulus, tear strength, oil resistance, hardness ,compression set and abrasion resistance of unaging as well as considerable improved by addition of the PVC. But resilience and %elongation at break decreased. Physical properties of the blend of PVC and butadiene-acrylonitrile rubber at ratio of (PVC:NBR) 20:80, 30:70 and 40:60 using natural rubber at 10 , 20 percent or styrene-butadiene rubber or butadiene rubber at 10 , 20 , 30 percent were improved but abrasion resistance and oil resistance decreased with increased natural rubber, styrene-butadiene rubber and polybutadiene rubber content(20 , 30%). The blend of PVC and butadiene-acrylonitrile rubber at ratio of (PVC:NBR) 20:80 using natural rubber at 10 % , at ratio of (PVC:NBR) 30:70 using natural rubber at 10 % and styrene-butadiene rubber at 10, 20 % and at ratio of (PVC:NBR) 40:60 using styrene-butadiene rubber at 10% gave good physical properties and the lower price compared to blend of PVC and butadiene-acrylonitrile rubber at ratio of (PVC:NBR) 30:70.

Department Chemical Technology
Field of study Chemical Technology
Academic year 2000

Student's signature.....
Advisor's signature.....
Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องมาจากความเมตตา กรุณาของ ศาสตราจารย์ ดร. ภัทรพรณ ประศาสน์สารกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาเสียสละ เวลาให้ทั้ง คำปรึกษา ความรู้ และข้อคิดเห็นต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ตลอดระยะเวลาของการทำวิทยานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์วราภรณ์ ขจรไชยกูล อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ได้กรุณาให้ความรู้และข้อแนะนำต่างๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ชูชาติ บารมี ประธานกรรมการสอบ อาจารย์ ดร.เพียรพรรค ทศคร และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ งามประเสริฐสิทธิ์ ที่ได้กรุณาให้ข้อคิดเห็น และข้อเสนอแนะสำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณ สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่เครื่องมือที่ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ผู้ให้กำเนิด ซึ่งเป็นที่ยึดมั่นเคารพบูชาตลอดมา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ณ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ยางไนไตรล์.....	4
2.2 ยางธรรมชาติ.....	7
2.3 ยางสไตรีน-บิวทาไดอีน.....	10
2.4 ยางพอลิบิวทาไดอีน.....	13
2.5 สารตัวเติมสำหรับยาง.....	15
2.6 พอลิไวนิลคลอไรด์.....	25
2.7 กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ยาง.....	32
2.8 การทดสอบการแปรรูปและการคงรูป.....	37
2.9 งานวิจัยในอดีต.....	41
3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	44
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	44
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	44
3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ.....	45
3.4 สูตรพอลิเมอร์ผสมที่ใช้ในงานวิจัย.....	45
3.5 ขั้นตอนการบดผสมพอลิเมอร์ผสม.....	47
3.6 การทดสอบการคงรูปและการเตรียมชิ้นทดสอบของพอลิเมอร์ผสม.....	52

สารบัญ (ต่อ)

๗

บทที่	หน้า
3.7 การทดสอบสมบัติของพอลิเมอร์ผสมที่ผ่านการคงรูป.....	43
4. ผลการทดลอง.....	56
4.1 ความหนืดมูนิ.....	56
4.2 เวลาเริ่มวัลคาไนซ์ และเวลาวัลคาไนซ์.....	59
4.3 ความทนแรงดึง ระยะยืดเมื่อขาด และโมดูลัส.....	64
4.4 ความทนการฉีกขาด.....	76
4.5 ความต้านทานการสึกหรอ.....	80
4.6 การกระดอน.....	83
4.7 การยุบตัว.....	86
4.8 ความต้านทานต่อน้ำมัน.....	88
4.9 ความแข็ง.....	91
4.10 สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม.....	94
4.11 การเปรียบเทียบสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพีวีซีกับยางไนไตรล์ และพอลิเมอร์ผสมระหว่างพีวีซีกับยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่างๆ กับมาตรฐานท่อสำหรับผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม.....	97
4.12 เปรียบเทียบต้นทุนการผลิตของพอลิเมอร์ผสม.....	101
5. สรุปผลการทดลอง.....	104
ข้อเสนอแนะ.....	105
รายการอ้างอิง.....	106
ภาคผนวก.....	108
ภาคผนวก ก สมบัติของยางและพีวีซีที่ใช้ในการทดลอง.....	109
ภาคผนวก ข การทดสอบสมบัติทางกายภาพของยางคงรูป.....	111
ภาคผนวก ค ความถ่วงจำเพาะของพอลิเมอร์ผสม.....	116
ภาคผนวก ง กราฟการคงรูปของพอลิเมอร์ผสม.....	117
ประวัติผู้เขียน.....	121

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
3.1 สูตรสารเคมีสำหรับยาง.....	46
3.2 สูตรสารคงสภาพสำหรับพีวีซี.....	46
3.3 สูตรพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์.....	46
3.4 สูตรพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์และยางธรรมชาติ.....	46
3.5 สูตรพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์และยางสไตรีน-บิวทาไดอีน.....	47
3.6 สูตรพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์และยางพอลิบิวทาไดอีน.....	47
3.7 การทดสอบความต้านทานต่อการสึกหรอบแบบ Akron.....	53
4.1 ความเหนียวของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์.....	57
4.2 ความเหนียวของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่างๆ.....	57
4.3 เวลาเริ่มวัลคาไนซ์ของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์.....	60
4.4 เวลาเริ่มวัลคาไนซ์ของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่างๆ.....	60
4.5 เวลาวัลคาไนซ์ของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์.....	61
4.6 เวลาวัลคาไนซ์ของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่างๆ.....	61
4.7 ความทนแรงดึงก่อนและหลังอบบ่มเร่งของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์.....	65
4.8 ความทนแรงดึงก่อนและหลังอบบ่มเร่งของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่างๆ	66
4.9 ระยะเวลาเมื่อขาดก่อนและหลังอบบ่มเร่งของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์.....	69
4.10 ระยะเวลาเมื่อขาดก่อนและหลังอบบ่มเร่งของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่างๆ.....	70
4.11 โมดูลัส 100% ก่อนและหลังอบบ่มเร่งของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์.....	73
4.12 โมดูลัส 300% ก่อนและหลังอบบ่มเร่งของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์.....	73
4.13 โมดูลัส 100% ก่อนและหลังอบบ่มเร่งของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่างๆ.....	74
4.14 โมดูลัส 300% ก่อนและหลังอบบ่มเร่งของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่างๆ.....	74
4.15 ความทนการฉีกขาดก่อนและหลังอบบ่มเร่งของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์.....	77
4.16 ความทนการฉีกขาดก่อนและหลังอบบ่มเร่งของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่างๆ.....	78

สารบัญตาราง (ต่อ)

ญ

ตาราง	หน้า
4.17 ความต้านทานการสึกหรอของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์.....	81
4.18 ความต้านทานการสึกหรอของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยาง ชนิดต่างๆ.....	81
4.19 การกระดอนของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์.....	84
4.20 การกระดอนของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่างๆ.....	84
4.21 การยุบตัวของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์.....	87
4.22 การยุบตัวของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่างๆ.....	87
4.23 ความต้านทานต่อน้ำมันของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์.....	89
4.24 ความต้านทานต่อน้ำมันของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิด ต่างๆ.....	89
4.25 ความแข็งก่อนและหลังอบบ่มแรงของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์	92
4.26 ความแข็งก่อนและหลังอบบ่มแรงของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดย เติมยางชนิดต่างๆ	92
4.27 เปรียบเทียบสมบัติของพอลิเมอร์ผสมของพีวีซีและยางไนไตรล์ และพอลิเมอร์ผสม ของพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่างๆ กับมาตรฐานท่ออย่างสำหรับผลิต ภัณฑ์ปีโตรเลียม และ ASTM 2000 ที่พีวีซี 20 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักพอลิเมอร์ผสม ทั้งหมด.....	98
4.28 เปรียบเทียบสมบัติของพอลิเมอร์ผสมของพีวีซีและยางไนไตรล์ และพอลิเมอร์ผสม ของพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่างๆ กับมาตรฐานท่ออย่างสำหรับผลิต ภัณฑ์ปีโตรเลียม และ ASTM 2000 ที่พีวีซี 30 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักพอลิเมอร์ผสม ทั้งหมด.....	99
4.29 เปรียบเทียบสมบัติของพอลิเมอร์ผสมของพีวีซีและยางไนไตรล์ และพอลิเมอร์ผสม ของพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่างๆ กับมาตรฐานท่ออย่างสำหรับผลิต ภัณฑ์ปีโตรเลียม และ ASTM 2000 ที่พีวีซี 40 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักพอลิเมอร์ผสม ทั้งหมด.....	100
4.30 ราคาสารเคมีต่างๆ.....	101
4.31 ราคาต่อน้ำหนักของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์.....	102
4.32 ราคาต่อน้ำหนักของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่างๆ.....	102

สารบัญตาราง (ต่อ)

๘

ตาราง	หน้า
4.33	เปรียบเทียบสมบัติและราคาของพอลิเมอรัสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่างๆ ที่ผ่านมาตรฐานท่ออย่างสำหรับผลิตภัณฑ์ปีโตรเลียม.....103
ก.1	สมบัติของยางไนไตรล์ (DN 207) ตาม Nipol NBR (Medium High Nitrile Rubber).....109
ก.2	สมบัติของยางธรรมชาติ (ตามวิธีการทดสอบยางแท่ง เอส ที อาร์).....109
ก.3	สมบัติของยางพอลิบิวทาไดอิน (ตาม Quality Report BR 01).....109
ก.4	สมบัติของยางสไตรีนบิวทาไดอิน (ตาม Quality Report SBR 1502).....110
ก.5	สมบัติของพีวีซี TPC SG 640.....110
ค.1	ความถ่วงจำเพาะของพอลิเมอรัสม.....116
ง.1	ข้อมูลของกราฟการคงรูปของพอลิเมอรัสมพีวีซีและยางไนไตรล์.....117
ง.2	ข้อมูลของกราฟการคงรูปของพอลิเมอรัสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางธรรมชาติ.....118
ง.3	ข้อมูลของกราฟการคงรูปของพอลิเมอรัสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางสไตรีน-บิวทาไดอิน.....119
ง.4	ข้อมูลของกราฟการคงรูปของพอลิเมอรัสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางพอลิบิวทาไดอิน.....120

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
2.1 โครงสร้างของยางบิวทาไดอีน.....	11
2.2 ลักษณะโครงสร้างแบบต่อตรงของยางพอลิบิวทาไดอีน.....	13
2.3 การเชื่อมโยงโมเลกุลของยางด้วยกำมะถัน.....	17
2.4 อิทธิพลของปริมาณกำมะถันต่อความต้านทานแรงดึงและการยืดออกจนขาด.....	18
2.5 สมบัติที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อปริมาณของการเชื่อมโยงเพิ่มขึ้น.....	18
2.6 โครงสร้างของกำมะถัน rhombic.....	20
2.7 อิทธิพลของสารเร่งชนิดต่างๆ ที่ใช้ในการคงรูปยาง.....	23
2.8 กระบวนการผลิตพีวีซีเรซิน.....	26
2.9 กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์พีวีซี.....	27
2.10 ส่วนประกอบภายในของเครื่อง Banbury mixer.....	32
2.11 เครื่องบดผสมแบบสองลูกกิ้ง.....	33
2.12 ผลการบดยาง 30 นาที ในสภาพบรรยากาศปกติที่อุณหภูมิต่าง ๆ ต่อค่าความหนืดมูนิซของยาง (เริ่มแรกเท่ากับ 80 Mooney Unit).....	35
2.13 ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องอัดไฮโดรลิก.....	36
2.14 โรเตอร์และช่องใส่ยางของเครื่อง Mooney viscometer.....	37
2.15 Oscillating disk rheometer.....	39
2.16 ลักษณะกราฟที่ได้จากเครื่อง ODR.....	40
2.17 ลักษณะของกราฟการคงรูปแบบต่างๆ.....	40
3.1 ขั้นตอนผสมพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์.....	49
3.2 ขั้นตอนการทดลองสำหรับสูตรที่ 1 – 7.....	50
3.3 ขั้นตอนการทดลองสำหรับสูตรที่ 8 – 34.....	51
4.1 ความหนืดมูนิซของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์.....	58
4.2 ความหนืดมูนิซของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่างๆ.....	58
4.3 เวลาเริ่มวัดคาบไซค์ของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์.....	62
4.4 เวลาเริ่มวัดคาบไซค์ของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่างๆ.....	62
4.5 เวลาวัดคาบไซค์ของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์.....	63
4.6 เวลาวัดคาบไซค์ของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่างๆ.....	63
4.7 ความทนแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ ก่อนและหลังอบบ่มแรง.....	67

ภาพประกอบ	หน้า
4.8 ความทนแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่างๆ ก่อนอบบ่มแรง.....	67
4.9 ระยะเวลาเมื่อขาดของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ ก่อนและหลังอบบ่มแรง.....	71
4.10 ระยะเวลาเมื่อขาดของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่างๆ ก่อนอบบ่มแรง.....	71
4.11 โมดูลัส 100 และ 300% ของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ ก่อนและหลัง อบบ่มแรง.....	75
4.12 โมดูลัส 100% ของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่างๆ ก่อนอบบ่มแรง.....	75
4.13 โมดูลัส 300% ของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่างๆ ก่อนอบบ่มแรง.....	76
4.14 ความทนการฉีกขาดของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ ก่อนและหลังอบบ่ม แรง.....	79
4.15 ความทนการฉีกขาดของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่างๆ ก่อนอบบ่มแรง.....	79
4.16 ความต้านทานการสึกกร่อนของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์.....	82
4.17 ความต้านทานการสึกกร่อนของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยาง ชนิดต่างๆ.....	82
4.18 การกระดอนของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์.....	85
4.19 การกระดอนของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่างๆ.....	85
4.20 การยุบตัวของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์.....	87
4.21 การยุบตัวของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่างๆ.....	88
4.22 ความต้านทานต่อน้ำมันของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์.....	90
4.23 ความต้านทานต่อน้ำมันของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยาง ชนิดต่างๆ.....	90
4.24 ความแข็งของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ ก่อนและหลังอบบ่มแรง.....	93
4.25 ความแข็งของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่างๆ ก่อนอบ บ่มแรง.....	93

ภาพประกอบ	หน้า
4.26	พื้นฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ กำลังขยาย 5000 เท่า.....95
4.27	พื้นฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ (PVC:NBR) ที่ 30:70 กำลังขยาย 5000 เท่า.....96
ข.1	ขั้นตอนทดสอบหาความต้านทานต่อการฉีกขาดแบบต่างๆ.....110
ข.2	เครื่องทดสอบการกระดอน.....111
ข.3	เครื่องทดสอบการคืนตัวโดย method B.....112
ง.1	กราฟการคงรูปของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์.....117
ง.2	กราฟการคงรูปของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางธรรมชาติ.....118
ง.3	กราฟการคงรูปของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยาง สไตรีน-บิวทาไดอีน.....119
ง.4	กราฟการคงรูปของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยาง พอลิบิวทาไดอีน.....120

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การผลิตพอลิเมอร์ผสมของยางและพลาสติก [1] ได้ถูกนำมาใช้ในเชิงการค้าในรูปของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ (Thermoplastic Elastomer , TPE) พบว่าเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ มีข้อดีมากกว่าการผสมยางกับยาง ซึ่งได้แก่ ข้อดีที่สามารถใช้เครื่องจักรที่ใช้กับเทอร์โมพลาสติกโดยไม่ต้องมีวัลคาไนเซชัน (vulcanisation) และมีเศษของเสียน้อย เพราะสามารถนำเศษที่เสียนำกลับมาใช้ได้

พอลิเมอร์ผสมของยางและพลาสติกที่มีปริมาณของยางมาก เป็นพอลิเมอร์ผสมที่นิ่ม และมีสมบัติไปในทางยาง สมบัติเชิงกลและทางกลไของพอลิเมอร์ ไม่เพียงแต่ขึ้นกับองค์ประกอบของพอลิเมอร์ แต่ยังขึ้นกับโครงสร้างของพอลิเมอร์ผสมด้วย ซึ่งโครงสร้างของพอลิเมอร์ผสมขึ้นอยู่กับสัดส่วนของพอลิเมอร์แต่ละชนิด สัดส่วนความหนืดและสัดส่วนความยืดหยุ่นของแต่ละพอลิเมอร์ แรงดึงผิวระหว่างพอลิเมอร์ทั้งสอง ภาวะในกระบวนการแปรรูป เช่น ลักษณะการไหลของพอลิเมอร์ขณะแปรรูป

การศึกษาสมบัติของยางไนไตรล์ ซึ่งยางไนไตรล์เป็นยางใช้งานเฉพาะอย่าง [2,3,4] โดยเฉพาะด้านการทนน้ำมัน ทนต่อตัวทำละลาย เชื้อเพลิงและจาระบี โดยงานส่วนใหญ่ของยางไนไตรล์ใช้เป็นอุปกรณ์ในเครื่องยนต์ เครื่องจักร เครื่องพิมพ์ และอุตสาหกรรมอาหาร ซึ่งอยู่ในรูปของซีล ปะเก็น ยางท่อ ลูกกลิ้ง เป็นต้น ยางไนไตรล์ที่ผสมพีวีซีในช่วงร้อยละ 30 – 50 ให้ยางที่มีสมบัติทนต่อไฮดรอกซีดีมาก แปรรูปได้ดี ความต้านทานการสึกหรอต่ำ เหมาะแก่การใช้งานในการทำเปลือกสายเคเบิล ยางท่อน้ำมันกันไฟ และฉนวนพองน้ำกันความร้อน การผสมยางไนไตรล์กับพีวีซี สามารถผสมเข้ากันได้ เนื่องจากยางไนไตรล์และพีวีซีมีลักษณะทางเคมีเป็นโมเลกุลไม่มีขั้ว แต่ไม่สามารถผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันกับยางที่มีลักษณะทางเคมีเป็นโมเลกุลไม่มีขั้วได้ เช่น ยางธรรมชาติ , ยางสไตรีน-บิวทาไดอีน และยางพอลิบิวทาไดอีน ซึ่งยางเหล่านี้มีสมบัติเด่นทางด้านความต้านทานแรงดึง ความต้านทานการสึกหรอ การกระดอน และมีราคาถูกกว่ายางไนไตรล์

สำหรับงานวิจัยนี้ เป็นการดัดแปรพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์โดยใช้ยางธรรมชาติ หรือ ยางสไตรีน-บิวทาไดอีน หรือ ยางพอลิบิวทาไดอีน ทดแทนยางไนไตรล์บางส่วน เพื่อให้ได้

สมบัติทางกายภาพ (สมบัติยืดหยุ่น , ความต้านทานต่อการสึกหรอ , การกระดอน , การคืนตัว , ความแข็ง และการบ่มเร่งด้วยความร้อน) และสมบัติทางเคมีที่ดีขึ้น ขณะที่ยังคงต้นทุนการผลิตลดลง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อหาสูตรผสมที่เหมาะสมในการตัดแปรรพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยใช้ยางธรรมชาติ หรือยางสไตรีน-บิวทาไดอีน หรือยางพอลิบิวทาไดอีน ทดแทนยางไนไตรล์บางส่วน
2. ศึกษาสมบัติกายภาพของพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. เตรียมพีวีซีคอมเปาวด์จากพีวีซีเรซิน และ Stabilizers สำหรับพีวีซี ได้แก่ ซิงค์ออกไซด์ กรดสเตียริก และแมกนีเซียมออกไซด์
2. นำยางไนไตรล์ , ยางธรรมชาติ , ยางสไตรีน-บิวทาไดอีน , ยางพอลิบิวทาไดอีน และพีวีซีคอมเปาวด์ และสารอื่น ๆ ดังต่อไปนี้ มาผสมที่อัตราส่วนต่าง ๆ
 - สารกระตุ้น (Activator) คือ ซิงค์ออกไซด์ และ กรดสเตียริก
 - สารตัวเร่ง (Accelerator) คือ : N-cyclohexyl-2-benzothiazyl sulphenamide (CBS) และ Tetramethyl thiuramdisulphide (TMTD)
 - สารทำให้ยางคงรูป คือ ซัลเฟอร์
3. ผลิตเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ของยางกับพีวีซี ที่ปัจจัยต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ ที่มีต่อสมบัติเชิงกล
 - ปริมาณของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ ในสัดส่วนต่าง ๆ กันดังนี้
PVC / NBR : 0/100 , 10/90 , 20/80 , 30/70 , 40/60 , 50/50 และ 60/40 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักพอลิเมอร์ผสมทั้งหมด
 - ปริมาณของยางธรรมชาติ ทดแทนยางไนไตรล์บางส่วน ในพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ ที่ 10 , 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์
 - ปริมาณของยางสไตรีน-บิวทาไดอีน ทดแทนยางไนไตรล์บางส่วน ในพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ ที่ 10 , 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์
 - ปริมาณของยางพอลิบิวทาไดอีน ทดแทนยางไนไตรล์บางส่วนในพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ ที่ 10 , 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์

- ทดสอบสมบัติ Unvulcanised Compound ได้แก่ Mooney viscosity , การคงรูปของยางโดยใช้เครื่อง Rheometer
4. ทดสอบสมบัติกายภาพของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ ดังนี้
- ความทนทานแรงดึง
 - ความต้านทานต่อการสึกหรอ
 - ความทนการฉีกขาด
 - ความแข็ง
 - การกระดอน
 - การยุบตัว
 - การบ่มเร่งด้วยความร้อน
5. ทดสอบสมบัติทางเคมี
- ความต้านทานต่อน้ำมัน
6. สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม
- Scanning Electron Microscopy (SEM)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้สูตรและเทคนิคในการดัดแปรพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์โดยใช้ยางธรรมชาติ ยางสไตรีน-บิวทาไดอีน และ ยางพอลิบิวทาไดอีน ทดแทนยางไนไตรล์บางส่วน สามารถทำให้ต้นทุนของพอลิเมอร์ผสมลดลง และได้สมบัติทางกายภาพดีขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ยางไนไตรล์ (Acrylonitrile Butadiene Rubber, NBR) [2,5,6,7]

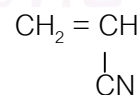
ยางไนไตรล์ นับเป็นยางใช้งานเฉพาะอย่าง เพื่อวัตถุประสงค์หลัก โดยเฉพาะด้านการทนน้ำมัน ทนต่อตัวทำละลาย เชื้อเพลิงและจารบี ยางไนไตรล์เป็นยางที่สามารถใช้เทคโนโลยีตามแบบยางทั่วไป หลังจากการค้นพบวิธีการโคพอลิเมอร์ไรเซชันของสไตรีนและบิวทาไดอีน ในปี พ.ศ. 2472 ทำให้สามารถเตรียมโคพอลิเมอร์ ระหว่างอะคริโลไนไตรล์และบิวทาไดอีนได้สำเร็จในห้องปฏิบัติการในปี พ.ศ. 2473 หลังจากนั้น จึงได้ผลิตทางการค้าออกสู่ตลาดในชื่อของ Buna N โดยบริษัท ไบเออร์ ในปี พ.ศ. 2483 และใช้ชื่อนี้มาจนกระทั่งปัจจุบัน

ปัจจุบัน ปริมาณการใช้ยางไนไตรล์ประมาณ 2 แสนตันต่อปี โดยมีผู้ผลิตมากกว่า 30 บริษัท ในชื่อทางการค้าต่าง ๆ กัน เช่น Perbunan (Bayer), Europrene N (Unichem), Hycar (Goodrich), Chemigum (Goodyear), Nipol (Nippon Zeon), Krynac (Polycar), Paracril (Uniroyal Chemical), และ Breon (Aceto Chemical) เป็นต้น ยางไนไตรล์เป็นวัสดุหลักที่ใช้งานในกรณีที่ต้องการให้ทนต่อน้ำมัน ดังนั้น งานส่วนใหญ่ของยางไนไตรล์ จะใช้เป็นอุปกรณ์ในเครื่องยนต์ เครื่องจักร เครื่องพิมพ์ และ อุตสาหกรรมอาหาร ในรูปของซีล ปะเก็น ยางท่อ ลูกกอล์ฟ และ ยางบุเบรค (brake lining) เป็นต้น

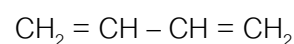
2.1.1 โครงสร้างทางเคมีและสมบัติ

ยางไนไตรล์ เป็น โคพอลิเมอร์ระหว่าง อะคริโลไนไตรล์มอโนเมอร์ กับ บิวทาไดอีนมอโนเมอร์

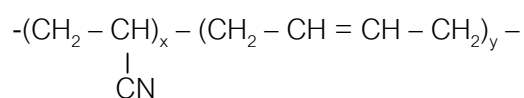
มอโนเมอร์อะคริโลไนไตรล์ (ACN) มีโครงสร้างเป็น



และมอโนเมอร์บิวทาไดอีน (BU) มีโครงสร้างเป็น



มอนอเมอร์ทั้งสองมาทำพอลิเมอร์ร่วมกันแบบอิมัลชัน ได้พอลิเมอร์ที่จัดตัวแบบไม่เป็นระเบียบ (random) มีสูตรทั่วไปดังนี้



ยางอะคริโลไนไตรล์บิวทาไดอีน มีชื่อเรียกอย่างย่อว่า ยางไนไตรล์ และตัวย่อตาม ASTM ใช้เป็น NBR

จากโครงสร้างนี้ทางเคมีของยางไนไตรล์ พบว่าสมบัติของยางไนไตรล์เป็นดังนี้

ก) มีพันธะคู่อยู่ในโมเลกุล

- ทำให้ยางไนไตรล์สามารถวัลคาไนซ์ได้ด้วยกำมะถัน
- ทำให้ยางถูกออกซิไดซ์และทำปฏิกิริยากับโอโซนได้ง่าย

ข) มีอะคริโลไนไตรล์ในโมเลกุล

- ทำให้เป็นยางที่มีขั้ว จึงทนต่อน้ำมันที่ไม่มีขั้ว เช่น น้ำมันปิโตรเลียม เป็นต้น แต่ไม่ทนต่อของเหลวที่มีขั้ว เช่น อะซีโตน และ อีทิลแอลกอฮอล์ เป็นต้น
- ทำให้สามารถเข้ากันได้กับ พีวีซี
- ทำให้ความสามารถในการหักงอที่อุณหภูมิต่ำ ไม่ค่อยดี (ถ้าไม่มีพลาสติกไซเซอร์)

สมบัติของยางไนไตรล์ ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

ก. ปริมาณของอะคริโลไนไตรล์ของยาง

ข. น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย

2.1.2 ปริมาณของอะคริโลไนไตรล์ในยาง

เมื่อปริมาณของอะคริโลไนไตรล์เพิ่มขึ้น จะทำให้ยางวัลคาไนซ์มีสมบัติดังนี้

- ความต้านทานต่อน้ำมันปิโตรเลียม และ น้ำมันเชื้อเพลิง เพิ่มขึ้น
- การหักงอที่อุณหภูมิต่ำลดลง
- การกระเด็งตัวคืนกลับลดลง
- การจัดตัวจากแรงอัดลดลง
- การซึมผ่านของก๊าซลดลง
- ความทนทานต่อความร้อนดีขึ้น
- ความทนทานต่อโอโซนดีขึ้น

- ความต้านทานต่อการสึกหรอดีขึ้น
- ความต้านทานต่อแรงดึงเพิ่มขึ้น
- ความแข็งเพิ่มขึ้น
- ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น

โดย ๆ ทั่วไป ยางไนไตรด์ที่มีอะคริโลไนไตรด์สูง หรือ ค่อนข้างสูง ใช้งานที่ต้องการความต้านทานต่อน้ำมันไฮโดรคาร์บอน ที่มีปริมาณอะโรมาติกสูง เช่น น้ำมันอะโรมาติกและน้ำมันเชื้อเพลิง ส่วนยางที่มีอะคริโลไนไตรด์ปานกลางใช้งานที่ต้องการความต้านทานต่อน้ำมันที่มีปริมาณอะโรมาติกต่ำ สำหรับยางที่มีปริมาณอะคริโลไนไตรด์ต่ำและต่ำมากใช้ในงานที่ไม่เน้นความทนทานต่อน้ำมันมากกว่า ความสามารถในการหักงอที่อุณหภูมิต่ำ หรือใช้กับน้ำมันประเภทพาราฟิน

2.1.3 การจัดเกรดยางไนไตรด์

ยางไนไตรด์มีหลายร้อยเกรด เนื่องจากการผลิตต่าง ๆ กันออกไป เช่น

- มีการแปรสัดส่วนระหว่างอะคริโลไนไตรด์กับบิวทาไดอีน ทำให้ได้ยางที่มีความทนน้ำมันต่าง ๆ กัน
- มีการผลิตแบบอิมัลชันเช่นเดียวกับยางสไตรีน-บิวทาไดอีน ทำให้ได้ยางไนไตรด์แบบร้อน และ แบบเย็น
- มีการผสมกับพอลิเมอร์อื่น เช่น พีวีซี เป็นต้น เพื่อให้ได้ยางที่แปรรูปได้ดีขึ้น และทนทานต่อโอโซน
- มีการเติมพลาสติกไซเซออร์ (เช่น DOP) ในปริมาณมาก เข้าไปในโมเลกุล ทำนองเดียวกับ oil-extended rubber เพื่อลดต้นทุนและเพื่อผสมกับพีวีซีได้ง่าย
- มีการเติม carboxylated monomer เข้าไป ทำให้ยางมีลักษณะพิเศษในการวัลคาไนซ์ และความทนทานต่อการสึกหรอ
- มีการเติมอนุมูลอิสระไดไวนิลเบนซีน (divinyl benzene) ลงไป ได้เป็นแบบยางที่มีการเชื่อมโยง (crosslink rubber) เพื่อยางสามารถมีการแปรรูปได้ง่าย เป็นต้น
- มีการเติมไฮโดรเจนเข้าไปในโมเลกุล ทำให้ยางมีสมบัติด้านทนความร้อน และ โอโซนดีขึ้น

นอกจากนั้น มีการแบ่งเกรดย่อยออกไปตามขนาดความหนืดของยาง (ตามขนาดโมเลกุล) อีกด้วย

2.1.4 สมบัติการแปรรูปยางไนไตรล์

การแปรรูปยางไนไตรล์ สามารถทำได้ง่ายเช่นเดียวกับยางทั่ว ๆ ไป แต่ยางไนไตรล์ไม่นิ่มลงเมื่ออบ ดังนั้นจึงควรเริ่มต้นโดยการเลือกยางที่มีความนิ่มที่เหมาะสมในการแปรรูปหรือไม่ก็ใช้สารพลาสติกไซเซอร์ทำให้นิ่มลง

ยางที่นิ่ม (ความหนืดต่ำ) สามารถใส่สารตัวเติมและพลาสติกไซเซอร์ได้ง่าย เกิดความร้อนสะสมต่ำในการผสม และอาจทำให้อัตราความเร็วในการเอกซทูดเพิ่มขึ้นด้วย ส่วนยางที่มีความหนืดสูง เมื่อทำให้นิ่มลงโดยใช้พลาสติกไซเซอร์ในปริมาณมาก จะได้ยางที่นิ่มและมีความแข็งแรงสูง การผสมเพื่อให้ได้การกระจายของสารเคมีที่ดี ควรใช้อุณหภูมิการผสมอยู่ในช่วงระหว่าง 60 – 100 °C และมีความชื้นสูง การออกสูตรยางมักออกสูตรให้ใช้ปริมาณสารตัวเติมและพลาสติกไซเซอร์สูงเป็นสัดส่วนกัน ซึ่งทำให้มีการเกิด die swell ต่ำเมื่อเอกซทูด และไหลได้ง่ายในการอัดเบ้า

ปัญหาบางประการของยางไนไตรล์ที่อาจเกิดขึ้น ได้แก่

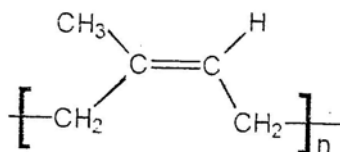
ก. กำมะถันไม่ค่อยกระจายในยางไนไตรล์ ทำให้ได้ค่าโมดูลัส และความแข็งแรงต่ำ ปัญหานี้แก้ได้โดยใช้ MC sulphur ซึ่งเป็นกำมะถันเคลือบด้วยแมกนีเซียมคาร์บอเนต (กำมะถัน 97.5 แมกนีเซียมคาร์บอเนต = 2.5) หรือใส่กำมะถันไปในตอนเริ่มต้นของการผสม ส่วนสารตัวเร่งให้ใส่หลังสุด

ข. การติดกันระหว่างชั้นยางหรือชั้นยางกับผ้าไม่ดี เนื่องจากยางไนไตรล์มีความสามารถในการติดกัน (building tack) ต่ำมาก แต่สามารถปรับปรุงได้โดยการใช้แทคคิไฟเออร์ เช่น คิวมาโรนอินดีนเรซิน (Coumarone indene resin) และใช้ตัวทำละลายเซ็ดผิวยางก่อนนำมาประกบติดกัน

2.2 ยางธรรมชาติ (Natural Rubber) [2]

2.2.1 โครงสร้างทางเคมีและสมบัติ

ยางธรรมชาติเป็นสารพอลิเมอร์ ที่มีน้ำหนักโมเลกุล (Mn) สูง เฉลี่ยประมาณสองแสนถึงห้าแสน มีการกระจายน้ำหนักโมเลกุลกว้าง ยางธรรมชาติมีสูตรโมเลกุลเป็น cis-1,4-polyisoprene



โดยที่ n มีค่าตั้งแต่ 5,000 จนถึงประมาณ 15,000

ยางธรรมชาติมีความถ่วงจำเพาะ 0.934 ที่ $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อถูกยืดหรือเย็นตัวลง มีดรรชนีหักเหของแสงเท่ากับ 1.5215 – 1.5238 ที่ $20\text{ }^{\circ}\text{C}$

โครงสร้างหลักที่มีผลกระทบต่อสมบัติของยางคือ

- ก. ประกอบด้วยคาร์บอนและไฮโดรเจนล้วน ทำให้ยางธรรมชาติมีสมบัติไม่ทนน้ำมัน ปิโตรเลียมหรือน้ำมันพืช แต่เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี
- ข. พันธะคู่ที่ว่องไวในปฏิกิริยา ทำให้สามารถวัลคาไนซ์ได้ด้วยการกำมะถัน และทำให้ยางทำปฏิกิริยาได้ง่ายด้วยออกซิเจน และ โอโซน ซึ่งเป็นสาเหตุของการเสื่อมของยาง ทำให้การออกสูตรยางธรรมชาติ จำเป็นต้องมีสารกันเสื่อม (Antioxidant) และสารต้านโอโซน (Antizonant) ร่วมด้วย
- ค. สายโซ่ที่เคลื่อนไหวหักงอไปมาได้ง่าย ทำให้ยางธรรมชาติคงสภาพยืดหยุ่นได้ดี อาจสามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิต่ำมาก ยางธรรมชาติมีค่า $T_g = -72\text{ }^{\circ}\text{C}$ ซึ่งต่ำกว่ายางสังเคราะห์อื่น ๆ ยกเว้นยางบิวทาไดอีนและยางซิลิโคนเท่านั้น
- ง. ความสม่ำเสมอในโครงสร้างโมเลกุล ทำให้ยางธรรมชาติสามารถตกผลึกได้เมื่อยืด ทำให้มีความต้านทานแรงดึงสูงมาก และทำให้มีค่า “green strength” สูง และ “tack” ดี
- จ. น้ำหนักโมเลกุลสูง ทำให้ยางแข็งเกินไปที่จะนำไปแปรรูปโดยตรง จะต้องนำยางไปบด เพื่อให้ได้โมเลกุลเล็กลง ก่อนนำไปใช้งาน

2.2.2 สมบัติยางธรรมชาติ

2.2.2.1 การแปรรูป

การบดและการผสมสารเคมี ยางธรรมชาติมีน้ำหนักโมเลกุลสูงและความเหนียวของยางธรรมชาติเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น ดังนั้นยางธรรมชาติจำเป็นต้องมีการบดยางก่อนที่จะผสมสารเคมีอื่น ๆ เข้าไป ซึ่งสิ่งนี้เป็นข้อที่เสียเปรียบเมื่อเทียบกับยางสังเคราะห์ที่สามารถผสมสารเคมีลงไปได้โดยไม่ต้องบดยางเสียก่อน

2.2.2.2 สมบัติของยางวัลคาไนซ์

ก) ความแข็ง ยางธรรมชาติสามารถวัลคาไนซ์ให้มีความแข็งต่าง ๆ กันได้มาก ตั้งแต่นิ่มมาก (เช่น 30-50 IRHD) ไปจนถึงความแข็งของอีโบนต์ (98+ IRHD) การปรับความแข็งของยางทำได้โดยการปรับเปลี่ยนปริมาณของสารตัวเติม หรือโดยการเปลี่ยนปริมาณกำมะถันในช่วงของการใช้กำมะถันปริมาณ 10-20 phr จะให้ยางที่มีความแข็งคล้ายหนัง (leather like) สำหรับงานกระเบื้องยางปูพื้นและยางลูกกอล์ฟ แต่จะมีความแข็งแรงต่ำและเสื่อมสภาพได้ง่าย

ข) ความทนทานแรงดึง ยางธรรมชาติมีโครงสร้างโมเลกุลที่สม่ำเสมอ ทำให้สามารถตกผลึกได้เมื่อดึง ดังนั้นจึงทำให้ยางธรรมชาติมีความทนทานต่อแรงดึงสูง และความต้านทานต่อการฉีกขาดสูง

ค) ความสามารถในการยืด ยางธรรมชาติที่ไม่ใส่สารตัวเติม จะสามารถยืดได้ถึงประมาณ 1000 % หรือมากกว่านั้น ความสามารถในการยืดของยางธรรมชาติจะลดลงตามปริมาณของสารตัวเติมที่เพิ่มขึ้น และตามปริมาณของพันธะวัลคาไนซ์ สมบัติในการยืดได้สูงนี้ทำให้ยางธรรมชาติสามารถใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความยืดสูง

ง) ความต้านทานต่อการฉีกขาด ยางธรรมชาติมีความสามารถในการตกผลึกได้ดี ทำให้มีความต้านทานต่อการฉีกขาดสูงกว่ายางสังเคราะห์อื่น ๆ

จ) ความสามารถในการกระเด็งตัวและ Hysteresis loss ยางธรรมชาติมีความกระเด็งตัวสูงกว่ายางอื่น ๆ ยกเว้นยางบิวทาไดอีน เท่านั้น ความกระเด็งตัวของยางธรรมชาติสูงถึงประมาณร้อยละ 70 เมื่อไม่มีสารตัวเติมอยู่ด้วย ความกระเด็งลดลงตามปริมาณสารตัวเติมที่เพิ่มขึ้น ความกระเด็งตัวของยางธรรมชาติ แสดงให้เห็นว่า ยางธรรมชาติไม่สะสมพลังงานไว้ในตัวมันเมื่อได้รับแรงกระทำ ทำให้ความร้อนสะสมในยางธรรมชาติน้อยกว่ายางอื่น ๆ ดังนั้นจึงเหมาะสมในการใช้ทำดอกยางรถบรรทุก ซึ่งมีความหนามาก การถ่ายเทความร้อนยาก ซึ่งต้องเลือกใช้อย่างที่สะสมความร้อนต่ำแบบยางธรรมชาติเท่านั้น

ฉ) ความทนทานต่อการเสื่อมสภาพ พันธะคู่ที่ว่องไวในปฏิกิริยาซึ่งทำให้เกิดการวัลคาไนซ์ได้อย่างรวดเร็วเมื่อใช้กำมะถันเป็นตัววัลคาไนซ์นั้นเป็นจุดอ่อนที่ทำให้ถูกโจมตีได้ง่ายด้วยออกซิเจนและโอโซนโดยทั่วไป ยางธรรมชาติไม่เหมาะกับงานหลายชนิดที่ต้องการความต้านทานต่อการเสื่อมโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่อุณหภูมิสูงและมีโอโซนอยู่ด้วย

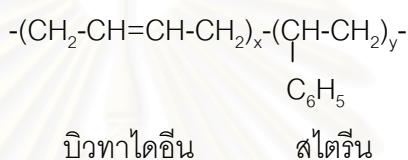
ช) ความทนทานต่อความร้อน การใช้งานของยางธรรมชาติค่อนข้างจำกัดในสภาวะที่รุนแรงที่มีผลต่ออายุการเสื่อมของยาง ยางธรรมชาติไม่เหมาะกับการใช้งานที่อุณหภูมิสูงถึง 70 °C เป็นระยะเวลานาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าเป็นยางบาง ซึ่งมีพื้นที่สัมผัสกับบรรยากาศเป็นบริเวณ

กว้างและไม่ใช้ในกรณีที่ต้องยืดยางในบรรยากาศที่มีโอโซนอยู่ด้วย แอนติออกซิแดนท์และแอนติโอโซนแนนท์ (รวมทั้งซีฟี่) จะใช้เป็นสารช่วยป้องกันยางธรรมชาติต่อการเสื่อม

2.3 ยางสไตรีน-บิวทาไดอีน (Styrene-Butadiene Rubber) [2,7]

2.3.1 โครงสร้างทางเคมี

ยางสไตรีน-บิวทาไดอีนเป็นโคพอลิเมอร์ของสไตรีนและบิวทาไดอีนมอนอเมอร์สองชนิดนี้มาเชื่อมต่อกัน มีสูตรโครงสร้างดังนี้

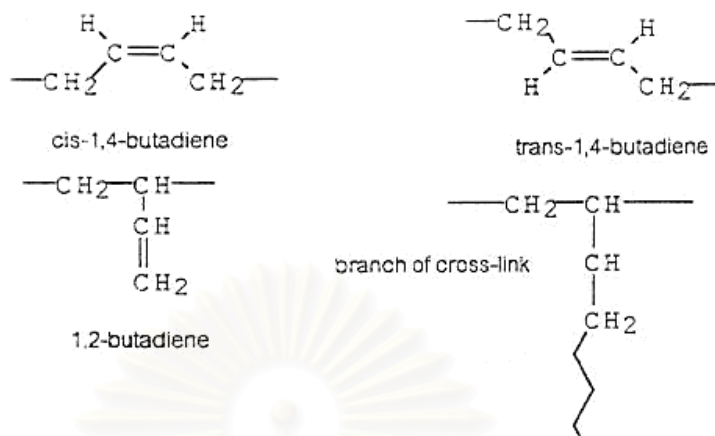


ยางสไตรีน-บิวทาไดอีนเป็นยางที่สังเคราะห์ขึ้น การสังเคราะห์โดยสูตรที่ต่างกัน และสภาวะที่ต่างกัน ทำให้เกิดเป็นพอลิเมอร์ต่าง ๆ หลายชนิด และมีสมบัติที่แตกต่างกัน ซึ่งสมบัติที่แตกต่างกันนั้น ขึ้นกับ

1. สัดส่วนของ บิวทาไดอีน ต่อ สไตรีน
2. น้ำหนักโมเลกุลและการกระจายของโมเลกุล
3. ลำดับการจัดตัวของมอนอเมอร์ในสายโซ่
4. โครงสร้างไมโคร (Microstructure)
5. ส่วนที่ไม่ใช่ยาง

ในการพอลิเมอร์ไรซ์ของบิวทาไดอีน ในยางสไตรีน-บิวทาไดอีน ส่วนของบิวทาไดอีนสามารถพอลิเมอร์ไรซ์ให้โครงสร้างทางโมเลกุลเป็นแบบ

- ก. 1,4 cis-butadiene
- ข. 1,4 trans-butadiene
- ค. 1,2 butadiene
- ง. การเกิด กิ่งก้าน (branch) และ cross-link



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของยางบิวทาไดอีน [7]

2.3.2 ชนิดของยางสไตรีน-บิวทาไดอีน

1. ยางสไตรีน-บิวทาไดอีนแบบ(อิมัลชัน)ร้อน
2. ยางสไตรีน-บิวทาไดอีนแบบ(อิมัลชัน)เย็น
3. ยางสไตรีน-บิวทาไดอีนแบบโซลูชัน
4. ยางสไตรีน-บิวทาไดอีนแบบ oil extended
5. ยางสไตรีน-บิวทาไดอีนแบบผสมเขม่าดำ
6. ยางสไตรีน-บิวทาไดอีนแบบมีพันธะเชื่อมโยง (crosslink SBR)
7. ยางสไตรีน-บิวทาไดอีนแบบมีสไตรีนสูง
8. ยางสไตรีน-บิวทาไดอีนแบบเทอร์โมพลาสติก

2.3.4 สมบัติยางสไตรีน-บิวทาไดอีนขณะไม่วัลคาไนซ์

2.3.4.1 การเก็บยางสไตรีน-บิวทาไดอีน

การเตรียมยางสไตรีน-บิวทาไดอีน มีการใส่แอนติออกซิแดนท์เข้าไปในระหว่างการผลิต เมื่อเก็บยางสไตรีน-บิวทาไดอีนไว้ พบว่าค่าความหนืดของยางสไตรีน-บิวทาไดอีนไม่เปลี่ยนแปลง ถึงแม้ว่าจะเก็บยางไว้ในสภาวะปกติ นานถึง 5 ปี ก็ตาม

2.3.4.2 การแปรรูป

ยางสไตรีน-บิวทาไดอีนเป็นยางที่สังเคราะห์ขึ้น สามารถควบคุมขนาดของโมเลกุลได้จึงทำให้ได้ยางที่มีความหนืดตามต้องการที่จะใช้ ดังนั้นยางสไตรีน-บิวทาไดอีนสามารถนำมาใช้งานได้โดยไม่ต้องมีการบดยางก่อนที่จะนำมาผสมสารเคมีเหมือนกับยางธรรมชาติ การบดยางสไตรีน-บิวทาไดอีน ไม่ทำให้ยางนิ่มลงไปเหมือนยางธรรมชาติ ทำให้ยางสไตรีน-บิวทาไดอีนคอมเปานด์สามารถควบคุมความหนืดได้ดี และไม่มีปัญหาของยางนิ่มเกินไป ถ้าต้องการให้ยางนิ่มพิเศษจะต้องใส่สารพลาสติกไซเซอร์ใส่เข้าไป ยางสไตรีน-บิวทาไดอีนพันลูกกลิ้งได้ไม่ดีเหมือนกับยางธรรมชาติ โดยที่ยางสไตรีน-บิวทาไดอีนมักจะห้อยย้อยจากลูกกลิ้ง จึงมักผสมยางสไตรีน-บิวทาไดอีนในเครื่องผสมแบบปิด แต่ถ้าผสมในเครื่องผสมสองลูกกลิ้ง ควรตั้งอุณหภูมิ 50 °C ยางสไตรีน-บิวทาไดอีนใช้พลังงานในการผสมยางสูงกว่ายางธรรมชาติ และให้ความร้อนมากกว่า

2.3.5 สมบัติยางสไตรีน-บิวทาไดอีนที่วัลคาไนซ์

ยางสไตรีน-บิวทาไดอีน ประกอบด้วยสไตรีนร้อยละ 23 และมีการจัดตัวของหน่วยมอโนเมอร์ในสายโซ่แบบไม่มีระเบียบ ไม่ว่าจะเตรียมโดยวิธีอิมัลชัน หรือ วิธีโซลูชันก็ตาม ดังนั้นทำให้โมเลกุลไม่สามารถตกผลึกได้เมื่อตั้ง ทำให้ยางไม่แข็งแรงจึงต้องใช้สารตัวเติมที่เสริมประสิทธิภาพ ยางสไตรีน-บิวทาไดอีนมีพันธะคู่ที่วงไวนิลปฏิกิริยา (แต่วงไวนิลน้อยกว่าพันธะคู่ในยางธรรมชาติ) ทำให้ยางสไตรีน-บิวทาไดอีนสามารถวัลคาไนซ์ได้ด้วยกำมะถัน (แต่วัลคาไนซ์ได้ช้ากว่ายางธรรมชาติ) และสามารถถูกออกซิไดส์ได้ง่ายเหมือนยางธรรมชาติ (แต่ยางสไตรีน-บิวทาไดอีนเหนียวกว่ายางธรรมชาติเพียงเล็กน้อย)

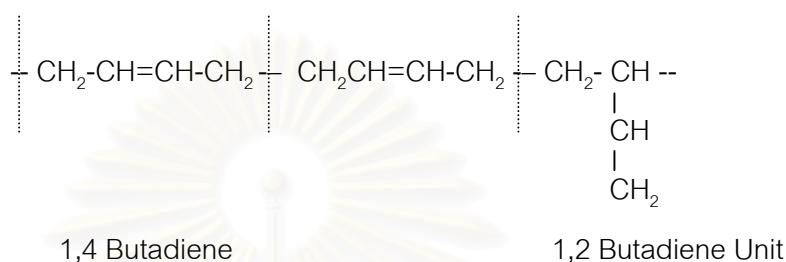
ยางสไตรีน-บิวทาไดอีน ประกอบด้วยคาร์บอนและไฮโดรเจนเช่นเดียวกับยางธรรมชาติ จึงมีความสามารถในการละลายในตัวทำละลายและความต้านทานต่อของเหลวคล้ายคลึงกัน มีความต้านทานไฟฟ้าสูง ดังนั้นจึงสามารถใช้งานเป็นฉนวนไฟฟ้าได้ และยางสไตรีน-บิวทาไดอีนชนิดทำแบบโซลูชัน จะมีปริมาณส่วนที่ไม่ใช่ยาง ดังนั้นยางชนิดนี้จึงเหมาะสำหรับทำอุปกรณ์ทางไฟฟ้า เนื่องจากว่ายางสไตรีน-บิวทาไดอีนไม่สามารถตกผลึกได้เมื่อตั้ง ดังนั้นจึงทำให้ยางสไตรีน-บิวทาไดอีนมีความต้านทานแรงดึงต่ำและความต้านทานการฉีกขาดต่ำ

ยางสไตรีน-บิวทาไดอีนมีความกระด้างตัวต่ำและมีฮิสเทอรีซิสสูงกว่ายางธรรมชาติ ผลิตภัณฑ์จากยางสไตรีน-บิวทาไดอีนที่ได้รับแรงกระทำซ้ำ ๆ ทำให้เกิดความร้อนสะสมในยางสูง ดังนั้นในกรณีที่เกิดผลิตภัณฑ์เป็นยางรถยนต์ ผ้าใบจะเกิดการแยกชั้นได้ง่าย อาจเกิดการระเบิดได้ ยางสไตรีน-บิวทาไดอีนจึงมักใช้เฉพาะในการทำยางรถยนต์โดยสาร หรือยางรถขนาดเล็กเท่านั้น ส่วนยางรถขนาดใหญ่และยางรถบรรทุกจะไม่ใช้ยางสไตรีน-บิวทาไดอีน

2.4 ยางพอลิบิวทาไดอิน (Polybutadiene Rubber, BR) [2,7]

2.4.1 โครงสร้างทางเคมี

ยางพอลิบิวทาไดอิน ประกอบด้วยหน่วยย่อยของ บิวทาไดอิน (butadiene) เชื่อมโยงกันในลักษณะต่อตรง (linear) แบบ 1,4 (ส่วนใหญ่เป็น cis - 1,4 และมี tran - 1,4 บ้าง) และแบบ 1,2



รูปที่ 2.2 ลักษณะโครงสร้างแบบต่อตรงของยางพอลิบิวทาไดอิน [7]

2.4.2 การผลิตยางพอลิบิวทาไดอิน

ในปัจจุบันการผลิตยางพอลิบิวทาไดอิน ส่วนใหญ่ใช้ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบสารละลาย (solution polymerization) โดยสารริเริ่ม (initiator) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโคออร์ดิเนชัน (coordination catalyst) ได้แก่ สารประกอบทิตาเนียม, โคบอลต์, นิกเกิล และนีโอดีน หรือสารประกอบอัลคิลลิเทียม (alkyl lithium compounds)

ถ้าใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคออร์ดิเนชัน หน่วยของบิวทาไดอินเข้าร่วมตัวเป็นแบบเชิงเส้นได้เป็นยางพอลิบิวทาไดอินที่มีโครงสร้างเป็นโมเลกุลต่อตรง แบบ cis - 1,4 กับ 1,2 structure ส่วนปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบอนุมูลอิสระในอิมัลชัน (free radical polymerization of butadiene in emulsion) ยางที่ได้มีความสม่ำเสมอ มีตลาดค่อนข้างจำกัด เพราะเป็นยางที่มีสมบัติทางเทคนิคไม่เป็นที่ต้องการ ถ้าใช้ RhCl_2 catalyst in emulsion polymerization ได้ยางแบบ trans - 1,4 configuration เป็นส่วนใหญ่ ในการผลิตยางพอลิบิวทาไดอิน ปัจจัยสำคัญที่ทำให้ยางแต่ละเกรดมีความแตกต่างกันได้แก่

- ชนิดของสารริเริ่ม
- ชนิดและความเข้มข้นของสารเพิ่มเสถียรภาพ (stabilizer)
- สารดัดแปรสายโมเลกุล (chain modifiers), น้ำหนักโมเลกุล
- ชนิดและปริมาณของน้ำมันที่ใช้ผสมเพิ่มเนื้อให้ทำ oil extended rubber
- ชนิดและปริมาณของสารตัวเติมที่ใช้

2.4.3 โครงสร้างและสมบัติของยางพอลิบิวทาไดอิน

การสังเคราะห์ยางพอลิบิวทาไดอิน สามารถผลิตยางที่มีโครงสร้างแบบต่าง ๆ ได้ 4 แบบ ซึ่งโครงสร้างแต่ละแบบจะให้สมบัติแตกต่างกัน

ยางพอลิบิวทาไดอินที่มีโครงสร้างแบบ cis-1,4-polybutadiene มีความนุ่มให้สมบัติเชิงกลที่ดี อุณหภูมิที่เปลี่ยนสถานะเป็นแข็งแบบแก้ว (T_g – glass transition temperature) เท่ากับ -120 °C เนื่องจาก T_g ต่ำมากจึงเชื่อว่าทำให้ยางนี้มีสมบัติการใช้งานที่อุณหภูมิต่ำได้ดีมาก ความต้านทานต่อการสึกหรอดีและมีสมบัติการกระดอนสูง (high resilience)

ยางพอลิบิวทาไดอินที่มีโครงสร้างแบบ trans-1,4-polybutadiene ให้สมบัติที่ตรงกันข้ามกับแบบ cis-1,4 คือ T_g เท่ากับ -107 ถึง -83 °C (94 % trans-) นอกจากนี้ยางมีความแข็งมากแล้วสมบัติค่อนข้างเป็นแบบเทอร์โมพลาสติก และยังจำกัดการละลายในตัวทำละลายส่วนใหญ่

ส่วนยางพอลิบิวทาไดอินที่มีโครงสร้างแบบ isotactic 1,2-polybutadiene และ syndiotactic 1,2-polybutadiene มีความแข็ง ตกผลึก และละลายได้ยาก T_g เท่ากับ -15 °C

ลักษณะโครงสร้างแบบโซ่กิ่ง (branching) ในยางพอลิบิวทาไดอินถ้ายังมีปริมาณโซ่กิ่งมากทำให้สมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำ (cold flow) ทำให้ต้องบดยางนานขึ้น สารตัวเติมกระจายได้ดียางที่ยังไม่คงรูปมีความแข็งแรงมาก (high green strength) อัตราการขึ้นรูปโดยการอัดผ่านตาย (die) สูง และการบวมของยางที่อัดผ่านตายสูง (high die swell) ถ้าน้ำหนักโมเลกุลของยางพอลิบิวทาไดอินมีการกระจายมาก ยางฟอร์มเกาะลูกกลิ้งง่าย (less bagging) ความเหนียวของยางผสมเคมีต่ำทำให้ใช้เวลาบดผสมสั้น และอุณหภูมิการอัดผ่านตายต่ำ

น้ำหนักโมเลกุลของยางพอลิบิวทาไดอินที่ผลิตทางการค้ามีตั้งแต่ 250,000 – 300,000 ซึ่งตรงกับความเหนียว Mooney ML 1+4 ที่ 100 °C ช่วง 35 – 55

2.4.4 สมบัติของยางพอลิบิวทาไดอิน

สมบัติของยางพอลิบิวทาไดอิน (มี cis-1,4 มาก) ที่ผ่านการคงรูปแล้วมีความทนแรงดึงต่ำกว่ายางธรรมชาติ หรือยางสไตรีน-บิวทาไดอิน การผสมกับยางธรรมชาติหรือยางสไตรีน-บิวทาไดอินช่วยเพิ่มสมบัติได้ตามต้องการ ทำให้ยางมีคุณภาพสูงขึ้น คือทำให้ยางที่ได้มีความต้านทานการสึกหรอสูง ต้านทานต่อการหักงอได้ที่อุณหภูมิต่ำดีขึ้น การกระดอนสูง และทำให้สมบัติเชิงกล ได้แก่ ความร้อนสะสม และการแตกเป็นร่อง (groove cracking) ดีขึ้น รวมทั้งสามารถช่วยยืดอายุการใช้งาน

ยางพอลิบิวทาไดอื่นกว่า 90 % ใช้ในอุตสาหกรรมยางล้อ (tyres) ในส่วนของดอกยาง (tread compound) เพื่อปรับสมบัติด้านการต้านทานการสึกหรอ นอกจากนี้ยังใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ประเภทพื้นรองเท้า ยางสายพานลำเลียง ยางกันกระแทก ยางหุ้มลูกกลิ้ง สายพานส่งกำลัง แผ่นยางรองรางรถไฟ ยางกันสะเทือน เป็นต้น

2.5 สารตัวเติมสำหรับยาง (Additive for Rubber) [8]

สารเติมแต่งต่าง ๆ ที่ผสมเข้าไปในยาง เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ยางที่มีสมบัติตามต้องการทั้งในระหว่างการผลิต การคงรูป และการนำผลิตภัณฑ์ไปใช้งาน ยางที่ผสมสารเคมีแล้วนี้ ยังไม่สามารถนำไปใช้ได้จนกว่าสารเคมีจะเข้าทำปฏิกิริยากับยาง ซึ่งอาจเร่งปฏิกิริยาให้เกิดเร็วขึ้นด้วยการให้ความร้อน ยางที่ยังไม่เกิดปฏิกิริยากับสารเคมี เรียกว่า ยางไม่คงรูป (green compound หรือ uncured compound) ส่วนยางที่สารเคมีเข้าทำปฏิกิริยากับยางแล้ว เรียกว่า ยางคงรูป (vulcanization rubber)

ปกตินิยมบอกปริมาณสารเติมแต่งทุกชนิดที่ใส่เข้าไปในยางเทียบกับยาง 100 ส่วน โดยมีหน่วยเป็น phr (part per hundred of rubber) ทั้งนี้เพื่อความสะดวก หากมีการเปรียบเทียบสูตรยางที่มีปริมาณสารเคมีแตกต่างกัน และเขียนสูตรส่วนผสมยางมักเขียนเรียงลำดับสารที่ใส่เข้าไปในยางก่อน - หลัง

ประโยชน์ในการผสมยางกับสารเคมี

1. เพื่อปรับปรุงสมบัติของยาง ด้วยยางมีสมบัติดังต่อไปนี้
 - ก. ยางมีสมบัติเป็นทั้งพลาสติกและอีลาสติก สมบัติเป็นพลาสติก คือ สมบัติของสารที่เมื่อใช้น้ำหนักกดลงไปจะแบนออกและพยายามคงสภาพความแบน ส่วนสมบัติเป็นอีลาสติก คือ สมบัติของสารที่พยายามรักษาสภาพก่อนถูกแรงกระทำ เช่น เมื่อยืดยางออกแล้วปล่อยแรงให้ยางเป็นอิสระยางจะกลับคืนรูปเดิม คือเมื่อดึงออกจะยืดแต่เมื่อปล่อยกลับจะคืนกลับแต่ไม่เท่าเดิม การที่ยางมีสมบัติเป็นทั้งพลาสติกและอีลาสติกนี้ทำให้ไม่สามารถนำยางไปใช้งานได้โดยตรง
 - ข. ยางเป็นทั้งเทอร์โมพลาสติก (thermoplastic) คือ ที่อุณหภูมิต่ำ ยางจะแข็งกระด้างแตกหักได้ง่าย แต่ที่อุณหภูมิสูงขึ้นยางจะอ่อนนุ่มไหลแปรรูปไป การมีสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติกทำให้สามารถนำยางไปใช้ได้ในช่วงอุณหภูมิที่จำกัด
 - ค. ยางมีความแข็งแรงต่ำ ความต้านทานแรงดึงต่ำ และความต้านทานต่อการสึกหรอต่ำ

ง. ยางสามารถละลายได้ง่ายในตัวทำละลายหลายชนิด ยางเป็นสารประกอบที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่นยางธรรมชาติมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย 30,000 – 300,000 โมเลกุลเหล่านี้เมื่ออยู่รวมกันจะยึดกันด้วยแรงอ่อน ๆ ได้แก่ แรงแวนเดอร์วาลส์ (van der waal) โมเลกุลจึงแยกจากกันได้ง่ายโดยใช้ตัวทำละลายที่มีขั้ว หรือมีสัมประสิทธิ์ของการละลายใกล้เคียงกับยาง ดังนั้นยางจึงสามารถละลายได้ง่ายในตัวทำละลายต่าง ๆ

2. เพื่อเป็นตัวช่วยในกระบวนการแปรรูปยาง

ปกติในยางดิบที่ยังไม่ได้ผสมกับสารเคมีอื่น มีสมบัติเหนียว ซึ่งเกี่ยวกับความยืดหยุ่นของส่วนประกอบที่อยู่ในยางดิบ และทำให้เกิดปัญหาในกระบวนการต่าง ๆ เช่น การรีดยางให้เป็นแผ่นเรียบจากเครื่องรีดเรียบ ซึ่งเห็นถึงความผิดปกติหรือความไม่สม่ำเสมอของยางเมื่อผ่านเครื่องรีดเรียบ แต่หลังจากที่ได้เติมสารเคมี เช่น สารตัวเติม สารทำให้ยางอ่อนตัว ทำให้ผลิตภัณฑ์ยางที่ได้จากเครื่องรีดเรียบมีผิวเรียบ และสามารถลดปัญหาเกี่ยวกับความไม่สม่ำเสมอของแผ่นยางได้

3. ทำให้ยางมีขอบเขตการใช้งานกว้างขึ้น

จากความเหมาะสมในการเลือกสารเคมีผสมในยาง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติของผลิตภัณฑ์ยางอย่างมาก จากผลิตภัณฑ์ที่ไม่แข็งแรง ไม่ทน ไปจนถึงผลิตภัณฑ์ที่มีความสามารถในการทนความร้อน

4. เพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิต

การนำยางมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ ถ้าใช้แต่เนื้อยางล้วน ๆ ทำให้ต้นทุนการผลิตสูงถ้าสามารถผสมสารตัวเติม (filler) ที่มีราคาถูกลงไปทำให้ลดต้นทุนการผลิตลง

2.5.1 สารทำให้ยางคงรูป หรือ สารวัลคาไนซ์ (Vulcanizing agent)

สารทำให้ยางคงรูป หรือ สารวัลคาไนซ์ เป็นสารที่ทำให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลของยาง (crosslink) เพื่อปรับปรุงสมบัติของผลิตภัณฑ์ยางให้ดีขึ้น ปฏิกริยาที่เกิดขึ้น เรียกว่า การคงรูปหรือการวัลคาไนซ์ (Vulcanization หรือ Cure)

การทำให้ยางคงรูปเป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงของยางที่อยู่ในสภาพไม่คงตัวให้เป็นยางที่รักษารูปทรงได้ในลักษณะยืดหยุ่น หรือแข็งกระด้าง โดยการใส่สารที่ทำให้ยางคงรูป (vulcanizing agent) ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุล บริเวณต่อตำแหน่งที่วงไวต่อปฏิกิริยา

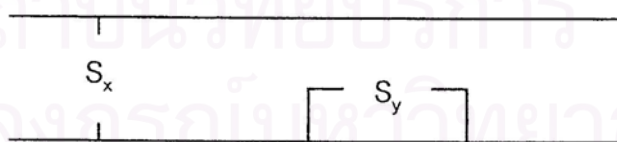
สารทำให้ยางคงรูปมี 3 ประเภท คือ กำมะถันและธาตุที่คล้ายกำมะถัน สารที่ให้กำมะถัน (sulphur donor) และสารอื่น ๆ ที่ไม่ใช่กำมะถัน แต่สารที่ทำให้ยางคงรูปที่สำคัญ

สำหรับยางธรรมชาติ คือ กำมะถัน ส่วนยางสังเคราะห์อื่น ๆ จะใช้สารที่ทำให้ยางคงรูปแตกต่างกันไป ขึ้นกับชนิดของยาง การทำให้ยางคงรูปจะทำให้ยางมีสมบัติที่เปลี่ยนแปลงไป คือ

- 1) ยางเปลี่ยนโครงสร้างจากเส้นตรงเป็นร่างแหหรือเป็นแบบ 3 มิติ โดยการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุล ทำให้ยางเปลี่ยนจากวัสดุพลาสติกไปเป็นวัสดุอีลาสติกสูงขึ้น
- 2) สมบัติทางกายภาพ เช่น ความต้านทานแรงดึง ความต้านทานต่อการสึกหรอ และความต้านทานต่อการฉีกขาดเพิ่มขึ้น
- 3) เปลี่ยนสภาพของยางจากการละลายในสารละลาย เป็นยางที่ไม่ละลายในสารละลาย และไม่พองตัว
- 4) มีความทนทานต่อความร้อน แสง เพิ่มขึ้น ทำให้สามารถใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิที่กว้างมากขึ้น กำมะถันเป็นสารที่ทำให้ยางคงรูปที่นิยมใช้มากที่สุด ประมาณ 90 % และนิยมใช้กับยางที่ไม่อิมตัว ซึ่งมีพันธะคู่อยู่ในโมเลกุล ได้แก่ ยางธรรมชาติ , ยางสไตรีน-บิวทาไดอีน , ยางไนไตรล์ เป็นต้น

เมื่อใส่กำมะถันเข้าไปในยางแล้วให้ความร้อน จะเกิดการคงรูปขึ้น โดยกำมะถันเป็นตัวเชื่อมระหว่างโมเลกุลของยาง ทำให้ยางมีสมบัติดีขึ้น คือ เมื่อร้อนไม่เหลวหรือเยิ้มเหนียว เมื่อเย็นไม่แข็ง ไม่มีกลิ่น ไม่ละลายในตัวทำละลาย เป็นต้น โดยกำมะถันเชื่อมต่อกับโมเลกุลของยางดังรูปที่ 2.3

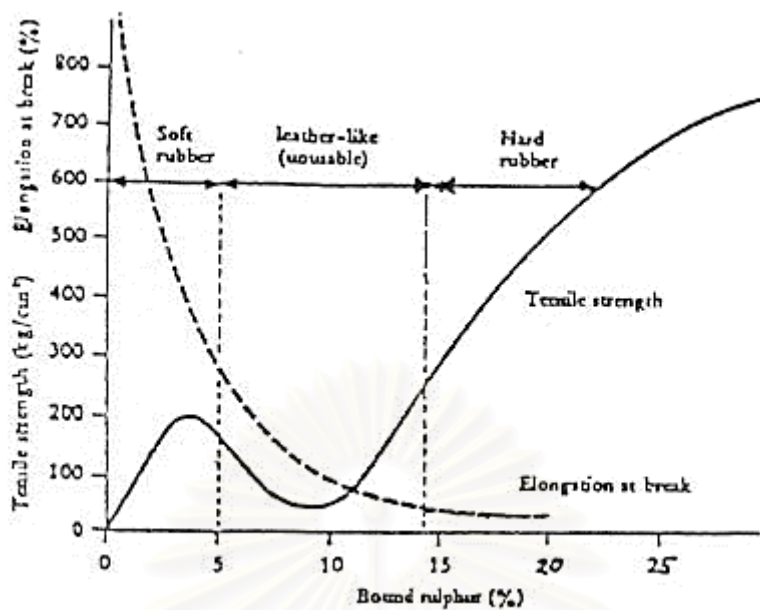
โดยทั่วไปถ้าการคงรูปเกิดในระบบที่มีสารตัวเร่งที่มีประสิทธิภาพดี ค่า x ควรมีค่าประมาณ 1 หรือ 2 และไม่มีโครงสร้างเป็นวง (cyclic) หรือน้อยมาก แต่ถ้าเป็นระบบที่ไม่มีประสิทธิภาพ x อาจมีค่าสูงถึง 8 และมีโครงสร้างที่เป็นวงเกิดขึ้นมาก ปริมาณกำมะถันที่รวมอยู่ในโครงสร้างร่างแหนี้ เรียกว่า สัมประสิทธิ์ของการคงรูป (coefficient of vulcanization) ซึ่งเป็นส่วนของกำมะถันที่เข้าร่วมตัวกับยาง 100 ส่วน



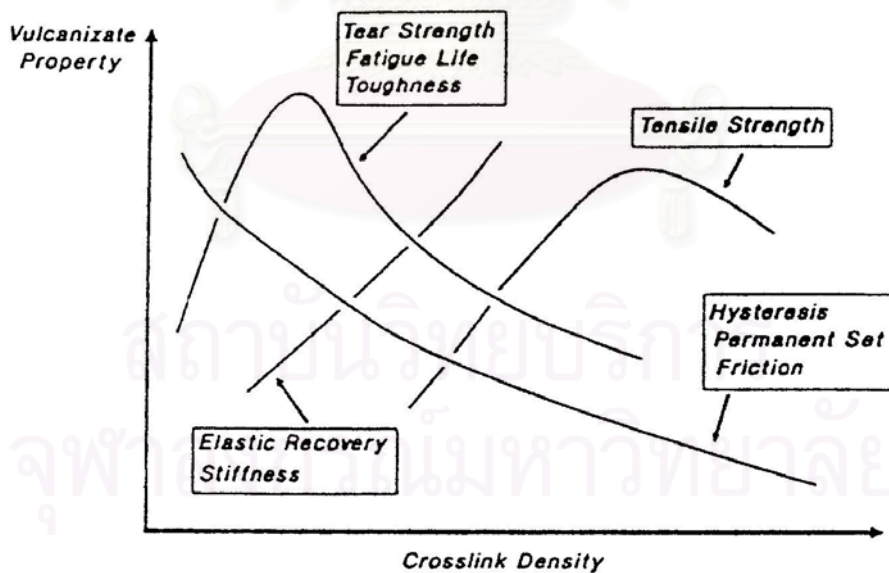
รูปที่ 2.3 การเชื่อมโยงโมเลกุลของยางด้วยกำมะถัน [8]

S_x เป็นการเชื่อมโยงระหว่างสองโมเลกุล

S_y เป็นการเชื่อมโยงภายในโมเลกุลเดียวกัน



รูปที่ 2.4 อิทธิพลของปริมาณกำมะถันต่อความต้านทานแรงดึงและการยืดออกจนขาด [8]



รูปที่ 2.5 สมบัติที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อปริมาณของการเชื่อมโยงเพิ่มขึ้น [8]

ปริมาณของกำมะถันที่ใช้อยู่ในช่วง 1 – 3 phr แต่โดยทั่วไปมักไม่เกิน 2.5 phr เนื่องจากปริมาณกำมะถัน 2.5 phr ทำให้ยางมีค่าความต้านทานแรงดึงสูงที่สุด นอกจากนี้ถ้าต้องการยางที่มี มอดูลัสต่ำ เช่น ลูกโป่งจะใช้กำมะถันน้อยลง หรือถ้าต้องการยางที่ดีมอดูลัสสูง จะใช้กำมะถันมากขึ้น การเชื่อมโยงทำให้โมเลกุลของยางมีขนาดใหญ่ขึ้น และปริมาณของกำมะถันที่ใช้มีผลต่อสมบัติของยาง ดังรูปที่ 2.4 แสดงอิทธิพลของปริมาณกำมะถันต่อต้านทานแรงดึงและการยืดออกจนขาด (elongation at break) และรูปที่ 2.5 แสดงสมบัติที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อปริมาณของการเชื่อมโยงเพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 2.5 จะเห็นว่า ถ้าต้องการให้ยางคงสภาพความยืดหยุ่นได้ดี ปริมาณกำมะถันในยางไม่ควรเกิน 5 phr (ตารางที่ 2.2)

ตารางที่ 2.1 สมบัติทางกายภาพของยางเมื่อปริมาณการเชื่อมโยงเพิ่มขึ้น [8]

สมบัติ	การเปลี่ยนแปลงเมื่อเพิ่มปริมาณการเชื่อมโยง
<u>สมบัติที่ขึ้นกับปริมาณการเชื่อมโยงเท่านั้น</u>	
ความเหนียว (มอดูลัส)	เพิ่มขึ้น
ความแข็ง	เพิ่มขึ้น
<u>สมบัติที่บางส่วนขึ้นกับปริมาณการเชื่อมโยง</u>	
การยืดออกจนขาด	ลดลง
การกระดอน	เพิ่มขึ้น
การบวมเนื่องจากสารละลาย	ลดลง
ความต้านทานต่อการสึกหรอ	เพิ่มขึ้น
ความต้านทานแรงดึงและความต้านทานต่อการฉีกขาด	เพิ่มขึ้น , แล้วลดลง

ตารางที่ 2.2 ลักษณะของยางเมื่อใส่กำมะถันในปริมาณที่ไม่เท่ากัน [8]

ปริมาณกำมะถัน (phr)	ลักษณะของยาง
0 – 5	ยางมีสภาพยืดหยุ่น
5 – 15	ยางมีลักษณะยืดได้เล็กน้อย คล้ายหนัง (leather like)
> 15	ทำให้ยางมีความแข็งมาก เรียกว่า Ebonite

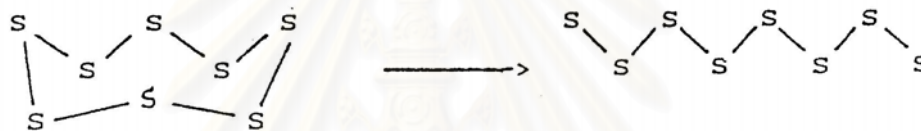
กำมะถันโดยทั่วไปมี 3 อัญรูป คือ

ก. α - sulphur หรือ rhombic sulphur

ข. β - sulphur หรือ monoclinic sulphur : ที่ 96 องศาเซลเซียส α - sulphur จะเปลี่ยนรูปไปเป็น β - sulphur

ค. γ - sulphur หรือ plastic sulphur : เป็นกำมะถันอสัณฐานซึ่งไม่ละลายในยางทำได้โดยการนำกำมะถันมาทำให้ร้อนจนเหลว แล้วเทในน้ำเย็นทันที

กำมะถันที่ใช้ในการคงรูปของยางเป็นกำมะถันชนิด rhombic ซึ่งมีโครงสร้างดังรูปที่ 2.6 คือ มีโครงสร้างเป็นวง ประกอบด้วยกำมะถัน 8 อะตอม S_8 มีลักษณะเป็นผงสีเหลืองและหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 112 องศาเซลเซียส จุดเดือดที่ 444 องศาเซลเซียส ถ้าให้ความร้อนแก่กำมะถัน โครงสร้างที่เป็นวงจะแตกออกเป็นสาย นั่นคือ กำมะถันกำลังหลอมเหลว



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของกำมะถัน rhombic [8]

กำมะถันที่ใช้ในยางต้องเป็นกำมะถันที่มีขนาดอนุภาคเล็ก ซึ่งขนาดอนุภาคขนาดเล็กทำให้กำมะถันกระจายในยางได้ทั่วถึง สำหรับการละลายของกำมะถันในยางขึ้นกับชนิดของยาง ซึ่งกำมะถันละลายในยางได้ประมาณ 0.8 ส่วนต่อยาง 100 ส่วน และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นกำมะถันละลายได้มากขึ้น แต่มีข้อเสีย คือ เมื่อตั้งทิ้งไว้กำมะถันที่เป็นส่วนเกิน จะตกผลึกออกมาที่ผิวยาง เรียกว่า เกิดการบลูม (blooming) คือ การที่กำมะถันเกิดการแยกตัวมาอยู่ที่ผิวยางที่ยังไม่คงรูป ทางแก้ไข คือ

1) ผสมกำมะถันเข้าไปในยางที่อุณหภูมิต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้

2) อาจใช้กำมะถันชนิดไม่ละลายแทนกำมะถันธรรมดา ซึ่งเป็นแบบชนิดละลาย แต่กำมะถันไม่ละลายจะไม่คงตัว คือ เมื่อตั้งทิ้งไว้นานจะเปลี่ยนเป็นกำมะถันชนิดละลายอย่างช้า ๆ ที่อุณหภูมิห้อง และที่อุณหภูมิสูงจะเปลี่ยนเป็นกำมะถันชนิดละลายได้ภายในเวลา 10 - 20 นาที ซึ่งการเก็บรักษากำมะถันชนิดไม่ละลายต้องเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำ เพื่อป้องกันไม่ให้อัญรูปชนิดไม่ละลายเปลี่ยนรูป

3) อาจใช้กำมะถันชนิดไม่ละลายปนกับชนิดละลาย เช่น การใช้กำมะถันชนิดไม่ละลาย ประมาณ 70 % ของปริมาณทั้งหมด จะลดการตกผลึกของกำมะถันที่ผิวยางได้ การใส่กำมะถันลงในยางจะใส่หลังสุดในจำนวนสารเคมีทั้งหมด เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการคงรูปก่อนการกำหนด (scorch) กำมะถันจะกระจายในยางได้ดี จำเป็นต้องใส่กำมะถันเข้าไปตั้งแต่เริ่มต้น เพื่อช่วยเพิ่มเวลาในการกระจายตัว หรืออาจใช้กำมะถันพิเศษ คือ MC – sulphur แทนกำมะถันธรรมดา

ข้อดีของกำมะถัน

1. กำมะถันมีราคาค่อนข้างถูก ทำให้ต้นทุนต่ำ
2. กระจายตัวในยางได้ง่าย
3. ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ
4. มีผลโดยตรงต่อสารเร่งปฏิกิริยาการคงรูป จึงเป็นตัวควบคุมอัตราการเกิดการคงรูป

ข้อเสียของกำมะถัน

1. มีแนวโน้มทำให้เกิดการแยกตัวของกำมะถันมาอยู่ที่ผิวยาง
2. มีการติดสีของซัลไฟด์
3. เมื่อนำยางที่ผสมกำมะถันไปอบ จะมีความต้านทานต่อความร้อนไม่ดี
4. มีข้อจำกัดในการใช้ คือ ใช้ได้เฉพาะกับยางที่ไม่อิมตัว

นอกจากกำมะถันแล้วยังมีธาตุอื่น ๆ ที่คล้ายกำมะถัน ทำหน้าที่เป็นสารที่ทำให้ยางคงรูปได้แก่ ซีลีเนียม (Selenium) และเทลลูเรียม (Tellurium) มักใช้แทนกำมะถันเมื่อต้องการสมบัติในด้านความต้านทานต่อความร้อน แต่ปฏิกิริยาที่สารทั้งสองทำกับยางไม่ดีเท่ากับกำมะถัน และยังเป็นพิษอีกด้วย โดยทั่วไปนิยมใช้สารสองตัวนี้เป็นสารทำให้ยางคงรูปเสริมร่วมกับกำมะถัน ซึ่งทำให้ปริมาณกำมะถันที่ใช้ลดลง และผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความต้านทานต่อความร้อนและไอน้ำ และยังมีมอดูลัสสูงขึ้นด้วย

2.5.2 สารเร่งปฏิกิริยาการคงรูป (Accelerator)

ก่อนที่จะมีการค้นพบสารเร่งปฏิกิริยาการคงรูปของยางนั้น ชาลส์ กู๊ดเยียร์ ได้ค้นพบวิธีการคงรูปของยางธรรมชาติ โดยใช้กำมะถันเพียงอย่างเดียว ซึ่งต้องใช้กำมะถันในปริมาณมาก และการคงรูปต้องใช้เวลาอันยาวนานที่อุณหภูมิสูง ผลิตภัณฑ์ยางที่ได้มีสีคล้ำ และเมื่อทิ้งไว้จะเกิดการซีมของกำมะถันออกมาที่ผิว ต่อมาได้มีการค้นพบสารเร่งปฏิกิริยาการคงรูป และนำมาใช้ร่วมกับกำมะถันในการคงรูปยาง ซึ่งสารเร่งนี้ช่วยลดเวลา ลดอุณหภูมิ และลดปริมาณกำมะถันที่ใช้ในการคงรูปลง นอกจากนี้ยังช่วยปรับปรุงสมบัติของผลิตภัณฑ์อีกด้วย

สารเร่งปฏิกิริยาการคงรูปสามารถแบ่งได้เป็น 3 ระบบ คือ

1. ระบบการใช้สารเร่งปฏิกิริยาการคงรูปเพียงชนิดเดียว (primary accelerator) ให้พอเพียงที่จะคงรูปยางได้ตามเวลาที่ต้องการ
2. ระบบการใช้สารเร่งปฏิกิริยาการคงรูปตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป ประกอบด้วย
 - สารชนิดที่ใช้ในปริมาณมาก เรียกว่า ตัวเร่งปฐมภูมิ (primary accelerator)
 - สารชนิดที่ใช้ในปริมาณน้อย เรียกว่า ตัวเร่งทุติยภูมิ (secondary accelerator)
3. ระบบการใช้สารเร่งที่มีปฏิกิริยาช้า (delayed action accelerator) จะไม่เกิดปฏิกิริยาก่อนการคงรูป ซึ่งเป็นการป้องกันปัญหาการเกิดการคงรูปก่อนกำหนด

สมบัติของสารเร่งปฏิกิริยาการคงรูป

1. สามารถทำให้ยางคงรูปได้เร็ว
2. มีความว่องไวในการเร่งให้เกิดการเชื่อมโยงของโมเลกุลยางสูง
3. ละลายได้ดีในยาง
4. มีความปลอดภัยในขบวนการผลิต
5. สามารถเก็บรักษาได้นานโดยไม่เสื่อมสภาพ
6. ใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิกว้าง
7. เข้ากันได้ดีกับสารเคมีอื่น ๆ ที่ใส่เข้าไปในยาง
8. ไม่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้
9. สมบัติต่าง ๆ ของยางไม่ลดลงเมื่อใช้เวลาในการคงรูปนาน
10. ไม่ทำให้เกิดผลเสียต่อสมบัติอื่น

ประเภทของสารเร่งปฏิกิริยาการคงรูป

สามารถจัดตามความเร็วในการเร่งให้ยางเกิดการคงรูป แบ่งได้เป็น 4 ประเภท คือ

1. สารเร่งที่มีปฏิกิริยาช้า (slow accelerator) ได้แก่ Aniline เมื่อทำการคงรูปยางธรรมชาติ ใช้เวลา 90 – 120 นาที
2. สารเร่งที่มีปฏิกิริยาปานกลาง (Moderately fast accelerator) ได้แก่ Diphenyl guanidine , Hexamethylene tetramene ใช้เวลาในการคงรูปประมาณ 60 นาที
3. สารเร่งที่มีปฏิกิริยาเร็ว (Fast accelerator) ได้แก่ Mercaptobentothiazole (MBTS) , Benzothiazyl disulfide ใช้เวลาในการคงรูปประมาณ 30 นาที
4. สารเร่งที่มีความเร็วมาก (Ultra accelerator) ได้แก่ thiurams , Dithiocarbamates , Xanthates ใช้เวลาในการคงรูปน้อยกว่า 30 นาที

เมื่อมีการใช้ยางสังเคราะห์มากขึ้น สารเร่งที่มีการคงรูปที่จัดว่าเร็วหรือเร็วมากในยางธรรมชาติอาจกลายเป็นสารเร่งที่ช้าสำหรับยางสังเคราะห์ จึงมีการจัดประเภทของสารเร่งปฏิกิริยาการคงรูป โดยพิจารณาตามลักษณะโครงสร้างทางเคมีของสารเร่งนั้น ๆ สามารถแบ่งได้เป็น 7 ประเภท คือ

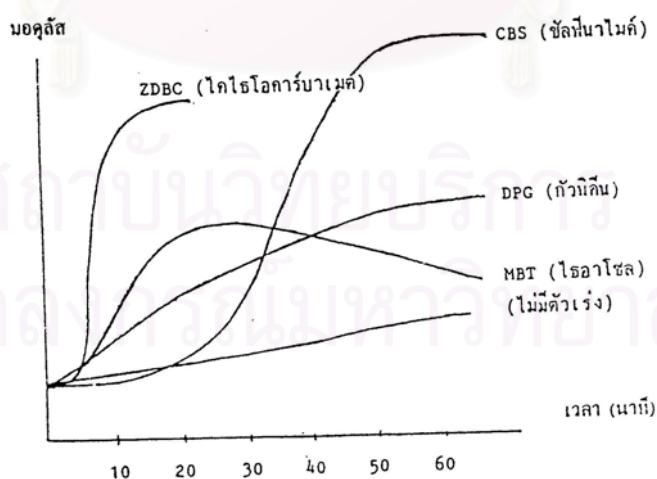
1. กัวนิดีน (Guanidines)
2. อัลดีไฮด์ – อะมีน (Aldehyde – amine)
3. ซัลฟีนามาได์ (Sulphenamide)
4. ไทอาโซล (Thiazole)
5. ไทยูเรม (Thiurams)
6. ไดไทโอคาร์บาเมต (Dithiocarbamates)
7. แซนเทต (Xanthates)

สามารถเรียงลำดับความไวจากเร็วไปช้า ได้ดังนี้ $1 > 2 > 3 > 4 > 5 > 6 > 7$ จากรูปที่ 2.7 จะเห็นได้ว่า

กลุ่มไดไทโอคาร์บาเมต เป็นสารเร่งที่เกิดการคงรูปก่อนกำหนด และการคงรูปได้เร็วที่สุด
กลุ่มกัวนิดีน เกิดการคงรูปก่อนกำหนดเร็วมาก แต่เกิดการคงรูปช้า

กลุ่มไทอาโซล เกิดการคงรูปก่อนกำหนดช้ากว่ากลุ่มกัวนิดีน แต่เกิดการคงรูปได้เร็วกว่า

กลุ่มซัลฟีนามาได์ เกิดการคงรูปก่อนกำหนดช้าที่สุด และเมื่อถึงเวลาคงรูป มอดุลัสจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว นิยมใช้มากในอุตสาหกรรมยางรถยนต์



รูปที่ 2.7 อิทธิพลของสารเร่งชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในการคงรูปยาง [7]

การกระตุ้นการทำงานของสารเร่งด้วยสารเร่ง มี 2 ประเภท คือ

1. การกระตุ้นสารเร่งที่คงรูปช้า โดยการใส่สารเร่งที่คงรูปได้เร็วกว่า เช่น การกระตุ้นสารพวกไทอาโซลและซัลฟิโนไมด์ ด้วยไธยูแรม และ ไดไฮโอคาร์บาเมต การกระตุ้นเช่นนี้การคงรูปจะเร็วที่สุดอย่างมากก็เท่ากับไธยูแรม หรือไดไฮโอคาร์บาเมตเท่านั้น
2. การกระตุ้นโดยใช้สารเร่งที่คงรูปช้ากว่า เช่น ไธยูแรมหรือไดไฮโอคาร์บาเมต กระตุ้นโดยใช้กัวนิติน ซึ่งสารเร่งรวมนี้จะเร็วกว่าสารเร่งเดิมทั้งสอง การกระตุ้นแบบนี้ เรียกว่า synergism ซึ่งเป็นการเสริมซึ่งกันและกัน ตัวอย่างเช่น กลุ่มไทอาโซลกับกัวนิติน Dibenzothiazyl disulphide (MBTS) กับ Diphenyl guanidine (DPG) และ Tetramethyl thiuramdisulphide (TMTD) กับ 2-Mercaptobenzothiazole (MBT) (ซึ่งจะทำให้มอดูลัสสูงกว่าการใช้สารเร่งเดี่ยว ๆ)

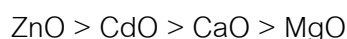
2.5.3 สารกระตุ้นปฏิกิริยาการคงรูป (Activator)

สารกระตุ้นปฏิกิริยาการคงรูปเป็นสารที่เสริมตัวเร่ง ช่วยเร่งอัตราการคงรูปของยางให้เร็วขึ้น โดยทำให้สารเร่งปฏิกิริยาการคงรูปมีความว่องไวต่อปฏิกิริยา เพื่อให้ได้เกิดประสิทธิภาพมากขึ้นซึ่งสารกระตุ้นนี้เข้าไปทำปฏิกิริยาการเชื่อมโยงโมเลกุล สารกระตุ้นมีสมบัติที่สำคัญคือเมื่อใส่เข้าไปในยางปริมาณเล็กน้อย ทำให้ยางมีมอดูลัสสูงขึ้น ช่วยไม่ให้สารประกอบยางติดกับลูกกลิ้งที่ใช้ในการบดผสมยาง ช่วยในการกระจายตัวของสารเคมีในเนื้อยาง และในบางครั้งอาจไม่มีปฏิกิริยาการคงรูปเกิดขึ้นถ้าไม่มีสารกระตุ้น

ชนิดของสารกระตุ้นปฏิกิริยาการคงรูป

1. พวกอนินทรีย์ ส่วนใหญ่เป็นพวกโลหะออกไซด์ ได้แก่
 - ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide , ZnO)
 - แคดเมียมออกไซด์ (Cadmium oxide , CdO)
 - แคลเซียมออกไซด์ (Calcium oxide , CaO)
 - แมกนีเซียมออกไซด์ (Magnesium oxide , MgO)

ลำดับความว่องไวในการช่วยให้เกิดปฏิกิริยา



ซิงค์ออกไซด์เป็นสารที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป แต่เป็นสารที่มีราคาค่อนข้างแพง โดยมากมักใช้ซิงค์ออกไซด์ประมาณ 3–5 phr ถ้าซิงค์ออกไซด์มีขนาดอนุภาคเล็ก สามารถลดปริมาณการใช้เหลือเพียง 1 phr ทำให้ได้ยางที่มีมอดูลัสสูง และยางมีลักษณะโปร่งใส

ซิงค์ออกไซด์สามารถจัดเกรดได้ตามความบริสุทธิ์ เนื่องจากปกติซิงค์ออกไซด์มีตะกั่วเจือปนอยู่ ซึ่งเป็นสาเหตุให้ยางมีสีคล้ำ จึงแบ่งซิงค์ออกไซด์ได้เป็น 2 ชนิด คือ white seal และ red seal โดย white seal มีตะกั่วอยู่ในปริมาณน้อย มักใช้ในยางสีขาว หรือสีสดใส ส่วน red seal จะมีตะกั่วอยู่ในปริมาณมาก และนิยมใช้ในยางสีดำ นอกจากนี้ซิงค์ออกไซด์บางชนิดที่มีอนุภาคเล็ก และปนอยู่กับออกไซด์ของโลหะอื่น เรียกว่า Active zinc oxide สามารถใช้ในยางได้ โดยใส่ในปริมาณน้อย ทำใหยางใส มีสมบัติทางกายภาพดีขึ้น ได้แก่ มอดูลัส ความต้านทานต่อการฉีกขาด ความต้านทานต่อการสึกหรอ เป็นต้น

2. พวกอินทรีย์ ที่สำคัญ คือ กรดไขมัน ได้แก่ กรดสเตียริก (stearic acid) กรดปาล์มมิติก (palmitic acid) เป็นต้น กรดไขมันเป็นสารที่จำเป็นในการใช้เป็นสารเสริมตัวเร่งปฏิกิริยาการคงรูปสำหรับสารเร่งปฏิกิริยาบางตัว โดยเฉพาะพวกไทอาโซล

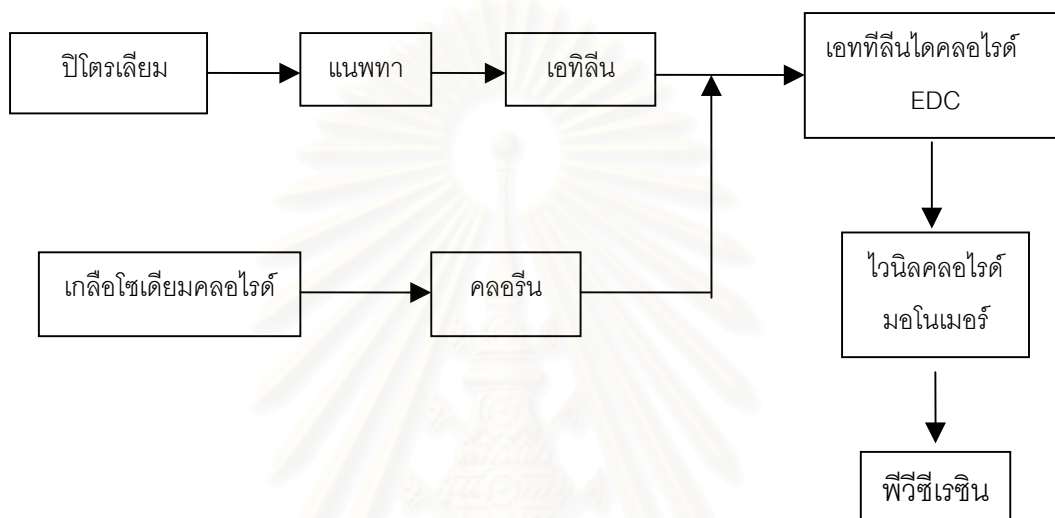
โดยทั่วไปกรดไขมันที่มีความเป็นกรดสูง มีโมเลกุลยาวเป็นกรดไขมันที่มีประสิทธิภาพสูงสำหรับพวกที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ ทำใหยางอ่อนตัว และพวกที่มีความอิมตัวต่ำ ทำใหสมบัติของยางหลังการบ่มเร่งดีขึ้น เช่น สมบัติความต้านทานต่อรอยแตกเนื่องจากการหักงอ เป็นต้น กรดไขมันที่นิยมใช้เป็นสารกระตุ้นปฏิกิริยาการคงรูปมากที่สุด คือ กรดสเตียริก ปริมาณที่ใช้ในยางขึ้นกับชนิดของยาง โดยทั่วไปการผสมสารเคมีกับยางธรรมชาติจะใส่กรดสเตียริก 1–3 phr

2.6 พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl Chloride) [9]

พอลิไวนิลคลอไรด์ หรือ พีวีซี (Polyvinyl Chloride : PVC) เป็นพลาสติกที่สำคัญมากชนิดหนึ่ง จัดอยู่ในประเภทเทอร์โมพลาสติก (thermoplastic) กล่าวคือ เป็นพลาสติกที่มีโครงสร้างเป็นเส้นตรงที่สามารถหลอมเหลวหรือผ่านแรงดันได้หลาย ๆ ครั้ง โดยไม่ทำลายโครงสร้างเดิม จึงสามารถนำมาขึ้นรูปได้หลายครั้ง พีวีซีผลิตได้จากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (polymerization) ของไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์ (Vinyl Chloride Monomer : VCM) โดยการที่ทำให้มอนอเมอร์ตั้งแต่ 2 มอนอเมอร์ขึ้นไปเกิดปฏิกิริยาแบบรวมกันเป็นสายโซ่ยาวๆ และมีน้ำหนักโมเลกุลเป็นหลายพันเท่าขึ้นไปของมอนอเมอร์ จึงได้คุณสมบัติต่างๆแตกต่างไปจากของมอนอเมอร์เดิม

2.6.1 กระบวนการผลิตพีวีซีเรซิน

กระบวนการผลิตพีวีซีเรซิน เริ่มต้นจากการผลิตสารไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์ (VCM) จากการทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างเอทิลีน (ethylene) กับคลอไรด์ (chloride) ไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์ที่ผลิตได้ถูกนำไปผ่านกระบวนการทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน ได้เป็นพีวีซีเรซินในที่สุด

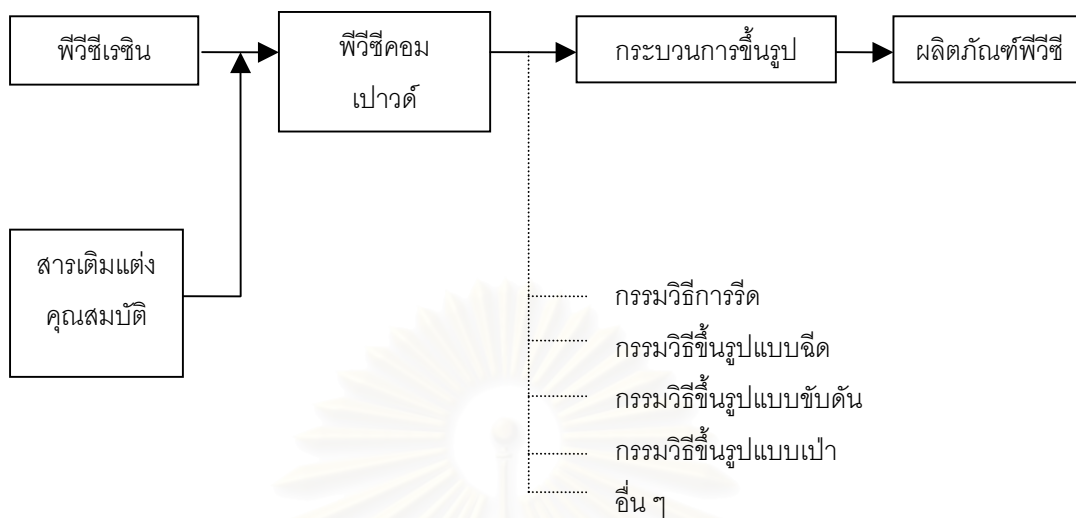


รูปที่ 2.8 กระบวนการผลิตพีวีซีเรซิน [9]

2.6.2 กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์พีวีซี

ในการนำเอาพีวีซีซึ่งเป็นพอลิเมอร์มาผ่านกระบวนการขึ้นรูปประเภทต่างๆ เพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปนั้น จำเป็นจะต้องมีการเติมสารเติมแต่งลงไปในพอลิเมอร์ เพื่อช่วยแก้ปัญหาการเสื่อมสภาพของพอลิเมอร์เนื่องจากความร้อนและความดันที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูป การเปลี่ยนแปลงสี และการเหนียวติดกับเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูป เป็นต้น

สารเติมแต่ง (additive) เป็นสารเคมีที่มีคุณสมบัติเฉพาะใช้เติมลงในพอลิเมอร์ เพื่อช่วยในการปรับปรุงคุณสมบัติและตกแต่งให้สวยงาม พอลิเมอร์ที่มีสารเติมแต่งผสม เรียกว่าคอมปาวด์ (compound) ส่วนกระบวนการผสมสารเติมแต่งเข้ากับพอลิเมอร์ เรียกว่า คอมปาวด์ติ้ง (compounding)



รูปที่ 2.9 กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์พีวีซี [9]

2.6.3 กรรมวิธีการผลิต และการตกแต่งพีวีซี

พีวีซีเป็นพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติกซึ่งเป็นพลาสติกที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก หลังจากนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์แล้ว นั่นคือเมื่อพีวีซีได้รับความร้อนเกิดการอ่อนตัวลง และจะแข็งตัวขึ้นอีกครั้งหนึ่งเมื่อพีวีซีเย็นตัวลง ปริมาณความร้อนที่ทำให้พลาสติกพีวีซีเกิดการหลอมละลายได้นั้น ขึ้นอยู่กับเทคนิคการผลิตที่แตกต่างกันไปเพื่อผลิตให้เป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปหรือกึ่งสำเร็จรูป กรรมวิธีการผลิตที่สำคัญที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกพีวีซี มีดังนี้

- 1) การขึ้นรูปแบบขั้บตัน (Extrusion) เป็นกรรมวิธีที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีขนาด ความยาวและภาคตัดขวางที่มีรูปทรงที่คงที่แน่นอน
- 2) การขึ้นรูปแบบฉีดเข้าแบบ (Injection moulding) ใช้สำหรับผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดแตกต่างกันมากและมีความสลับซับซ้อน
- 3) การอัดรีดด้วยลูกกลิ้ง (Calendering) ใช้สำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์แผ่นเรียบ
- 4) การขึ้นรูปแบบเป่า (Blowing) ใช้สำหรับผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างกลวง ผิวบาง
- 5) การเคลือบ (Coating) เป็นการเคลือบพลาสติกให้ติดกับวัสดุอื่นเช่น ผ้าใยสังเคราะห์ โลหะ เป็นต้น

นอกจากกรรมวิธีต่างๆเหล่านี้แล้ว เทคนิคการตกแต่งตามแบบดั้งเดิมยังสามารถนำมาใช้ร่วมกับพีวีซี เพื่อให้เข้ากับงานโดยเฉพาะหรือทำให้กรรมวิธีการผลิตสำเร็จสมบูรณ์ แต่ต้องมีการระมัดระวังในเรื่องของการให้ความร้อนแก่วัสดุ ไม้อ่อนจนเกินไปพอที่วัสดุนั้นจะหลอมตัวลง การเจาะ การเซาะ การบด การกลึง และการตัดก็สามารถนำมาใช้กับพีวีซีได้ตามความเหมาะสม

2.6.4 สารเติมแต่งพีวีซี

การเติมสารเติมแต่งลงในพอลิเมอร์นั้น มีวัตถุประสงค์โดยทั่วไปดังนี้

- 1) เพื่อช่วยในการผลิตหรือขึ้นรูป
- 2) เพื่อป้องกันพอลิเมอร์เกิดการเสื่อมสภาพ
- 3) เพื่อให้พลาสติกมีคุณสมบัติที่ดีขึ้น
- 4) เพื่อลดต้นทุนวัตถุดิบในการผลิต
- 5) เพื่อกำหนดคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ก่อนที่จะทำการผลิต

สารเติมแต่งตัวสำคัญที่ใช้กับพีวีซีมีดังต่อไปนี้

ก) สารเสริมสภาพพลาสติก หรือ พลาสติกไซเซออร์ (Plasticizer) เป็นสารเติมแต่งที่ช่วยให้การไหลของพอลิเมอร์ดีขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์พลาสติกมีความยืดหยุ่นและนุ่ม สารเสริมสภาพพลาสติกแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

1) สารเสริมสภาพพลาสติกภายใน (Internal Plasticizer) เป็นสารเสริมสภาพพลาสติกที่เป็นโมโนเมอร์เมื่อเติมลงในโมโนเมอร์หลักขณะทำการผลิต ทำให้ได้พอลิเมอร์หรือพลาสติกที่มีโมโนเมอร์นี้เป็นส่วนหนึ่งของโคพอลิเมอร์ เช่น ไวนิลอะซิเตตในพีวีซี สารเสริมสภาพพลาสติกชนิดที่จะไม่เคลื่อนที่หรือย้ายมาอยู่ที่ผิว ทำให้มีสภาพเสริมคงที่

2) สารเสริมสภาพพลาสติกภายนอก (External Plasticizer) เป็นสารเสริมสภาพพลาสติกที่ผสมลงไปในพอลิเมอร์ พร้อมกับสารเติมแต่งอื่นๆในกระบวนการขึ้นรูปพลาสติก เช่น ไดออกทิล พาทาเลท (DOP) สารเสริมสภาพพลาสติกชนิดนี้มักเคลื่อนที่มาที่ผิวของผลิตภัณฑ์ ทำให้เกิดการเยิ้มมันที่ผิวและพลาสติกเปราะได้ง่าย

สารเสริมสภาพพลาสติกจะทำให้พีวีซีการอ่อนตัว และมีความยืดหยุ่นมากขึ้น อีกทั้งยังช่วยให้จุดอ่อนตัวลดต่ำลงด้วย พีวีซีสามารถเป็นได้ทั้งชนิดที่มีสารเสริมสภาพพลาสติก และชนิดที่ไม่ใส่สารเสริมสภาพพลาสติก ดังนี้คือ

1) พีวีซีชนิดที่ใส่พลาสติกไซเซออร์ (Plasticized Polyvinyl Chloride : PVC) เป็นพีวีซีที่มีการเติมพลาสติกไซเซออร์ลงไป มีคุณสมบัติที่เด่นชัดคือ ยืดหยุ่นได้และนุ่ม ดังนั้นพีวีซีชนิดนี้ส่วนใหญ่จึงจัดอยู่ในประเภทพีวีซีชนิดยืดหยุ่น

2) พีวีซีชนิดไม่ใส่พลาสติกไซเซออร์ (Unplasticized Polyvinyl Chloride : UPVC) เป็นพีวีซีชนิดที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซออร์ลงไปด้วย มีคุณสมบัติที่เด่นชัดคือ แข็งและเปราะ ดังนั้นพีวีซีชนิดนี้จึงจัดอยู่ในประเภทพีวีซีชนิดแข็ง (Rigid PVC)

ข) สารคงสภาพ (Stabilizer) เป็นสารที่ใช้ผสมในพลาสติก เพื่อรักษาคุณสมบัติเอาไว้ระหว่างการขึ้นรูปและตลอดช่วงอายุของการใช้งาน เนื่องจากพีวีซีจะเสื่อมสภาพได้ง่ายที่อุณหภูมิและความดันสูง หรือเป็นการเสื่อมสภาพเนื่องจากรังสีอัลตราไวโอเล็ต โดยปกติพีวีซีจะถูกนำไปผ่านกระบวนการขึ้นรูปที่อุณหภูมิประมาณ 180 °C หรือมากกว่านี้ ดังนั้นการใช้สารคงตัวต่อความร้อน (heat stabilizer) จึงเป็นสิ่งที่จำเป็น เพราะจะช่วยป้องกันการสลายตัวด้วยความร้อน ขณะที่พอลิเมอร์ขึ้นรูปหรือใช้งานที่อุณหภูมิสูง รวมทั้งเป็นการป้องกันการเสื่อมคุณภาพ (คือการเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมีของพลาสติก ทำให้คุณสมบัติของพลาสติกเสื่อมลง) การเปลี่ยนสี และการสูญเสียคุณสมบัติเชิงกล (mechanical properties) ของพลาสติกอีกด้วย รูปแบบของการใช้สารคงสภาพจะมีการใช้งานที่แตกต่างกันในแต่ละประเทศ เนื่องจากในแต่ละประเทศมีสภาพอากาศที่แตกต่างกัน สารคงสภาพสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ

1) สารคงตัวต่อความร้อน (Heat Stabilizer) เป็นสารเติมแต่งที่ช่วยป้องกันการสลายตัวด้วยความร้อนขณะที่ขึ้นรูปพอลิเมอร์ หรือใช้งานที่อุณหภูมิสูง เช่นลีดสเตียเรต (Lead Stearate) เป็นต้น

2) สารป้องกันการเกิดออกซิเดชัน (Antioxidant) เป็นสารเติมแต่งที่ป้องกันไม่ให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างออกซิเจนกับพลาสติก สารตัวนี้จะป้องกันพอลิเมอร์จากการถูกทำลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่อาจเกิดขึ้นได้เนื่องจากความร้อน แสง และกระบวนการทางเคมี การเกิดออกซิเดชันในพอลิเมอร์ จะนำไปสู่การสูญเสียน้ำหนักโมเลกุล การเพิ่มขึ้นของค่าการหลอมและการไหล, ลดความเหนียวของพอลิเมอร์ และเกิดการเปลี่ยนสี

3) สารคงตัวต่อรังสีอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet light Stabilizer) เป็นสารเติมแต่งที่ป้องกันการสลายตัวและเสื่อมสภาพของพลาสติกเนื่องจากรังสีอัลตราไวโอเล็ต เช่นไทเทเนียมออกไซด์ เบนโซฟีโนน เป็นต้น การดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ตจะทำให้พันธะภายในของพอลิเมอร์แตกออก ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดอนุมูลอิสระของเปอร์ออกไซด์ หรือเกิดการถ่ายเทพลังงานในพอลิเมอร์ ทำให้เกิดความไม่คงทนในโมเลกุลของพอลิเมอร์ การเสื่อมสภาพด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ตจะนำไปสู่การเปลี่ยนสีและการสูญเสียคุณสมบัติเชิงกล การใช้สารคงตัวต่อรังสีอัลตราไวโอเล็ตจะทำให้อายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์นานขึ้น

คุณสมบัติของสารคงสภาพที่ดีคือ

- 1) ป้องกันการเสื่อมสภาพของพอลิเมอร์ได้ดี
- 2) ป้องกันการดูดหรือกรองแสงอุลตราไวโอเล็ต
- 3) ไม่มีสี และกลิ่น
- 4) เข้ากันได้ดีกับสารอื่น ๆ
- 5) ราคาถูก
- 6) ไม่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของพีวีซี

ค) สารหล่อลื่น (Lubricant) เป็นสารเติมแต่งที่ช่วยลดแรงเสียดทานระหว่างพอลิเมอร์หลอมกับเครื่องจักร และแม่แบบขณะขึ้นรูป ทำให้ชิ้นงานไม่ติดกับแม่แบบและแกะออกได้ง่าย สารหล่อลื่นแบ่งออกเป็น 2 ชนิด

1) สารหล่อลื่นภายใน (Internal Lubricant) เป็นสารเติมแต่งที่ช่วยลดแรงเสียดทานระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ ทำให้ขึ้นรูปได้ง่าย

2) สารหล่อลื่นภายนอก (External Lubricant) เป็นสารเติมแต่งที่ช่วยลดแรงเสียดทานระหว่างผิวผลิตภัณฑ์กับแม่แบบขณะขึ้นรูป ซึ่งสามารถนำไปสู่การหลุดออกจากเครื่องจักรได้ง่าย ในบางกรณีสารหล่อลื่นภายนอกอาจทำหน้าที่คล้ายกับสารช่วยขึ้นรูปไปด้วย

หน้าที่สำคัญของสารหล่อลื่นคือ

- ลดแรงเสียดทานระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์เองในขณะหลอม
- ลดแรงเสียดทานระหว่างโมเลกุลของพลาสติกกับผิวโลหะ
- เพิ่มอายุการใช้งานของเครื่องจักร
- ป้องกันการเกาะติดกันของเครื่องจักร

ง) สารปรับปรุงแรงกระแทก (Impact Modifier) สารนี้จะช่วยในการปรับปรุงความแข็งแรงของพลาสติก กล่าวคือวัสดุสามารถทนทานต่อแรงกระแทกที่กระทำต่อวัสดุไม่ให้เกิดความเสียหายได้ดีขึ้น พีวีซีสามารถเติมสารปรับปรุงแรงกระแทกได้ดี ซึ่งเป็นเหตุผลที่ทำให้พีวีซีได้รับการออกแบบให้มีความแข็งแรง และไม่เกิดการแตกกระจาย

จ) สารเพิ่มเนื้อพลาสติก (Filler) เป็นสารที่ผสมในพอลิเมอร์เพื่อเพิ่มปริมาตรทำให้สามารถลดปริมาณการใช้พอลิเมอร์ลงได้ รวมทั้งยังช่วยปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลบางอย่างของพอลิเมอร์อีกด้วย เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต เส้นใย หรือ โลหะ เป็นต้น

ฉ) สารช่วยขึ้นรูป (Processing aid) เป็นสารเติมแต่งที่ช่วยให้การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์พลาสติกทำได้ง่ายขึ้น

ช) สีย้อม (Pigment) เป็นสารเติมแต่งที่ผสมในพลาสติกเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีสีสันสวยงาม โดยเฉพาะการผสมสีดำหรือสีทึบในพลาสติกใช้แล้วและนำกลับมาใช้ใหม่

ซ) สารชะลอการติดไฟ (Flame retardant) เป็นสารเติมแต่งที่ผสมในพอลิเมอร์เพื่อลดหรือชะลอการติดไฟของผลิตภัณฑ์ โดยจะสลายตัวเมื่อถูกความร้อนและให้ก๊าซหรือสารที่ไม่ติดไฟ เช่น ฟลวงไตรออกไซด์ และอลูมิเนียมไตรไฮดรอกไซด์

2.6.5 สมบัติของพีวีซี

สมบัติโดยทั่วไป แยกตามประเภทของพีวีซีได้ดังนี้

พีวีซีชนิดแข็ง (Rigid PVC)

- 1) ต้านทานต่อการกัดกร่อน สารเคมี น้ำมันและอากาศ
- 2) ผลิตง่าย
- 3) น้ำหนักเบา (1/5 เท่าของเหล็กหรือ 1/10 เท่าของตะกั่ว)
- 4) ชะลอการติดไฟ และไม่ติดไฟด้วยตัวเอง
- 5) เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีมาก
- 6) ทาสีง่ายและพิมพ์สีต่าง ๆ ได้อย่างมากมาย
- 7) สามารถเลือกผลิตภัณฑ์ที่มีความใส กึ่งใส หรือทึบได้ ตามแต่การใช้งาน

พีวีซียืดหยุ่น (Flexible PVC)

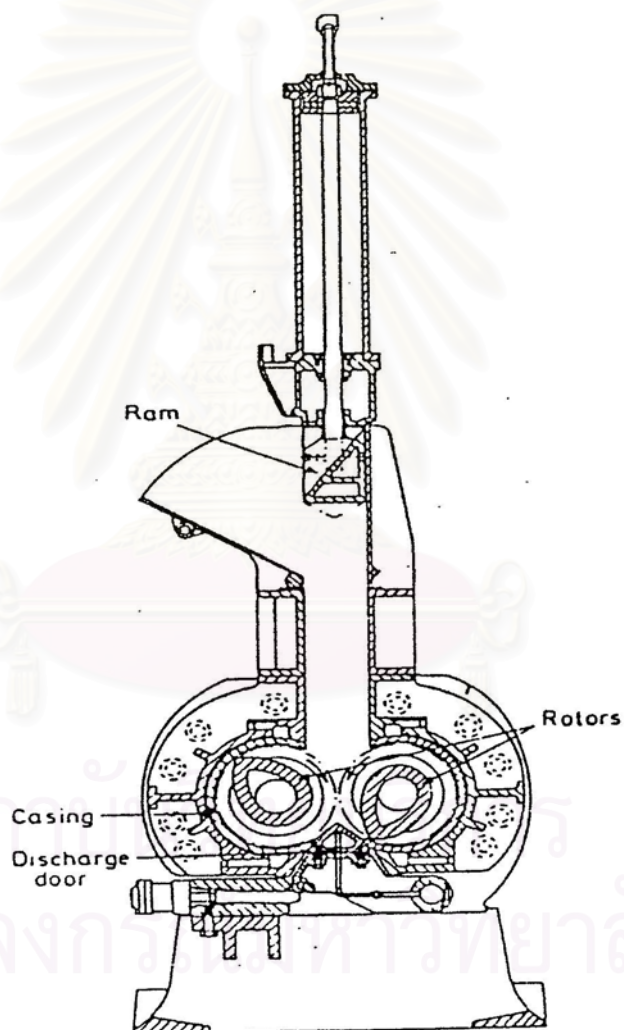
- 1) ทนทานต่อสภาวะอากาศ
- 2) ป้องกันการซึมผ่านของออกซิเจน
- 3) นิ้มและหักงอได้
- 4) ทนทานต่อการฉีกขาด
- 5) มีความยืดหยุ่นดีเยี่ยม
- 6) มีความใสดีและเป็นมันวาว

2.7 กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ยาง (Rubber Manufacturing Process) [6,7]

กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ยางประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญ คือ การผสมยางกับสารเคมี (mixing) การทำให้ยางมีรูปร่างต่างๆ (forming) และการทำให้ยางคงรูป (vulcanizing)

2.7.1 การบดผสมยางกับสารเคมี

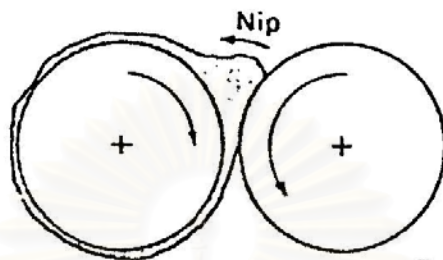
ก) เครื่องผสมแบบปิด



รูปที่ 2.10 ส่วนประกอบภายในของเครื่อง Banbury mixer [7]

ข) เครื่องบดผสมแบบเปิด

เครื่องบดผสมแบบเปิดนี้จะเป็นแบบสองลูกกิ้ง (two-roll mill) ประกอบด้วยลูกกิ้ง 2 ลูก ที่มีขนาดเท่ากันวางในแนวนอน ให้แกนของลูกกิ้งขนานกัน



รูปที่ 2.11 เครื่องบดผสมแบบสองลูกกิ้ง [7]

การบดยางเริ่มด้วยการใส่ชิ้นยางเข้าไปในช่องระหว่างสองลูกกิ้งที่กำลังหมุนอยู่ ปรับความกว้างของช่องเพื่อให้บีบยางขณะผ่าน ยางที่ผ่านช่องระหว่างสองลูกกิ้ง ในตอนแรกจะมียางร่วงตกลงบนถาดรองรับใต้ลูกกิ้ง เมื่อบดยางต่อไป 3 ถึง 4 ครั้ง ยางจะเริ่มอ่อนนิ่มพอที่จะจับพันรอบลูกกิ้งได้ เมื่อยางเกาะพันรอบลูกกิ้งได้ในตอนแรกมีลักษณะไม่เรียบทั่วผิวลูกกิ้ง คือยางที่พันรอบลูกกิ้งมีช่องที่ขาดเป็นรูอยู่ทั่วไป เมื่อบดต่อไปยางที่พันลูกกิ้งเริ่มเรียบขึ้น ขณะเดียวกันจะมียางอยู่เหนือช่องว่างระหว่างลูกกิ้ง และต้องให้ยางผ่านลูกกิ้งเข้าไปเข้ามาหลายครั้ง เพื่อให้เกิดความสม่ำเสมอทั่วเนื้อยาง ซึ่งทำได้โดยใช้มีดตัดยาง (mill knife) ตัดยางที่พันอยู่บนลูกกิ้งลูกหน้าไปตามยางประมาณ 3 ใน 4 ของความยาวลูกกิ้ง ขณะเดียวกันใช้มืออีกข้างหนึ่งม้วนยางที่ถูกตัดเข้ามา โดยให้ม้วนยางยังคงทาบอยู่บนผิวลูกกิ้งจนกว่ากองยางที่ยังค้างอยู่บนช่องระหว่างลูกกิ้งใหม่ เมื่อยางพันรอบลูกกิ้งอีกครั้งให้ตัดยางที่พันรอบลูกกิ้งซ้ายขวาสลับกัน จนสารต่าง ๆ ผสมเป็นเนื้อเดียวกันกับยาง

ขณะที่ยางถูกบดนั้น ยางจะแผ่กระจายบนผิวลูกกิ้ง แต่แผ่ได้จำกัด เพราะมีแผ่นยึดอยู่บนหัวท้ายของลูกกิ้ง (guides) ซึ่งแผ่นทั้งสองสามารถปรับให้เลื่อนเข้าออกได้ตามแนวยาวของลูกกิ้ง นอกจากสองแผ่นนี้ช่วยในการควบคุมปริมาณยางขณะบดแล้ว ยังช่วยป้องกันไม่ให้ยางเปราะเป็อนกับน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้กับเครื่องบดผสมบริเวณส่วนปลายของลูกกิ้งอีกด้วย การบดยางกับสารเคมีอย่างมีประสิทธิภาพนั้น ลูกกิ้งลูกหน้าหมุนช้ากว่าลูกกิ้งลูกหลังแต่ถ้าต้องการรีดยางเป็นแผ่นเรียบลูกกิ้งทั้งสองควรมีความเร็วเท่ากัน ความเร็วของลูกกิ้งทั้งสองขึ้น

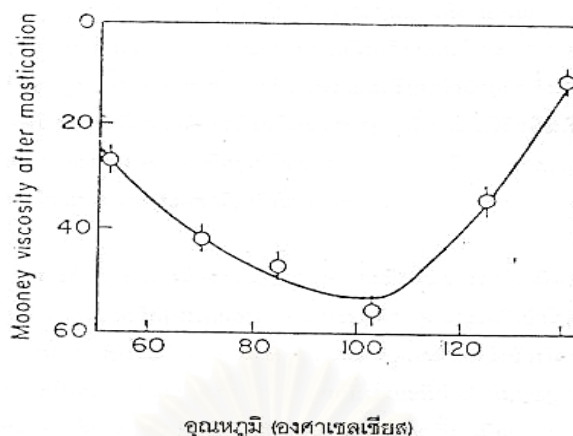
กับวัตถุประสงค์ของการบดผสม สำหรับการบดผสมยางธรรมชาติกับสารเคมีนั้น อัตราส่วนความเร็วของทั้งสองลูกกลิ้ง คือ 1:1.25 (ลูกกลิ้งลูกหน้า : ลูกกลิ้งลูกหลัง)

เครื่องบดแบบสองลูกกลิ้งเป็นเครื่องบดที่ทำให้เกิดความร้อนสูงขณะบดยาง ดังนั้นเพื่อป้องกันยางเกิดการคงรูปก่อนเวลาขณะบดจึงต้องมีระบบการหล่อเย็นภายในลูกกลิ้ง ทำให้ลูกกลิ้งเย็นสำหรับลูกกลิ้งบดยางต้องมีผิวหน้าแข็ง ทนทานต่อการใช้งาน โดยเฉพาะทนทานต่อเม็ดที่กดบนผิวลูกกลิ้งขณะบด ดังนั้นลูกกลิ้งบดผสมยางจึงต้องทำจากเหล็กหล่ออย่างดี และผิวหน้าต้องเรียบ

2.7.2 คุณหมุมิการบดยาง

คุณหมุมิขณะการบดยางมีผลต่อประสิทธิภาพการบดยางเป็นอย่างมาก รูปที่ 2.12 แสดงผลของคุณหมุมิต่อประสิทธิภาพของการบดยาง การพิจารณาประสิทธิภาพการบดจากค่าความหนืดของยางที่ลดลง คือ ยางยังมีค่าความหนืดลดลงมาก แสดงว่ามีประสิทธิภาพการบดหรือการขาดของสายโซ่โมเลกุลของยาง จากรูปที่ 2.12 จะพบว่าประสิทธิภาพการบดยางมีมากในช่วงการบดที่คุณหมุมิต่ำและที่คุณหมุมิสูง และ ณ ที่คุณหมุมิประมาณ 115 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพการบดจะต่ำที่สุด ประสิทธิภาพการบดที่สูงในช่วงแรกของการบดยาง (คุณหมุมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส) เนื่องมาจากขณะนั้นยางยังมีน้ำหนักโมเลกุลมาก แรงกระทำของเครื่องบดสามารถทำการดึงเขื่อนและฉีกโมเลกุลยางได้อย่างเต็มที่ หรืออาจกล่าวได้ว่าประสิทธิภาพหรือการขาดของสายโมเลกุลยางขณะการบดที่คุณหมุมิต่ำนั้น เป็นเพราะการทำงานของเครื่องบด (mechanical rupture) เมื่อคุณหมุมิของการบดสูงขึ้น การฉีกขาดโมเลกุลด้วยเครื่องบดลดลงเพราะยางร้อนขึ้น โมเลกุลจะเคลื่อนที่ได้ง่ายทำให้ยางนิ่มมาก แรงกระทำของเครื่องบดต่อโมเลกุลยางจึงฉีกโมเลกุลยางได้ยาก แต่ ณ ที่คุณหมุมิยิ่งสูงมากขึ้น (มากกว่า 130 องศาเซลเซียส) โมเลกุลยางจะเสื่อมเพราะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งเกิดการฉีกขาดของสายโมเลกุลเช่นกัน และเรียกปฏิกิริยานี้ว่า oxidative degradation

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.12 ผลการบดยาง 30 นาที ในสภาพบรรยากาศปกติที่อุณหภูมิต่าง ๆ ต่อค่าความหนืดมูนนี่ของยาง (เริ่มแรกเท่ากับ 80 Mooney Unit)

2.7.3 การขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์

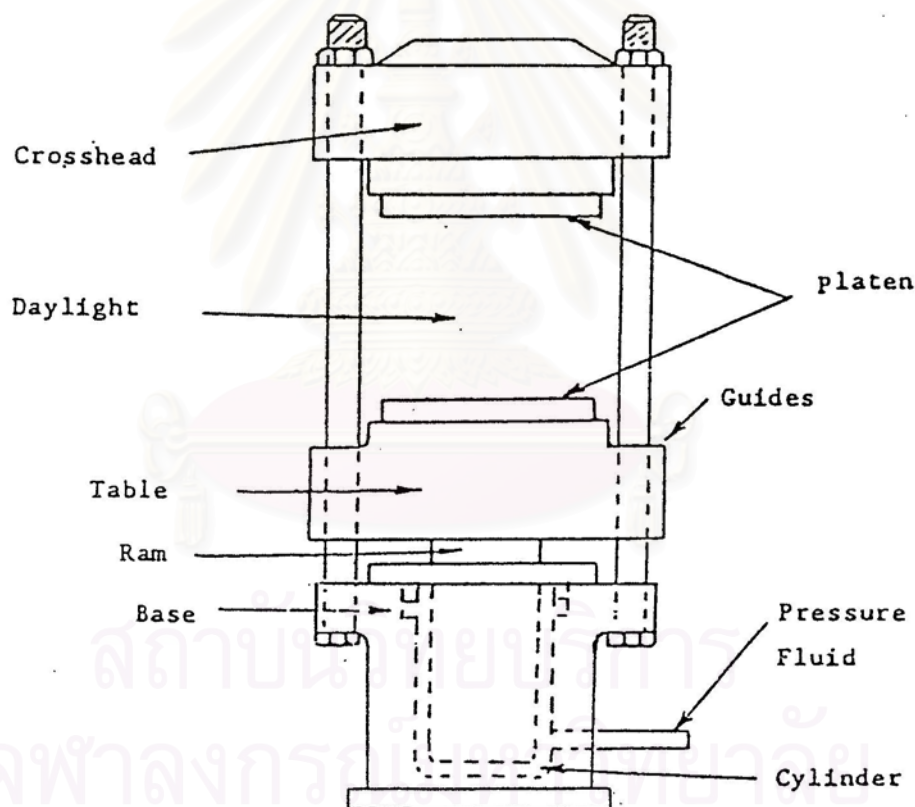
ผลิตภัณฑ์ได้จากการอัดยางที่ผสมสารเคมีแล้วเข้าไปในแม่พิมพ์ เป็นการทำให้ยางเกิดรูปร่างและคงรูปในเวลาเดียวกัน โดยอาศัยความร้อนและแรงอัด การขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์แบบกดอัดเป็นวิธีการผลิตแบบง่ายและธรรมดาที่สุด ใช้กันอย่างกว้างขวางในการแปรรูปยาง โดยนำยางที่ผสมกับสารเคมีแล้ว มาทำให้มีรูปร่างอย่างคร่าว ๆ ก่อน แต่มีขนาดเล็กกว่าช่องแม่พิมพ์เล็กน้อย เพื่อยางจะได้แผ่กระจายเต็มช่องแม่พิมพ์ อุณหภูมิที่ใช้อยู่ในช่วง 100 – 170 องศาเซลเซียส ส่วนของยางที่เกินความจุของช่องแม่พิมพ์ดันออกข้าง ๆ แม่พิมพ์ ไหลไปตามร่องเรียกยางที่ดันออกมานี้ว่า mold flash ซึ่งยางถูกให้ความร้อนในการคงรูปอยู่ในแม่พิมพ์ชั่วระยะเวลาหนึ่ง ผลิตภัณฑ์ที่ได้คงรูปไม่หลอมละลายได้อีก แล้วจึงเปิดแม่พิมพ์ ลดความดันช้า ๆ ขึ้นงานถูกนำออกจากแม่พิมพ์ทำให้เย็นลง เครื่องที่ใช้มีหลายขนาด ตั้งแต่ขนาดเล็กซึ่งทำงานโดยใช้มือกด จนถึงขนาดใหญ่ที่เป็นเครื่องกดอัดอัตโนมัติระบบไฮดรอลิก

2.7.4 การทำให้ยางคงรูป

เป็นกระบวนการทำให้ได้วัสดุที่มีความยืดหยุ่น อันเนื่องจากโครงสร้างของโมเลกุลเกิดการเชื่อมโยง หรือยึดกันด้วยพันธะทางเคมีระหว่างต่างโมเลกุล ยางที่คงรูปแล้วนี้ เมื่อถูกปล่อยให้เป็นอิสระจากแรงที่มากกระทำจะคืนตัวสู่สภาพเดิม ดังนั้นการทำให้ยางคงรูปจึงช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นและลดการเสียรูปของยาง หรือเป็นการเพิ่มความพยายามที่รักษารูปร่างแรกไว้ได้ และ

ลดความพยายามรักษารูปร่างที่เปลี่ยนแปลงไปตามแรงกระทำ ซึ่งอาจเป็นรูปร่างที่เกิดจากการยืดออกหรือหดลงก็ได้

การทำให้ยางคงรูปโดยวิธีอัด เป็นวิธีที่ใช้กับผลิตภัณฑ์ยางประเภทต้องใช้แม่พิมพ์ในการขึ้นรูป โดยวางแม่พิมพ์ที่บรรจุยางผสมสารเคมีแล้วลงบนแท่นของเครื่องอัดระบบไฮดรอลิก รูปที่ 2.13 แสดงส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องอัดยางแบบแท่นอัดยางเคลื่อนขึ้น (up-stroking press) ซึ่งแท่นอัดยางแท่นล่างเป็นส่วนที่เคลื่อนขึ้นด้วยแรงอัดไฮดรอลิก ช่องว่างระหว่างแท่นอัดยางเรียกว่า daylight เครื่องอัดอาจมีได้หลายแท่นอัด ซึ่งจะเพิ่มจำนวนช่องว่าง (daylight) และทำให้อัดยางได้ครั้งละหลาย ๆ ชิ้น แท่นอัดอาจถูกทำให้ร้อนด้วยไอน้ำหรือน้ำมันหรือไฟฟ้า ซึ่งอุณหภูมิที่ต้องการจะถูกควบคุมโดยระบบอัตโนมัติ



รูปที่ 2.13 ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องอัดไฮดรอลิก [7]

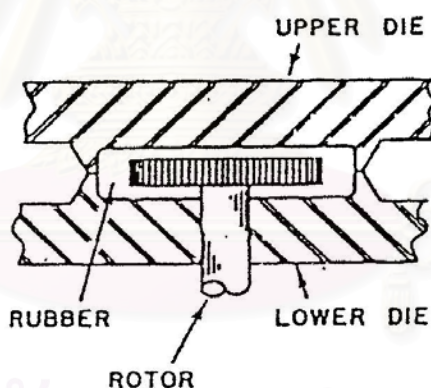
2.8 การทดสอบการแปรรูปและการคงรูป [10,11]

2.8.1 Mooney viscometer

2.8.1.1 การวัดความหนืดของยาง

การวัดความหนืดของยางเป็นการวัดความหนืดของยางที่เพิ่มขึ้นในขณะที่เกิดการคงรูป โดยอาศัยหลักการให้แรงเฉือนหรือแรงบิด (torque) แก่สารประกอบยางด้วยโรเตอร์ ซึ่งหมุนด้วยความเร็วคงที่ในสารประกอบยางประมาณ 2.00 ± 0.02 รอบต่อนาที

เครื่องประกอบด้วยโรเตอร์เป็นรูปทรงกลม ซึ่งที่ผิวของโรเตอร์นี้เขาเป็นร่องเพื่อป้องกันการไหลเลื่อนของยาง โดยโรเตอร์นี้อยู่ภายในห้องใส่ยาง ซึ่งเป็นช่องว่างรูปทรงกระบอกตัน ๆ และโรเตอร์จะหมุนโดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้า (รูปที่ 2.14) ส่วนชิ้นงานที่ทดสอบ ให้ตัดเป็นวงกลมที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 5.5 เซนติเมตร แล้วเจาะรูตรงกลางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตร น้ำหนักประมาณ 20 กรัม ทดสอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส



รูปที่ 2.14 โรเตอร์และช่องใส่ยางของเครื่อง Mooney viscometer [10]

การทดสอบทำได้โดยการตัดยางเป็นสองแผ่นให้มีขนาดพอเหมาะที่จะใส่เข้าไปได้ในห้องใส่ยาง ยางจะถูกอัดเข้าไปในช่องว่างด้วยความดันที่เหมาะสม ภายใต้อุณหภูมิ 100 ± 0.5 องศาเซลเซียส โดยให้ยางแผ่นหนึ่งวางบนโรเตอร์ อีกแผ่นวางไว้ข้างใต้ เมื่อโรเตอร์หมุนจะเกิดแรงเฉือนระหว่างผิว ส่วนแรงบิดที่เกิดขึ้นเนื่องจากความต้านทานต่อแรงเฉือนของยาง ซึ่งจะบอกถึงค่าความหนืดของยางในหน่วยของ MV (Mooney viscosity) โดยกำหนดให้แรงบิด 8.30 ± 0.02 นิวตัน-เมตร เทียบเท่ากับ 100 MV เมื่อใส่ชิ้นงานเข้าไปแล้วให้ความร้อนกับสารประกอบ

ยางเป็นเวลา 1 นาที ก่อนที่มอเตอร์เริ่มทำงาน สำหรับยางธรรมชาตินั้น การอ่านค่า MV อ่านหลังจากโรเตอร์หมุนไปประมาณ 4 นาที

ผลของการวัดความหนืดรายงานดังนี้ : 50 ML 1 + 4(100 °C) หมายความว่า ยางนี้มีความหนืด 50 MV วัดที่ 100 องศาเซลเซียส โดยอุ้งยางเป็นเวลา 1 นาที และอ่านค่าความหนืด เมื่อมอเตอร์ทำงานไปแล้ว 4 นาที ส่วน L หมายถึง ขนาดของโรเตอร์ซึ่งเป็นจานโลหะขนาดใหญ่

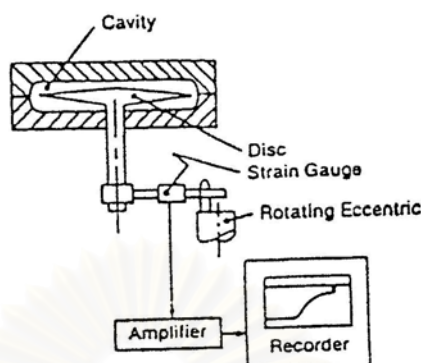
2.8.1.2 การวัดค่าเวลาการคงรูปก่อนกำหนด

ในทางปฏิบัติ สารประกอบยางอาจเกิดการคงรูปก่อนกำหนดขึ้นระหว่างการผสมและการแปรรูป โดยเฉพาะสารประกอบของยางธรรมชาติ จึงต้องใส่สารเร่งปฏิกิริยาการคงรูปเป็นสารสุดท้ายในการผสมสารต่าง ๆ เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดการคงรูปก่อนกำหนด นอกจากวัดค่าความหนืดของยางแล้ว เครื่อง Mooney viscometer ยังสามารถวัดค่าเวลาที่ยางเริ่มคงรูปก่อนกำหนด (scorch time) ของยางผสมสารเคมีด้วย

เมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้กับยางที่ทำการผสมสารเคมีแล้ว สารเร่งปฏิกิริยาและสารกระตุ้นปฏิกิริยาการคงรูป จะเริ่มทำปฏิกิริยาซึ่งใช้ระยะเวลาหนึ่ง อาจช้าหรือเร็วขึ้นกับอุณหภูมิและชนิดของสารเคมีที่ใช้ ในขณะเดียวกันเมื่อยางได้รับความร้อนเพิ่มขึ้นมีการอ่อนตัวลงอีกเล็กน้อย เมื่อผ่านระยะเวลาเริ่มต้นนี้ไปแล้ว สารเคมีเริ่มทำปฏิกิริยากับยาง เกิดพันธะเคมีระหว่างโมเลกุลของยาง ทำให้ยางเริ่มแข็งขึ้น เวลาที่ยางเริ่มแข็งตัวจนเห็นได้ชัดนี้เป็นเวลาที่ยางเริ่มคงรูปก่อนกำหนดซึ่งยางไหลยากขึ้นเนื่องจากยางเริ่มคงรูป ซึ่งปฏิกิริยาก็ยังดำเนินต่อไป ยางเริ่มแข็งขึ้นตามลำดับจนปฏิกิริยาเกิดอย่างสมบูรณ์ สำหรับการทดสอบสารประกอบยางจะใช้เครื่อง Mooney viscometer ทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส

การทดสอบด้วยวิธีนี้ไม่สามารถกระทำต่อไปจนถึงขั้นที่ยางเกิดการคงรูปเต็มที่ เนื่องจากความหนืดที่สูงมากจนทำให้โรเตอร์ไม่สามารถหมุนต่อไปได้ จึงต้องหาเวลาที่ใช้ทำให้ยางคงรูปโดยใช้เครื่อง curemeter ที่เรียกว่า "Monsanto Oscillating Disk Rheometer" (ODR)

2.8.2 Monsanto Oscillating Disk Rheometer (ODR)

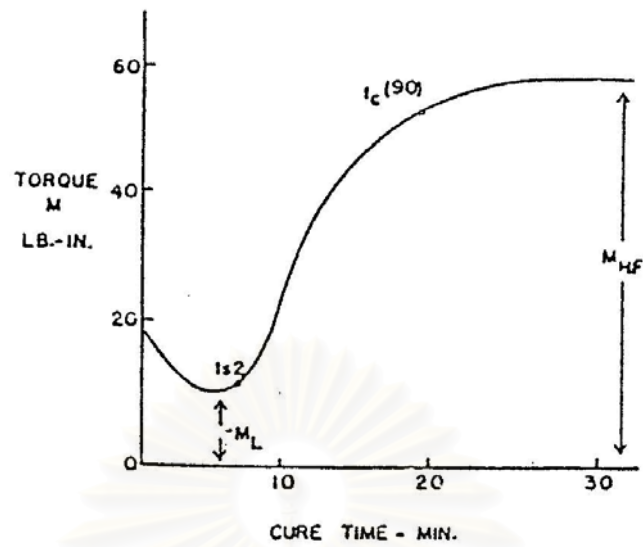


รูปที่ 2.15 Oscillating disk rheometer [10]

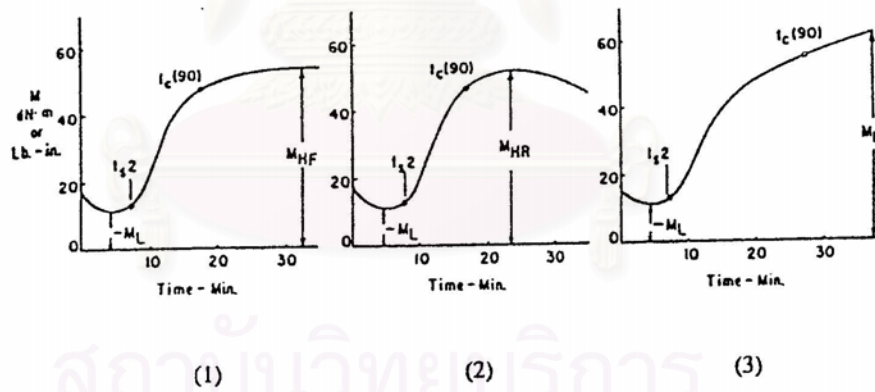
ODR เป็นเครื่องมือสำหรับหาเวลาในการคงรูปของสารประกอบยาง ประกอบด้วยโรเตอร์ที่เคลื่อนไหวในลักษณะแกว่งกลับไปกลับมา (oscillating disk) ตามองศาที่กำหนด (1° 3° หรือ 5°) และใช้คุณสมบัติในการทดสอบ 140 – 160 องศาเซลเซียส ซึ่งเครื่องนี้วัดแรงที่ต้องใช้ (torque) ในการแกว่งโรเตอร์ที่จมอยู่ในตัวอย่างยาง โดยยางถูกใส่ไว้ในช่องที่ถูกอัดด้วยแรงอัดสูง และมีการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ตามต้องการ การแกว่งของโรเตอร์นี้ไม่เป็นการทำลายตัวอย่างยาง เหมือนเช่นการทดสอบยางด้วยเครื่อง Mooney viscometer

ขณะที่ปฏิบัติการการคงรูปดำเนินไปนั้น แรงที่ต้องใช้เฉือนยางค่อย ๆ เพิ่มขึ้น และผลที่ได้ถูกบันทึกลงเป็นกราฟบนกระดาษ ตามระยะเวลาที่ใช้ในการทำให้ยางคงรูป โดยรูปที่ 2.16 เป็นลักษณะกราฟที่ได้จากเครื่อง ODR และจากกราฟแสดงให้เห็นถึง แรงต่ำสุด (minimum torque, M_L) แรงสูงสุด (maximum torque, M_{HF}) เวลาในการคงรูปก่อนกำหนด (scorch time, t_{s2}) และเวลาการคงรูปที่ 90 % ($t_c(90)$)

ลักษณะของกราฟภายหลังการคงรูปเต็มที่แล้วมี 3 แบบ ดังรูปที่ 2.17 ซึ่งขึ้นกับชนิดของสารประกอบยาง คือสารประกอบยางบางชนิดภายหลังการคงรูปเต็มที่แล้ว จะมีลักษณะของ torque คงที่ หรือสมดุลย์ (M_{HF}) สารประกอบยางธรรมชาติเมื่อผ่านการคงรูปเต็มที่แล้วจะมี torque ลดลงจากค่าสูงสุด (reversion) ซึ่งมีผลทำให้สมบัติของยางเสียไป ส่วนลักษณะการคงรูปอีกแบบหนึ่งเป็นแบบที่ torque เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ (marching) คือ ไม่ถึงจุดสมดุลย์หรือไม่ถึงจุดสูงสุด วิธีทดสอบ คือ ตัดยางเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดกว้าง 1.5 เซนติเมตร ยาว 1.5 เซนติเมตร โดยใช้ torque 25 อุณหภูมิประมาณ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที



รูปที่ 2.16 ลักษณะกราฟที่ได้จากเครื่อง ODR [7]



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 2.17 ลักษณะของกราฟการคงรูปแบบต่างๆ [7]

- (1) ลักษณะการคงรูปคงที่
- (2) ลักษณะการคงรูปที่ลดลง
- (3) ลักษณะการคงรูปที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

2.9 งานวิจัยในอดีต

C. S. L Baker และคณะ [12] ศึกษาอย่างผสมที่ทำให้มีความทนทานต่อการสัมผัสน้ำมัน โดยทำการผสม NR/NBR ในสัดส่วน 100% NR , 80/20 , 60/40 , 40/60 , 20/80 NR/NBR และ 100 % NBR บดผสมใน Laboratory Banbury ยกเว้นเติมซิงค์ออกไซด์ ซัลเฟอร์ และสารตัวเร่ง บนเครื่องบด 2 ลูกกลิ้ง ผลการศึกษาพบว่า การผสม 20/80 NR/NBR สามารถใช้งานเช่นกรณีการใช้ NBR เพียงอย่างเดียว สำหรับผลิตภัณฑ์ต่างๆ ทั่วไปที่ใช้ NBR ยกเว้นการใช้กับงานที่ต้องการเน้นด้านความทนทานต่อการสัมผัสน้ำมัน ในบางกรณีที่ใช้ยาง NBR ทำให้มีการหดตัว ฉะนั้นการผสม 20 % NR ซึ่งแสดงสมบัติการบวม (swelling) ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบโดยเฉพาะกรณีของการนำไปใช้งานประเภทยาง seal ต่าง ๆ

A. Y. Coran , O. Chung และ P. Laokijcharoen [13] ศึกษาโครงสร้างวิภาคของพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางกับพลาสติกซึ่งคุณสมบัติที่เด่นของ TPE ที่เตรียมโดยวิธีการวัลคาไนซ์แบบไดนามิกส์ เทอร์โมพลาสติกวัลคาไนเซท (TPVs) เหล่านี้ประกอบด้วยอนุภาคของยางที่คงรูปแล้วกระจัดกระจายอยู่ในพลาสติกในขณะที่อยู่ในสภาวะที่หลอมเหลว ในงานวิจัยนี้กล่าวถึงโครงสร้างของพอลิเมอร์ผสมก่อนการวัลคาไนซ์แบบไดนามิกส์ พอลิเมอร์ผสมระหว่างยางและพลาสติก ได้ถูกนำมาใช้ในเชิงการค้าในรูปของ TPE หรือ rubber toughened plastic โดยทั่วไป ถ้าในพอลิเมอร์ผสมมีส่วนของยางมาก ทำให้ได้พอลิเมอร์ผสมที่นิ่ม และมีคุณสมบัติไปในทางยาง คุณสมบัติเชิงกลและทางการไหลของพอลิเมอร์ ไม่เพียงแต่ขึ้นกับองค์ประกอบของพอลิเมอร์ แต่ยังขึ้นกับโครงสร้างของพอลิเมอร์ผสมด้วย จากการศึกษา พบว่าโครงสร้างของพอลิเมอร์ผสมขึ้นอยู่ กับสัดส่วนของพอลิเมอร์แต่ละชนิด , สัดส่วนความหนืด และ สัดส่วนความยืดหยุ่นของแต่ละพอลิเมอร์ , แรงตึงผิวระหว่างพอลิเมอร์ทั้งสอง , สภาวะในกระบวนการแปรรูป เช่น strain rate ของการผสม , พลาสติกที่หลอมเหลว , ชนิดการไหลของพอลิเมอร์ขณะแปรรูป เป็นต้น งานวิจัยนี้เน้นเกี่ยวกับองค์ประกอบที่นุ่มแบบยางที่มีจำนวนมากในวิภาคยาง โดยศึกษาผลของการไหลของพอลิเมอร์และผลของแรงตึงผิว ที่มีต่อโครงสร้างของพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางกับพลาสติก ขณะที่ผสมในสภาวะที่หลอมเหลว , การทำให้เย็นและการอัดแม่แบบ นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาพอลิเมอร์ผสม ระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิเอทิลีน โดยพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างขณะผสมกับพอลิเอทิลีนในสภาวะหลอมเหลว

Sachio Hayashi [14] ศึกษาโครงสร้างและสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม ระหว่าง NBR และ Zinc Di-Methacrylate ซึ่งยาง NBR ชนิดอิมิตัว เป็นยางที่มีสมบัติในด้านการทนน้ำมันชนิดอื่น ๆ ทนความร้อนและโอโซนได้ดี นอกจากนี้ยังให้ความทนทานต่อแรงดึงสูงกว่ายางทนน้ำมันชนิดอื่น ๆ จากการทดลอง พบว่าผสม Zinc di-Methacrylate (ZDMA) ลงไปในยาง NBR ชนิดอิมิตัว

ตัว ทำให้มีความทนทานต่อแรงดึงมากกว่า 50 MPa ขึ้นไป และจากการค้นพบนี้จึงได้มีการพัฒนาเพื่อผลิตในเชิงอุตสาหกรรม ซึ่งทำได้โดยการผสมยาง NBR ชนิดอิมิตัวกับซิงค์ออกไซด์และกรดเมทาคริลิกเข้าด้วยกันโดยใช้เทคนิคพิเศษ จากนั้นจึงทำการศึกษาเปรียบเทียบโครงสร้างและสมบัติเชิงกลของยางผสมที่ได้จากห้องทดลองและจากการผลิตในเชิงการค้า

D. S. Campbell และคณะ [15] ได้ศึกษาการผสมยางธรรมชาติชนิดคุณภาพสูงกับ crystalline polyolefins เช่น high density polyethylene (PE) and/or isotactic polypropylene (PP) โดยใช้เครื่องบดผสมระบบปิด (internal mixer) ที่ใช้กับการขึ้นรูป โดยใช้เครื่องฉีด (injection moulding) ในการบดผสมจำเป็นต้องผสมที่อุณหภูมิสูงเกินจุดหลอมตัวของเทอร์โมพลาสติก เช่น การผสม NR/PP จะต้องใช้อุณหภูมิ 165 – 175 °C จากการศึกษาผลของการแปรสัดส่วน NR/PP ซึ่งใช้ NR/PP : 65/35 , 60/40 , 50/50 , 40/60 พบว่า ความแข็งแรงลดลงเมื่อปริมาณ PP เพิ่ม และเมื่อใช้ HDPE แทน PP ก็พบว่าความแข็งแรงลดลงน้อยกว่าเล็กน้อย แรงที่ใช้ดึงยางจนขาด (tensile strength) เพิ่มขึ้นเมื่อสัดส่วนของเทอร์โมพลาสติกเพิ่มขึ้น ขณะเดียวกันการใช้ peroxide ในการ cure จะน้อยลงเมื่อเพิ่มเทอร์โมพลาสติก จากผลการศึกษาสรุปว่ายางผสม NR/PP or PE มีความเหมาะสมการใช้งานที่ต้องการสมบัติ stiff , flexible เช่น อุปกรณ์สำหรับรถยนต์และงานผลิตรองเท้า เป็นต้น โดยสามารถใช้ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากยางผสมนี้กับงานที่ต้องสัมผัสกับอุณหภูมิ - 30 ถึง + 70 °C

ดร.วิไลพร เจตน์จันทร์, วรณิ สุทธิถวิล และนวนจันท์ ฉันทศาสตร์วิรมี [16] ศึกษาผลขององค์ประกอบของพีวีซีและยางไนไตรล์ รวมทั้งชนิดของเครื่องผสมต่อสมบัติเชิงกล สมบัติการไหลและ morphology ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพีวีซีและยางไนไตรล์ จากการทดลองพบว่า ปริมาณของยางไนไตรล์ , แคลเซียมคาร์บอเนต , น้ำหนักโมเลกุลของพีวีซี (K-Value of PVC – resin) , เวลาที่ใช้ในการผสมและชนิดของเครื่องผสม มีผลต่อสมบัติเชิงกล , สมบัติในทางการไหล และลักษณะทางโครงสร้างมัธยฐาน (morphology) ของพีวีซีคอมเปาเวต์ นอกจากนี้ยังพบว่า ความหนืดของพีวีซีคอมเปาเวต์เป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณยางไนไตรล์ที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม การเติมแคลเซียมคาร์บอเนตช่วยให้การไหลของพีวีซีคอมเปาเวต์ดีขึ้น การผสมยางไนไตรล์กับพีวีซีที่มีน้ำหนักโมเลกุล K = 66 หรือ K = 77 ทำให้พีวีซีคอมเปาเวต์ที่ทนทานต่อแรงดึงสูง ส่วนสมบัติในด้านการกระดอน (Resilience) เพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับน้ำหนักโมเลกุลของพีวีซีและปริมาณยางไนไตรล์ จากภาพถ่ายอิเล็กตรอน (SEM) พบว่า เวลาที่ใช้ในการผสมมีผลต่อ morphology ของพีวีซีคอมเปาเวต์ และการผสมพีวีซีคอมเปาเวต์ในเครื่องผสมแบบบานบุรี (Banbury type mixer) ให้สมบัติเชิงกลที่ดีกว่าการผสมในเครื่องอัดรีดแบบเกลียวคู่ (Twin screw extruder)

K. E. George, Rani Joseph and D. Joseph Francis [17] ศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการบดผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ เพื่อให้ได้อุณหภูมิที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์ผสม และศึกษาอัตราส่วนของพีวีซีและยางไนไตรล์ พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ คือ (พีวีซี:ยางไนไตรล์) 30:70 ที่อุณหภูมิ 155 องศาเซลเซียส และได้ศึกษาสารคงสภาพสำหรับพีวีซี ได้แก่ แมกนีเซียมออกไซด์ , ซิงค์ออกไซด์ และกรดสเตียริก พบว่าสารคงสภาพที่ใช้มีประโยชน์อย่างมากในการผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ และให้สมบัติทางกายภาพที่ดีขึ้น

K. E. George, Rani Joseph, D. Joseph Francis and K. T. Thomas [18] ได้ใช้ยางธรรมชาติ , ยางสไตรีน-บิวทาไดอีน และยางพอลิบิวทาไดอีน ทดแทนในยางไนไตรล์ ที่อัตราส่วนของพีวีซีและยางไนไตรล์ คือ (พีวีซี:ยางไนไตรล์) 30:70 โดยใช้ยางธรรมชาติ , ยางสไตรีน-บิวทาไดอีน และยางพอลิบิวทาไดอีน ทดแทนที่ 15 และ 30 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักพอลิเมอร์ผสมรวมทั้งหมด เพื่อให้ได้สมบัติทางกายภาพที่ดีขึ้น ขณะที่ต้นทุนการผลิตลดลง พบว่ายางสไตรีน-บิวทาไดอีนสามารถทดแทนในยางไนไตรล์ได้ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักพอลิเมอร์ผสมรวมทั้งหมด โดยไม่ทำให้สมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์ผสมลดลง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- 3.1.1 ยางธรรมชาติ : STR 5L ของ บริษัท ไทยฮั้ว ยางพารา จำกัด (มหาชน)
- 3.1.2 ยางพอลิบิวทาไดอิน : BR 01 ของ บริษัท บีเอสที อีลาสโตเมอร์ จำกัด
- 3.1.3 ยางสไตรีนบิวทาไดอิน : SBR 1502 ของ บริษัท บีเอสที อีลาสโตเมอร์ จำกัด
- 3.1.4 ยางไนไตรล์ : DN 207 ของ Nipol Rubber
- 3.1.5 พีวีซี : TPC SG 640 ของ บริษัท ไทยพลาสติกและเคมีภัณฑ์ จำกัด (มหาชน)
- 3.1.6 สารกระตุ้น : ซิงค์ออกไซด์ ชนิด white seal ของ บริษัท ยูนิไทยออกไซด์ จำกัด
- 3.1.7 สารกระตุ้น : กรดสเตียริก ของ บริษัท อิมพีเรียล (ไทย) จำกัด
- 3.1.8 สารเร่ง : N-cyclohexyl-2-benzothiazyl sulphenamide (CBS) ของ Flexsys Co.,Ltd.
- 3.1.9 สารเร่ง : Tetramethyl thiuramdisulphide (TMTD) ของ Flexsys Co.,Ltd.
- 3.1.10 สารคงรูป : กำมะถัน ของ Loxley Public Co.,Ltd.
- 3.1.11 สารคงสภาพ (Stabilizer) สำหรับ พีวีซี ได้แก่
 - แมกนีเซียมออกไซด์ ของ บริษัท ยูนิไทยออกไซด์ จำกัด
 - ซิงค์ออกไซด์ ของ บริษัท ยูนิไทยออกไซด์ จำกัด
 - กรดสเตียริก ของ บริษัท อิมพีเรียล (ไทย) จำกัด

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

- 3.2.1 เครื่องบดผสมแบบเปิด ชนิด 2 ลูกกลิ้ง (two-roll mill) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลูกกลิ้ง 8 × 20 นิ้ว
- 3.2.2 เครื่องอัดไฮดรอลิก ขนาดแท่นอัด 30 × 30 เซนติเมตร แรงอัด 150 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

3.2.3 เครื่องตัดตัวอย่างยางแบบใช้กำลังลม (Compressed air sample cutter)

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

3.3.1 เครื่องทดสอบหาความหนืดของยาง (Mooney Viscometer)

3.3.2 เครื่องทดสอบหาเวลาและลักษณะการคงรูปของพอลิเมอร์ผสม (Rheometer ชนิด moving die type)

3.3.3 เครื่องทดสอบแรงดึงของยาง (Tensile Tester)

3.3.4 เครื่องทดสอบการสึกหรอของยาง (Akron Abrasion Tester)

3.3.5 เครื่องทดสอบการกระดอนของยาง (Rebound Resilience Tripsometer)

3.3.6 เครื่องทดสอบการยุบตัวของยาง (Compression Set Tester)

3.3.7 เครื่องทดสอบความแข็งของยาง (Hardness Tester)

3.3.8 เครื่องทดสอบการบ่มเร่งด้วยความร้อน (Rubber aging oven)

3.4 สูตรพอลิเมอร์ผสมที่ใช้ในงานวิจัย

สำหรับพอลิเมอร์ผสมที่ใช้ในงานวิจัย

1. สูตรสารเคมีสำหรับยาง อัตราส่วนดังตารางที่ 3.1
2. สูตรสารคงสภาพสำหรับพีวีซี อัตราส่วนดังตารางที่ 3.2
3. สูตรพอลิเมอร์ผสมของพีวีซีและยางไนไตรล์ อัตราส่วนดังตารางที่ 3.3
4. สูตรพอลิเมอร์ผสมของพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยใช้ยางธรรมชาติทดแทนบางส่วนของยางไนไตรล์ อัตราส่วนดังตารางที่ 3.4
5. สูตรพอลิเมอร์ผสมของพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยใช้ยางสไตรีนบิวทาไดอีนทดแทนบางส่วนของยางไนไตรล์ อัตราส่วนดังตารางที่ 3.5
6. สูตรพอลิเมอร์ผสมของพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยใช้ยางบิวทาไดอีนทดแทนบางส่วนของยางไนไตรล์ อัตราส่วนดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.1 สูตรสารเคมีสำหรับยาง

สารเคมี	ปริมาณ (Parts Per Hundred Parts of Total Rubber(s))
ซิงค์ออกไซด์	2.5
กรดสเตียริก	1.5
CBS	1.2
TMTD	0.2
กำมะถัน	2.2

ตารางที่ 3.2 สูตรสารคงสภาพสำหรับพีวีซี

สารคงสภาพ	ปริมาณ (Parts Per Hundred Parts of PVC)
แมกนีเซียมออกไซด์	4.0
ซิงค์ออกไซด์	4.0
กรดสเตียริก	3.0

ตารางที่ 3.3 สูตรพอลิเมอร์ผสมของพีวีซีและยางไนไตรล์

วัตถุดิบ	ปริมาณ (% โดยน้ำหนัก)						
	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5	สูตร 6	สูตร 7
PVC	0	10	20	30	40	50	60
NBR	100	90	80	70	60	50	40

ตารางที่ 3.4 สูตรพอลิเมอร์ผสมของพีวีซี ยางไนไตรล์และยางธรรมชาติ

วัตถุดิบ	ปริมาณ (% โดยน้ำหนัก)								
	10 % NR			20 % NR			30 % NR		
	สูตร 8	สูตร 9	สูตร 10	สูตร 11	สูตร 12	สูตร 13	สูตร 14	สูตร 15	สูตร 16
PVC	20	30	40	20	30	40	20	30	40
NBR	70	60	50	60	50	40	50	40	30
NR	10	10	10	20	20	20	30	30	30

ตารางที่ 3.5 สูตรพอลิเมอร์ผสมของพีวีซี ยางไนไตรล์และยางสไตรีน-บิวทาไดอีน

วัตถุดิบ	ปริมาณ (% โดยน้ำหนัก)								
	10 % SBR			20 % SBR			30 % SBR		
	สูตร	สูตร	สูตร	สูตร	สูตร	สูตร	สูตร	สูตร	สูตร
	17	18	19	20	21	22	23	24	25
PVC	20	30	40	20	30	40	20	30	40
NBR	70	60	50	60	50	40	50	40	30
SBR	10	10	10	20	20	20	30	30	30

ตารางที่ 3.6 สูตรพอลิเมอร์ผสมของพีวีซี ยางไนไตรล์และยางพอลิบิวทาไดอีน

วัตถุดิบ	ปริมาณ (% โดยน้ำหนัก)								
	10 % BR			20 % BR			30 % BR		
	สูตร	สูตร	สูตร	สูตร	สูตร	สูตร	สูตร	สูตร	สูตร
	26	27	28	29	30	31	32	33	34
PVC	20	30	40	20	30	40	20	30	40
NBR	70	60	50	60	50	40	50	40	30
BR	10	10	10	20	20	20	30	30	30

3.5 ขั้นตอนการบดผสมพอลิเมอร์ผสม

1. คำนวณปริมาณของพอลิเมอร์ผสม และสารเคมีที่ใช้ ตามตารางที่ 3.1 – 3.6
2. ชั่งน้ำหนักของยาง และสารเคมีต่าง ๆ
3. การบดผสมพอลิเมอร์ผสม

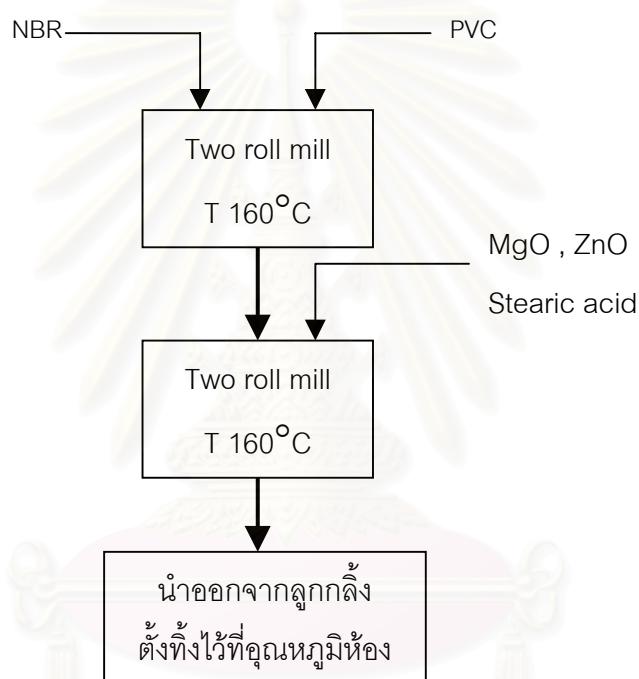
- 3.1 บดยางไนไตรล์ ในเครื่องบดผสมแบบเปิด ชนิดสองลูกกลิ้งก่อนเป็นเวลา 2 นาที อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส (เนื่องจากอุณหภูมิการหลอมเหลวของพีวีซีอยู่ระหว่าง 160 – 200 องศาเซลเซียส) หลังจากนั้นเติมพีวีซี , ซิงค์ออกไซด์ , แมกนีเซียมออกไซด์ และ กรดสเตียริก ผสมกับยางไนไตรล์ บดผสมต่ออีก 10 นาที แล้วนำออกจากลูกกลิ้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง
- 3.2 สำหรับสูตรพอลิเมอร์ผสมของพีวีซีและยางไนไตรล์ ปรับอุณหภูมิของลูกกลิ้งที่ 70 องศาเซลเซียส บดพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ที่ผสมแล้วในขั้นตอนที่ 3.1 เป็นเวลา 2 นาที ใส่ซิงค์ออกไซด์ และ กรดสเตียริก ลงไปบดผสมเป็นเวลา 2 นาที แล้วตามด้วย TMTD และ CBS บดผสมต่ออีก 2 นาที แล้วจึงใส่กำมะถันลงไปบดผสมกับ

ยาง 4 – 5 นาที เมื่อกำมะถันผสมเข้ากับพอลิเมอร์ผสมแล้วให้วัดอุณหภูมิของพอลิเมอร์ผสมทันทีที่นำออกจากลูกกลิ้ง และวัดอุณหภูมิของลูกกลิ้งทั้งสองด้วย เพื่อไม่ให้อุณหภูมิสูงเกินไป แล้วทำการชั่งน้ำหนักของพอลิเมอร์ผสมที่บดได้ เพื่อหาน้ำหนักที่หายไป ค่าที่ถูกต้องไม่ควรเกิน 2 %

- 3.3 สำหรับสูตรพอลิเมอร์ผสมของพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยใช้ยางธรรมชาติทดแทนบางส่วนของยางไนไตรล์ ปรับอุณหภูมิของลูกกลิ้งที่ 70 องศาเซลเซียส บดยางธรรมชาติเป็นเวลา 5 นาที (เพื่อปรับค่าความหนืดของยางธรรมชาติ ให้ใกล้เคียงกับพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์) หลังจากนั้นบดพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ที่ผสมแล้วในขั้นตอนที่ 3.1 เป็นเวลา 2 นาที ใส่ซิงค์ออกไซด์ และ กรดสเตียริก ลงไปบดผสมเป็นเวลา 2 นาที แล้วตามด้วย TMTD และ CBS บดผสมต่ออีก 2 นาที แล้วจึงใส่กำมะถันลงไปบดผสมกับยาง 4 – 5 นาที เมื่อกำมะถันผสมเข้ากับพอลิเมอร์ผสมแล้วให้วัดอุณหภูมิของพอลิเมอร์ผสมทันทีที่นำออกจากลูกกลิ้ง และวัดอุณหภูมิของลูกกลิ้งทั้งสองด้วย เพื่อไม่ให้อุณหภูมิสูงเกินไป แล้วทำการชั่งน้ำหนักของพอลิเมอร์ผสมที่บดได้ เพื่อหาน้ำหนักที่หายไป ค่าที่ถูกต้องไม่ควรเกิน 2 %
- 3.4 สำหรับสูตรพอลิเมอร์ผสมของพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยใช้ยางสไตรีนบิวทาไดอีนทดแทนบางส่วนของยางไนไตรล์ ปรับอุณหภูมิของลูกกลิ้งที่ 70 องศาเซลเซียส บดยางสไตรีนบิวทาไดอีนเป็นเวลา 2 นาที (เพื่อปรับค่าความหนืดของยางสไตรีนบิวทาไดอีน ให้ใกล้เคียงกับพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์) หลังจากนั้นบดพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ที่ผสมแล้วในขั้นตอนที่ 3.1 เป็นเวลา 2 นาที ใส่ซิงค์ออกไซด์ และ กรดสเตียริก ลงไปบดผสมเป็นเวลา 2 นาที แล้วตามด้วย TMTD และ CBS บดผสมต่ออีก 2 นาที แล้วจึงใส่กำมะถันลงไปบดผสมกับยาง 4 – 5 นาที เมื่อกำมะถันผสมเข้ากับพอลิเมอร์ผสมแล้วให้วัดอุณหภูมิของพอลิเมอร์ผสมทันทีที่นำออกจากลูกกลิ้ง และวัดอุณหภูมิของลูกกลิ้งทั้งสองด้วย เพื่อไม่ให้อุณหภูมิสูงเกินไป แล้วทำการชั่งน้ำหนักของพอลิเมอร์ผสมที่บดได้ เพื่อหาน้ำหนักที่หายไป ค่าที่ถูกต้องไม่ควรเกิน 2 %
- 3.5 สำหรับสูตรพอลิเมอร์ผสมของพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยใช้ยางบิวทาไดอีนทดแทนบางส่วนของยางไนไตรล์ ปรับอุณหภูมิของลูกกลิ้งที่ 70 องศาเซลเซียส บดยางบิวทาไดอีนเป็นเวลา 2 นาที (เพื่อปรับค่าความหนืดของยางบิวทาไดอีน ให้ใกล้เคียงกับพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์) หลังจากนั้นบดพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ที่ผสมแล้วในขั้นตอนที่ 3.1 เป็นเวลา 2 นาที ใส่ซิงค์ออกไซด์ และ กรดสเตียริก ลงไปบดผสมเป็นเวลา 2 นาที แล้วตามด้วย TMTD และ CBS บดผสมต่ออีก 2 นาที แล้วจึงใส่กำมะถันลงไปบดผสมกับยาง 4 – 5 นาที เมื่อกำมะถันผสมเข้ากับพอลิเมอร์ผสมแล้ว

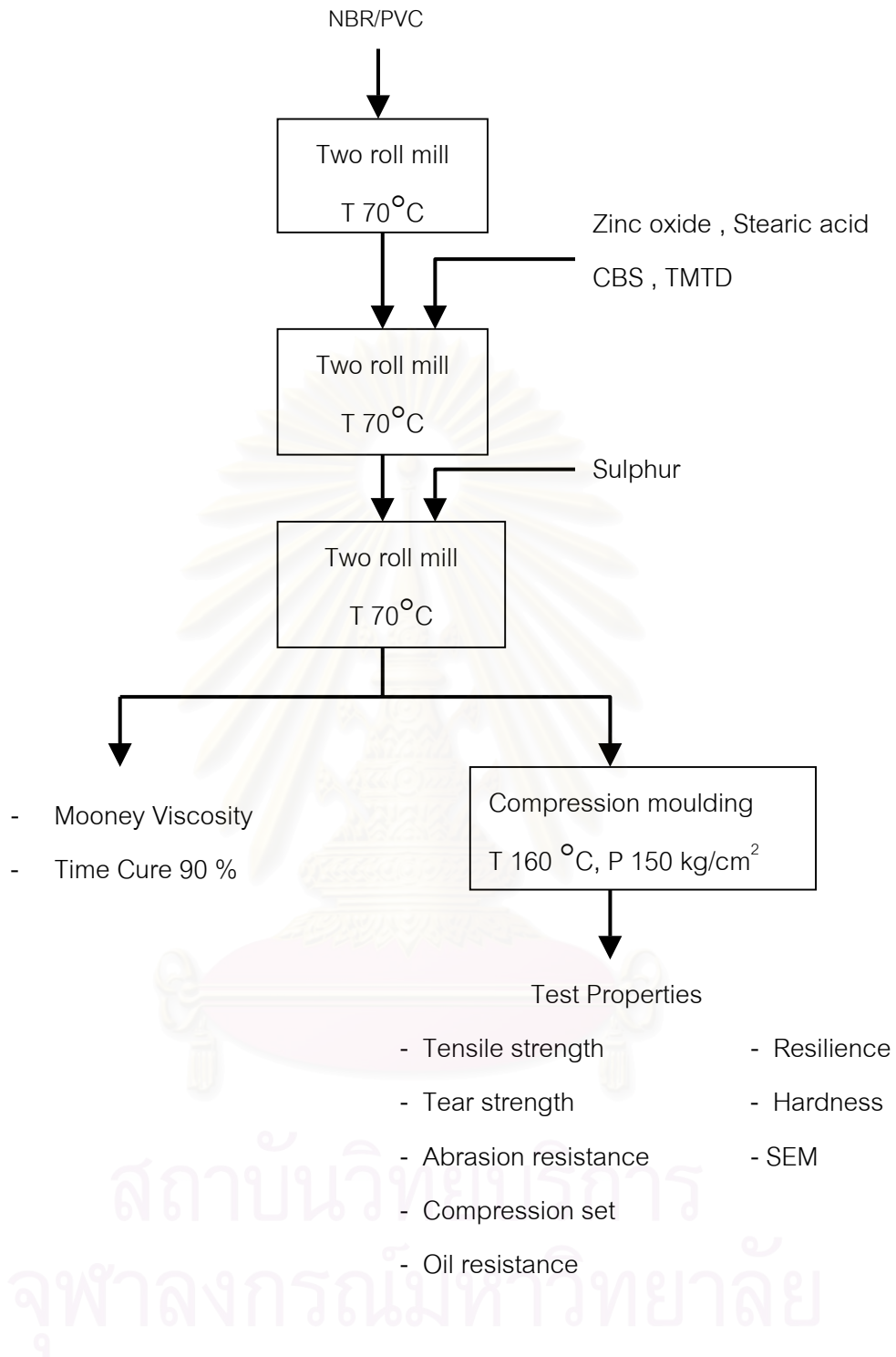
ให้วัตถุดิบของพอลิเมอร์ผสมที่นำออกจากลูกกลิ้ง และวัตถุดิบของลูกกลิ้ง ทั้งสองด้วย เพื่อไม่ให้อุณหภูมิสูงเกินไป แล้วทำการชั่งน้ำหนักของพอลิเมอร์ผสมที่บดได้ เพื่อหาน้ำหนักที่หายไป ค่าที่ถูกต้องไม่ควรเกิน 2 %

4. ทิ้งพอลิเมอร์ผสมที่บดได้ไว้ 1 คืน แล้วจึงนำมาทดสอบ

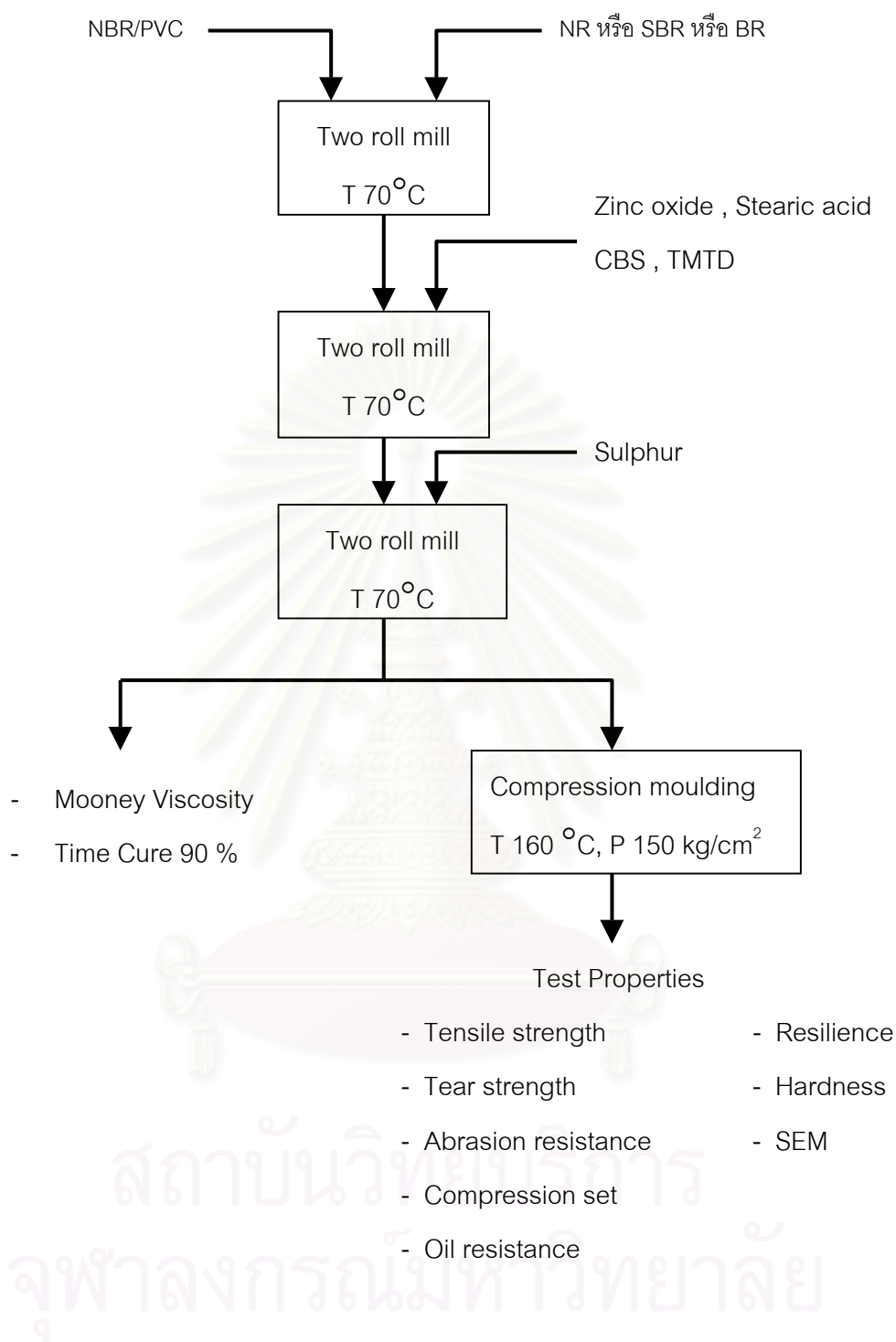


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.1 ขั้นตอนผสมพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรด์



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการทดลองสำหรับสูตรที่ 1 - 7



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการทดลองสำหรับสูตรที่ 8 - 34

3.6 การทดสอบการคงรูปและการเตรียมชิ้นทดสอบของพอลิเมอร์ผสม

3.6.1 หาเวลาที่ใช้ในการคงรูป โดยเครื่อง Rheometer ของ Monsanto : Model MDR 2000 ทดสอบตาม ISO 289 - 1963 ใช้ชิ้นทดสอบเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสกว้าง 1.5 เซนติเมตร ยาว 1.5 เซนติเมตร หนา 5 มิลลิเมตร ทดสอบที่ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

3.6.2 หาค่าความหนืดของพอลิเมอร์ผสม โดยใช้เครื่อง Mooney viscometer ของ Shimadzu ทดสอบตาม ISO 3417 - 1977(E) ใช้ชิ้นงานที่เป็นวงกลม 2 ชั้น เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 6 เซนติเมตร หนาประมาณ 5 มิลลิเมตร น้ำหนักประมาณ 20 กรัม ทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที นำยางประกบด้านบนและล่างของโรเตอร์ใส่ในช่องใส่ยาง แล้วเดินเครื่องโดยทำการอุ่นเครื่องเป็นเวลา 1 นาที และโรเตอร์หมุน วัดความหนืดเป็นเวลา 4 นาที

3.6.3 หาเวลาการคงรูปก่อนกำหนดของพอลิเมอร์ผสม โดยใช้เครื่อง Mooney viscometer ของ Shimadzu : Model SMV - 201 เรียกว่า การหาค่า Mooney scorch สำหรับวิธีการทดสอบทำเช่นเดียวกับการหาค่าความหนืดในข้อ 3.6.2 แต่ใช้อุณหภูมิในการทดสอบ 121 องศาเซลเซียส

3.6.4 การเตรียมชิ้นทดสอบจากพอลิเมอร์ผสม ตามลักษณะของแม่พิมพ์ ซึ่งใช้เวลาที่หาได้จากเครื่อง Rheometer

ก. สี่เหลี่ยมผืนผ้า กว้าง 14 เซนติเมตร ยาว 16 เซนติเมตร หนา 2 มิลลิเมตร เป็นจำนวน 5 แผ่น สำหรับการทดสอบความทนต่อแรงดึง , ความต้านทานต่อการฉีกขาด และความต้านทานต่อของเหลว ใช้ t_{c90} เป็นเวลาในการคงรูป

ข. สี่เหลี่ยมจัตุรัส กว้าง 15 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตร หนา 6 มิลลิเมตร จำนวน 2 แผ่น สำหรับการทดสอบการกระดอน ใช้ t_{c90} เป็นเวลาในการคงรูป

ค. ทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร หนา 1.4 เซนติเมตร จำนวน 6 ชิ้น สำหรับการทดสอบการคืนตัว ใช้เวลาสองเท่าของ t_{c90} เป็นเวลาในการคงรูป

ง. ทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร หนา 30 มิลลิเมตร จำนวน 3 ชิ้น สำหรับการทดสอบความต้านทานต่อการสึกหรอบแบบ Akron ใช้เวลาสองเท่าของ t_{c90} เป็นเวลาในการคงรูป

สังเกตได้ว่าเวลาที่ใช้ในการคงรูปของชิ้นทดสอบแต่ละชนิดใช้ไม่เท่ากัน เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการคงรูปนั้นขึ้นกับความหนาของชิ้นทดสอบ คือ ชิ้นทดสอบที่ไม่หนามาก (ไม่เกิน 1 เซนติเมตร) ใช้ t_{c90} เป็นเวลาในการคงรูป ส่วนชิ้นงานที่มีความหนามาก (เกิน 1 เซนติเมตร) ใช้

เวลาเป็น 2 เท่าของ t_{c90} เป็นเวลาในการคงรูป นำยางที่คงรูปแล้วมาตัดให้เป็นรูปร่างตามมาตรฐานการทดสอบแบบต่าง ๆ เพื่อทดสอบในขั้นต่อนต่อไป โดยใช้เครื่องตัดตัวอย่างยางแบบใช้กำลังลม (compress air sample cutter)

3.7 การทดสอบสมบัติของพอลิเมอร์ผสมที่ผ่านการคงรูป

3.7.1 ความทนแรงดึง (Tensile strength)

ทดสอบตามมาตรฐาน ISO 37 โดยเครื่อง Instron และมีเลเซอร์เป็นเครื่องจับระยะของการยืดของยาง load cell ที่ใช้มีขนาด 500 นิวตัน ความเร็วการดึง 500 มิลลิเมตรต่อนาที เมื่อถูกดึงจนขาด

3.7.2 ความทนการฉีกขาด (Tear strength)

ทดสอบตามมาตรฐาน ISO 34 โดยเครื่อง LLOYD ใช้ load cell 500 นิวตัน ความเร็วของการเคลื่อนที่ของหัวจับ (grip) 500 มิลลิเมตรต่อนาที ตัดขึ้นทดสอบเป็นแบบ angle (ASTM DIE C) โดยตัดขวางแนวเครื่อง ขึ้นทดสอบมีความหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร

3.7.3 ความต้านทานต่อการสึกหรอ (Abrasion resistance)

การทดสอบความต้านทานต่อการสึกหรอแบบ Akron ขึ้นทดสอบ 2 ชั้น มีลักษณะเป็นวงล้อ เส้นผ่านศูนย์กลางวงนอก 6.3 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางวงใน 1.3 เซนติเมตร หนา 1.3 เซนติเมตร โดยขึ้นทดสอบที่วัดค่าความหนาแน่นแล้วถูกขัดสีกับวงล้อหินจำนวน 500 รอบ แล้วชั่งน้ำหนักที่หายไป คำนวณหาปริมาตรที่หายไป แล้วทำ Running - In 1 ครั้ง และ Test Run 5 ครั้ง ตามตารางที่ 3.7 หลังจากนั้นชั่งน้ำหนักที่หายไป แล้วคำนวณหาปริมาตรที่หายไปต่อ 1,000 รอบ คำนวณหาค่าเฉลี่ยของขึ้นทดสอบ

ตารางที่ 3.7 การทดสอบความต้านทานต่อการสึกหรอแบบ Akron

Approximate Running - In and Test Run		
Volume less in 500 - Revolution Trial Run (ml)	Revolutions (Additional to Trial Run)	
	Running - In	Test Run
Above 0.05 , not above 0.10	4000	1000
Above 0.10 , not above 0.20	2000	500
Above 0.20 , not above 0.40	750	250
Above 0.40	500	125

3.7.4 การกระดอน (Resilience)

ทดสอบตามมาตรฐาน BS 903 part A8 โดยเครื่อง Wallace Dunlop Tripsometer ขึ้นทดสอบมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.5 เซนติเมตร หนา 4 มิลลิเมตร ก่อนทำการทดสอบต้องทำการอุ่นขึ้นทดสอบเป็นเวลา 5 นาที ตั้งจานเหวี่ยงที่ 45° ปล่อยจานเหวี่ยงลงตีขึ้นทดสอบ แล้วทำเช่นนี้ซ้ำ 6 ครั้ง เพื่อเป็นการอุ่นขึ้นทดสอบ เริ่มทำการทดสอบขึ้นทดสอบ โดยทำการตั้งจานเหวี่ยงที่ 45° ปล่อยจานเหวี่ยงลงตีขึ้นทดสอบ บันทึกค่าที่ได้ 3 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยเป็นเปอร์เซ็นต์ของการกระดอน

3.7.5 การยุบตัว (Compression set)

ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM 395 – 89 โดยเครื่อง Compression Set Tester MILANO/ITALIA นำขึ้นทดสอบมากดให้มีความหนาลดลง 25 เปอร์เซ็นต์ ประมาณ 9.5 มิลลิเมตร แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 22 ชั่วโมง จึงนำมาวัดความหนาที่ลดลง แล้วนำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การยุบตัวของขึ้นทดสอบ เปอร์เซ็นต์การยุบตัวน้อยแสดงว่ามีการคืนตัวที่ดี เปอร์เซ็นต์การยุบตัวมากแสดงว่ามีการคืนตัวไม่ดี

เปอร์เซ็นต์การยุบตัวสามารถคำนวณได้ตามสูตร

$$\% \text{ Compression Set} = \frac{(t_0 - t_1)}{(t_0 - t_n)} \times 100 \quad \text{_____}(1)$$

t_0 = Original Thickness (mm)

t_1 = Final Thickness (mm)

t_n = Spacer Bar (mm)

3.7.6 ความแข็ง (Hardness)

ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 2240 โดยเครื่อง Lever Loader Model 917 สำหรับยางที่ใช้ในการวิจัยนี้ใช้น้ำหนักถ่วง 1 กิโลกรัม และใช้ shore A เป็นหัววัดที่ใช้ในการทดสอบ ก่อนทำการทดสอบต้องทำการตรวจสอบการอ่านค่าความแข็งจากยางมาตรฐานที่ใช้กับ shore A ก่อน โดยยางมาตรฐานมีดังนี้

A ความแข็ง 33.1	E ความแข็ง 71.8
B ความแข็ง 41.9	F ความแข็ง 80.5
C ความแข็ง 55.7	G ความแข็ง 90.1
D ความแข็ง 63.2	

การทดสอบกับยางมาตรฐานทำได้โดย ปรับระยะห่างระหว่างหัวกับฐานรองรับ ขึ้นทดสอบให้ได้ประมาณ 5 มิลลิเมตร วางตุ้มน้ำหนักถ่วงขนาด 1 กิโลกรัม บนแกนรองรับของ หัววัด แล้วทำการทดสอบเครื่องด้วยยางมาตรฐานเป็นเวลา 1 วินาที เมื่อทดสอบกับยางมาตรฐานได้แล้วจึงนำชิ้นทดสอบมาทำการทดสอบเป็นเวลา 15 วินาที

3.7.7 การบ่มเร่งด้วยความร้อน (Heat aging)

ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D573 โดยเครื่อง Ueshima (Geer's rubber aging oven) ซึ่งทำการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบสมบัติก่อนและหลังอบด้วยความร้อน สำหรับ สมบัติความต้านทานแรงดึง ความต้านทานต่อการฉีกขาด ความแข็ง และการคืนตัว โดยนำชิ้น ทดสอบไปเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 22 ชั่วโมง แล้วทิ้งไว้ให้เย็นอย่าง น้อยครึ่งชั่วโมงในอุณหภูมิที่จะทดสอบ แล้วนำไปทดสอบสมบัติที่ต้องการ

ตัวกลางที่ให้ความร้อนภายในตู้อบเป็นอากาศร้อนซึ่งหมุนเวียนอยู่ภายใน การให้ ความร้อนต้องสม่ำเสมอทั่วถึง การวางชิ้นงานในตู้อบนั้น ไม่สามารถวางชิ้นงานบนพื้นของตู้อบ ได้ เนื่องจากความร้อนที่ชิ้นงานได้รับนั้นจะไม่เท่ากันทั่วทั้งชิ้นงาน โดยชิ้นทดสอบถูกแขวนในแนว ดิ่ง โดยไม่สัมผัสกับตู้อบหรือสัมผัสกันเองเลย

3.7.8 ความต้านทานต่อน้ำมัน

ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D471 ตัดชิ้นงานขนาด $2.0 \times 1.5 \times 0.2$ เซนติเมตร จำนวน 3 ชิ้น แช่ในของเหลว Fuel C (50% Iso-octane + 50% Toluene) ที่อุณหภูมิ 100°C เวลา 70 ชั่วโมง เพื่อนำมาหาปริมาตรที่เปลี่ยนแปลง โดยคำนวณจาก

$$\Delta V (\%) = \frac{(M_3 - M_4) - (M_1 - M_2)}{(M_1 - M_2)} \times 100 \quad (2)$$

โดยที่	ΔV	คือ การเปลี่ยนแปลงปริมาตร , เปอร์เซ็นต์
	M_1	คือ น้ำหนักของชิ้นงานในอากาศ , กรัม
	M_2	คือ น้ำหนักของชิ้นงานในน้ำ , กรัม
	M_3	คือ น้ำหนักของชิ้นงานในอากาศ หลังการทดสอบ , กรัม
	M_4	คือ น้ำหนักของชิ้นงานในน้ำ หลังการทดสอบ , กรัม

บทที่ 4

ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ และการผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยใช้ยางธรรมชาติ , ยางสไตรีน-บิวทาไดอีน และยางพอลิบิวทาไดอีนทดแทนบางส่วนของยางไนไตรล์ ในปริมาณต่าง ๆ เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางเคมีของพอลิเมอร์ผสม

ผลการทดลองแบ่งเป็น 4 ส่วน ดังนี้คือ

1. อัตราส่วนของพีวีซีและยางไนไตรล์ (PVC:NBR) คือ 0:100 , 10:90 , 20:80 , 30:70 , 40:60 , 50:50 , 60:40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จากการทดสอบสูตรการทดลองที่ 1 - 7 พบว่า อัตราส่วนของพีวีซีและยางไนไตรล์ (PVC:NBR) ที่ 20:80 , 30:70 และ 40:60 ให้ผลการทดสอบ คือ ใช้เวลาวัลคาไนซ์น้อย , ความทนแรงดึงสูง , ระยะเวลาเมื่อขาดสูง , โมดูลัสสูง และความทนการฉีกขาดสูง จึงทำให้เลือกอัตราส่วนของพีวีซีและยางไนไตรล์ (PVC:NBR) ที่ 20:80 , 30:70 และ 40:60 เป็นสูตรพอลิเมอร์ผสมโดยใช้ยางธรรมชาติ , ยางสไตรีน-บิวทาไดอีน และยางพอลิบิวทาไดอีนทดแทนยางไนไตรล์บางส่วน ที่ 10 , 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์
2. อัตราส่วนของพีวีซีและยางไนไตรล์ (PVC:NBR) ที่ 20:80 , 30:70 และ 40:60 โดยใช้ยางธรรมชาติทดแทนยางไนไตรล์บางส่วน ที่ 10 , 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์
3. อัตราส่วนของพีวีซีและยางไนไตรล์ (PVC:NBR) ที่ 20:80 , 30:70 และ 40:60 โดยใช้ยางสไตรีน-บิวทาไดอีนทดแทนยางไนไตรล์บางส่วน ที่ 10 , 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์
4. อัตราส่วนของพีวีซีและยางไนไตรล์ (PVC:NBR) ที่ 20:80 , 30:70 และ 40:60 โดยใช้ยางพอลิบิวทาไดอีนทดแทนยางไนไตรล์บางส่วน ที่ 10 , 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์

4.1 ความหนืดมูนี (Mooney Viscosity)

ค่าความหนืดมูนีของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ และพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่างๆ แสดงไว้ดังตารางที่ 4.1 – 4.2 และรูปที่ 4.1 – 4.2

สำหรับพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ ค่าความหนืดมูนีของพอลิเมอร์ผสมที่ได้จากเครื่อง Mooney Viscometer ที่อัตราส่วนของพีวีซีและยางไนไตรล์ (PVC:NBR) คือ 0:100 , 10:90 , 20:80 , 30:70 , 40:60 , 50:50 , 60:40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1 พบว่าเมื่อปริมาณพีวีซีเพิ่มขึ้น มีผลทำให้พอลิเมอร์ผสมมีค่าความหนืดสูงขึ้น เนื่องจากพีวีซีเป็นเทอร์โมพลาสติก มีลักษณะสายโซ่ตรงและมีคลอรีนอะตอมในสาย

ใช้ทำให้มีแรงดึงระหว่างโมเลกุลสูง เมื่อนำพีวีซีมาผสมกับยางไนไตรล์จึงทำให้ค่าความเหนียวเพิ่มขึ้น

สำหรับความเหนียวนี้ของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ ที่อัตราส่วนของพีวีซีและยางไนไตรล์ (PVC:NBR) คือ 20:80 , 30:70 , 40:60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยเติมยางธรรมชาติ , ยางสไตรีน-บิวทาไดอีน และยางพอลิบิวทาไดอีน ที่ 10 , 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ทดแทนในยางไนไตรล์ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2 พบว่า

ก) เมื่อเพิ่มปริมาณยางธรรมชาติ มีผลทำให้พอลิเมอร์ผสมมีค่าความเหนียวเพิ่มขึ้น สำหรับทุกอัตราส่วนของพีวีซี โดยเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์

ข) เมื่อเติมยางสไตรีน-บิวทาไดอีนที่ 10 เปอร์เซ็นต์ ค่าความเหนียวลดลง และเมื่อเติมยางสไตรีนบิวทาไดอีนที่ 20,30 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้พอลิเมอร์ผสมมีค่าเพิ่มขึ้น สำหรับทุกอัตราส่วนของพีวีซี โดยเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ แต่ความเหนียวนี้มีค่าน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการเติมยางธรรมชาติในปริมาณที่เท่ากัน

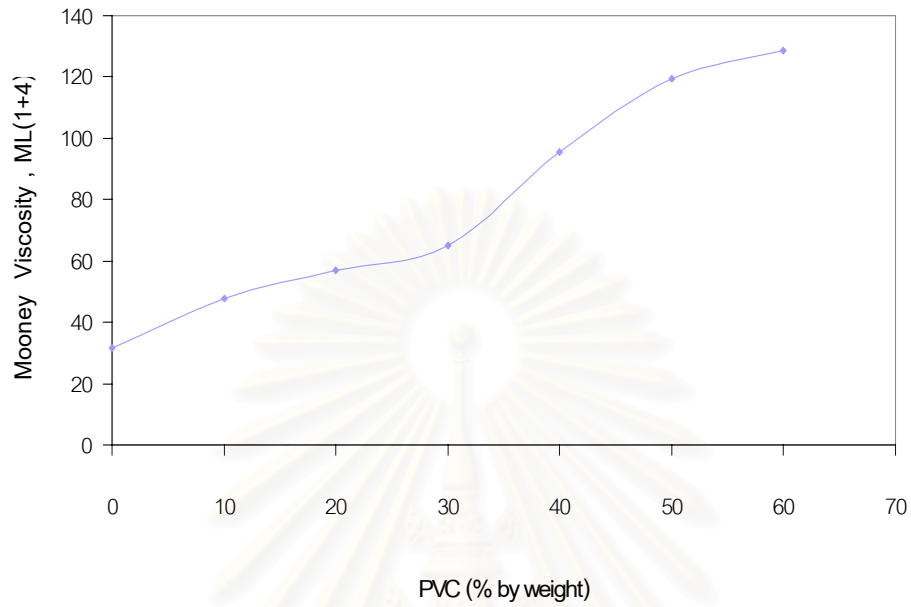
ค) เมื่อเติมยางพอลิบิวทาไดอีนที่ 10 เปอร์เซ็นต์ สำหรับทุกอัตราส่วนของพีวีซี และที่ 10 ,20 เปอร์เซ็นต์ ในพีวีซี 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีค่าความเหนียวลดลง และเมื่อเติมยางสไตรีน-บิวทาไดอีนที่ 20,30 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้พอลิเมอร์ผสมมีค่าความเหนียวเพิ่มขึ้น สำหรับทุกอัตราส่วนของพีวีซี โดยเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ แต่ความเหนียวนี้มีค่าน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการเติมยางธรรมชาติและยางสไตรีน-บิวทาไดอีนในปริมาณที่เท่ากัน

ตารางที่ 4.1 ความเหนียวนี้ของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์

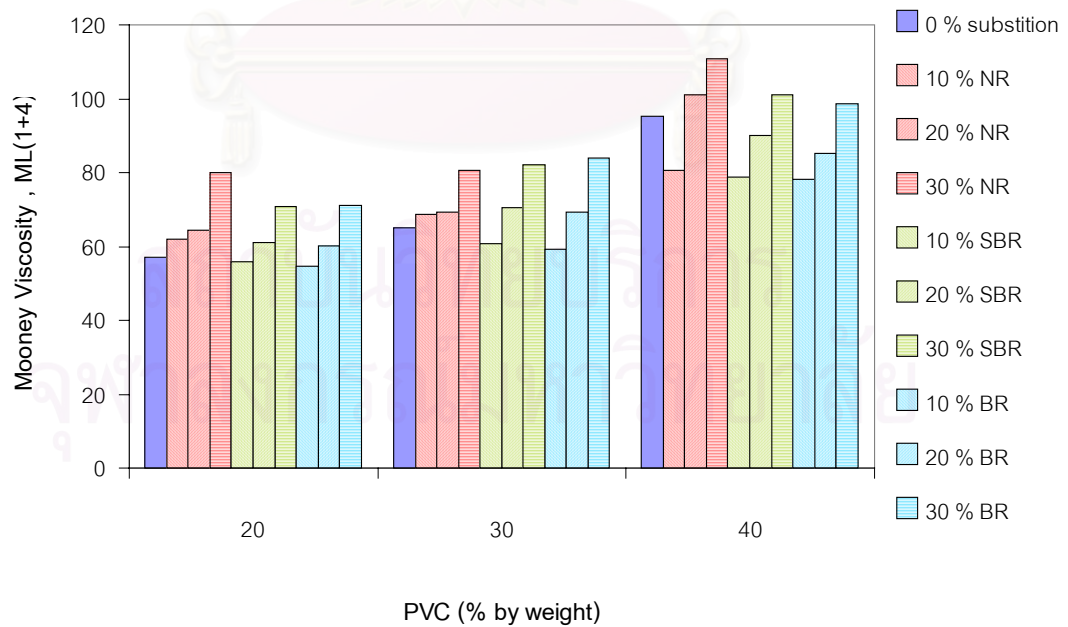
PVC:NBR	0:100	10:90	20:80	30:70	40:60	50:50	60:40
ความเหนียวนี้ , ML(1+4) 100 °C	31.5	47.9	57.0	65.0	95.4	119.5	128.7

ตารางที่ 4.2 ความเหนียวนี้ของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่างๆ

PVC:NBR	ความเหนียวนี้ ,ML(1+4) 100 °C									
	0 %	10% NR	20% NR	30% NR	10% SBR	20% SBR	30% SBR	10% BR	20% BR	30% BR
20:80	57.0	61.9	64.6	80.0	55.8	61.0	70.8	54.7	60.2	71.2
30:70	65.0	68.7	69.3	80.5	60.7	70.7	82.2	59.2	69.2	84.1
40:60	95.4	80.7	111.0	111.0	78.8	90.0	101.0	78.1	85.2	98.5



รูปที่ 4.1 ความหนืดของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์



รูปที่ 4.2 ความหนืดของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่างๆ

4.2 เวลาเริ่มวัลคาไนซ์ (Scorch time) และเวลาวัลคาไนซ์ (90% Cure time)

4.2.1 เวลาเริ่มวัลคาไนซ์

เวลาเริ่มวัลคาไนซ์ คือ เวลาการเริ่มของปฏิกิริยาทางเคมี เมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ยางที่ผสมสารเคมี สารเร่งปฏิกิริยา และสารกระตุ้น ก่อนที่เริ่มเกิดปฏิกิริยาขึ้นต้องใช้เวลาระยะหนึ่ง เมื่อยางได้รับความร้อน ตอนแรกยางมีการอ่อนตัวลงเล็กน้อย เมื่อผ่านเวลานี้ไปสารเคมีเริ่มทำปฏิกิริยากับยาง เกิดพันธะทางเคมีระหว่างโมเลกุลของยาง ทำให้ยางเริ่มแข็งขึ้น เวลาที่ยางเริ่มแข็งตัวขึ้นเรียกว่า เวลาเริ่มวัลคาไนซ์ อัตราการเกิดปฏิกิริยาของยางในการคงรูปควรเร็วอย่างเหมาะสม คือ ให้มีความเร็วแต่ต้องพอเพียงที่ให้ยางไหลเต็มเบ้าพิมพ์ ผลของเวลาเริ่มวัลคาไนซ์ของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ และพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่างๆ แสดงไว้ดังตารางที่ 4.3 – 4.4 และรูปที่ 4.3 – 4.4

สำหรับพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ ที่อัตราส่วนของพีวีซีและยางไนไตรล์ (PVC:NBR) คือ 0:100 , 10:90 , 20:80 , 30:70 , 40:60 , 50:50 , 60:40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ค่าเวลาเริ่มวัลคาไนซ์อยู่ในช่วง 1.96-3.71 นาที ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าเวลาที่ยางเริ่มวัลคาไนซ์ มีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

สำหรับเวลาเริ่มวัลคาไนซ์ของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ ที่อัตราส่วนของพีวีซีและยางไนไตรล์ (PVC:NBR) คือ 20:80 , 30:70 , 40:60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยเติมยางธรรมชาติ , ยางสไตรีน-บิวทาไดอีน และยางพอลิบิวทาไดอีน ที่ 10 , 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ทดแทนในยางไนไตรล์ ซึ่งเวลาเริ่มวัลคาไนซ์อยู่ในช่วง 1.98-3.60 นาที ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.4 พบว่า

ก) เมื่อเพิ่มปริมาณยางธรรมชาติ มีผลทำให้พอลิเมอร์ผสมมีค่าเวลาเริ่มวัลคาไนซ์เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย สำหรับทุกอัตราส่วนของพีวีซี โดยเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ เนื่องจากยางธรรมชาติมีลักษณะโครงสร้างโมเลกุลแบบไม่อิมตัดมีพันธะคู่ที่วงแหวนต่อปฏิกิริยาวัลคาไนเซชันทำให้สามารถทำปฏิกิริยากับกำมะถันในกระบวนการวัลคาไนซ์ได้เร็วกว่ายางไนไตรล์

ข) เมื่อเพิ่มยางสไตรีน-บิวทาไดอีน มีผลทำให้พอลิเมอร์ผสมมีค่าเวลาเริ่มวัลคาไนซ์เพิ่มขึ้นเล็กน้อย สำหรับทุกอัตราส่วนของพีวีซี โดยเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ แต่เวลาเริ่มวัลคาไนซ์มีค่ามากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการเติมยางธรรมชาติ เนื่องจากยางสไตรีน-บิวทาไดอีนมีพันธะคู่ที่น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับยางธรรมชาติ

ค) เมื่อเติมยางพอลิบิวทาไดอิน มีผลทำให้พอลิเมอร์ผสมมีค่าเวลาเริ่มวัลคาไนซ์เพิ่มขึ้นเล็กน้อย สำหรับทุกอัตราส่วนของพีวีซี โดยเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ แต่มีค่ามากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับยางธรรมชาติ เนื่องจากยางพอลิบิวทาไดอินมีพันธะคู่ที่น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับยางธรรมชาติ

ตารางที่ 4.3 เวลาเริ่มวัลคาไนซ์ของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์

PVC:NBR	0:100	10:90	20:80	30:70	40:60	50:50	60:40
เวลาที่ยางเริ่มวัลคาไนซ์ (นาท)	2.54	1.96	2.21	2.29	2.63	3.08	3.71

ตารางที่ 4.4 เวลาเริ่มวัลคาไนซ์ของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่างๆ

PVC:NBR	เวลาที่ยางเริ่มวัลคาไนซ์ (นาท)									
	0 %	10% NR	20% NR	30% NR	10% SBR	20% SBR	30% SBR	10% BR	20% BR	30% BR
20:80	2.21	2.17	2.29	2.21	2.52	2.48	2.56	2.31	2.31	2.48
30:70	2.29	1.98	2.25	2.29	2.69	2.54	2.75	2.25	2.42	2.81
40:60	2.63	2.46	2.63	2.42	2.83	2.56	3.48	3.08	3.06	3.60

4.2.2 เวลาวัลคาไนซ์

เมื่อสารเคมีทำปฏิกิริยากับยาง ยางเริ่มแข็งขึ้นจนกระทั่งสารเคมีทำปฏิกิริยากับยางจนสมบูรณ์ หมายถึงยางวัลคาไนซ์ขั้นเสร็จสมบูรณ์ และเวลาที่ใช้นี้เรียกว่า เวลาวัลคาไนซ์ ผลของเวลาวัลคาไนซ์ของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ และพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่างๆ ในปริมาณต่าง ๆ แสดงไว้ดังตารางที่ 4.5 – 4.6 และรูปที่ 4.5 – 4.6

สำหรับพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ ที่อัตราส่วนของพีวีซีและยางไนไตรล์ (PVC:NBR) คือ 0:100 , 10:90 , 20:80 , 30:70 , 40:60 , 50:50 , 60:40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ค่าเวลาวัลคาไนซ์อยู่ในช่วง 4.00 – 16.21 นาท ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่าเวลาวัลคาไนซ์มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณพีวีซี และในช่วงพีวีซี 50,60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีเวลาวัลคาไนซ์สูงมากเกินไป ไม่เหมาะสำหรับกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม ทำให้เสียเวลาและสิ้นเปลืองพลังงานในการผลิตมาก

สำหรับเวลาวัลคาไนซ์ของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ ที่อัตราส่วนของพีวีซีและยางไนไตรล์ (PVC:NBR) คือ 20:80 , 30:70 , 40:60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยเติมยางธรรมชาติ , ยางสไตรีน-บิวทาไดอีน และยางพอลิบิวทาไดอีน ที่ 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ทดแทนในยางไนไตรล์ ค่าเวลาวัลคาไนซ์อยู่ในช่วง 3.13 – 8.86 นาที ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.6 พบว่าเมื่อเติมยางทั้ง 3 ชนิด มีผลทำให้เวลาวัลคาไนซ์มีค่าลดลง สำหรับทุกอัตราส่วนของพีวีซี โดยเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ เนื่องจากยางทั้ง 3 ชนิด มีลักษณะโครงสร้างโมเลกุลแบบไม่อิ่มตัวมีพันธะคู่ที่วงไวต่อปฏิกิริยาวัลคาไนเซชันทำให้สามารถทำปฏิกิริยากับกำมะถันในกระบวนการวัลคาไนซ์ได้เร็วขึ้น

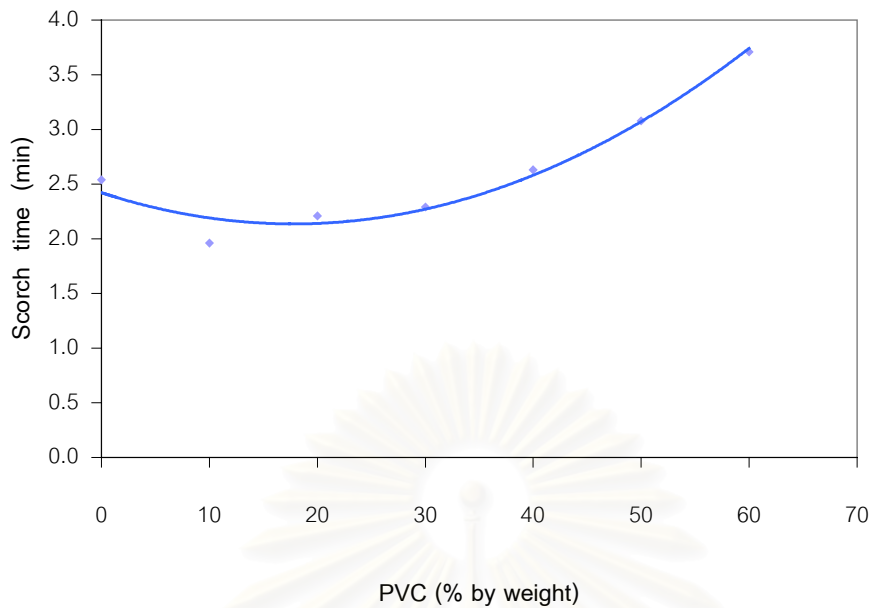
ตารางที่ 4.5 เวลาวัลคาไนซ์ของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์

PVC:NBR	0:100	10:90	20:80	30:70	40:60	50:50	60:40
เวลาวัลคาไนซ์ (นาที)	4.00	5.08	5.88	7.58	8.86	10.17	16.21

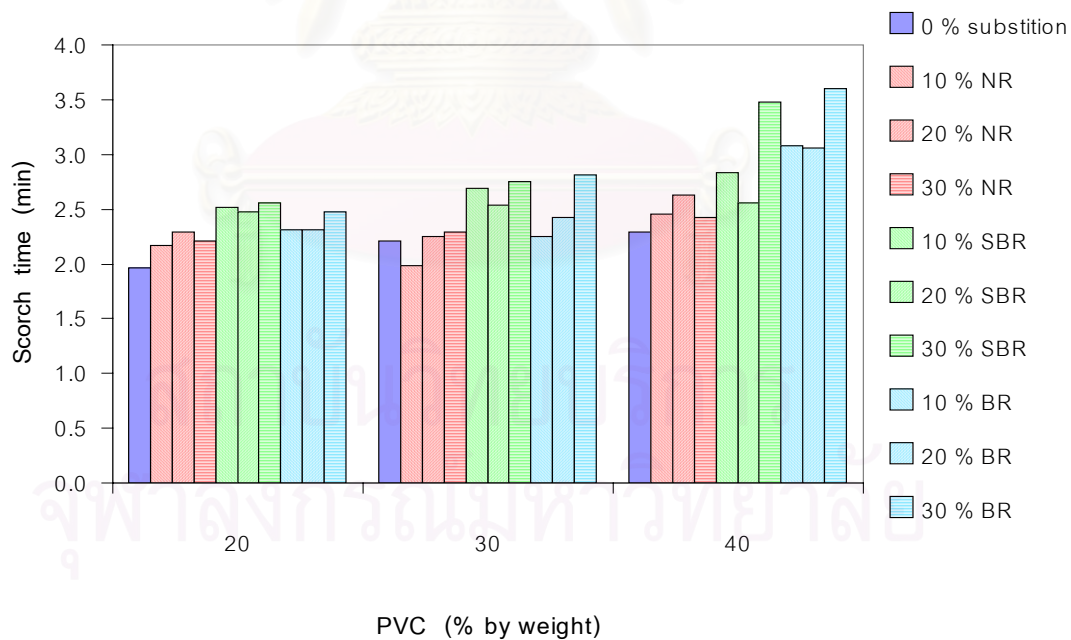
ตารางที่ 4.6 เวลาวัลคาไนซ์ของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่างๆ

PVC:NBR	เวลาวัลคาไนซ์ (นาที)									
	0 %	10% NR	20% NR	30% NR	10% SBR	20% SBR	30% SBR	10% BR	20% BR	30% BR
20:80	5.88	3.96	4.17	4.08	3.79	4.04	5.38	3.21	3.94	3.54
30:70	7.58	4.35	4.33	4.71	4.48	4.38	5.69	3.13	4.19	4.42
40:60	8.86	4.96	4.17	4.92	4.88	5.13	6.83	4.21	5.46	5.63

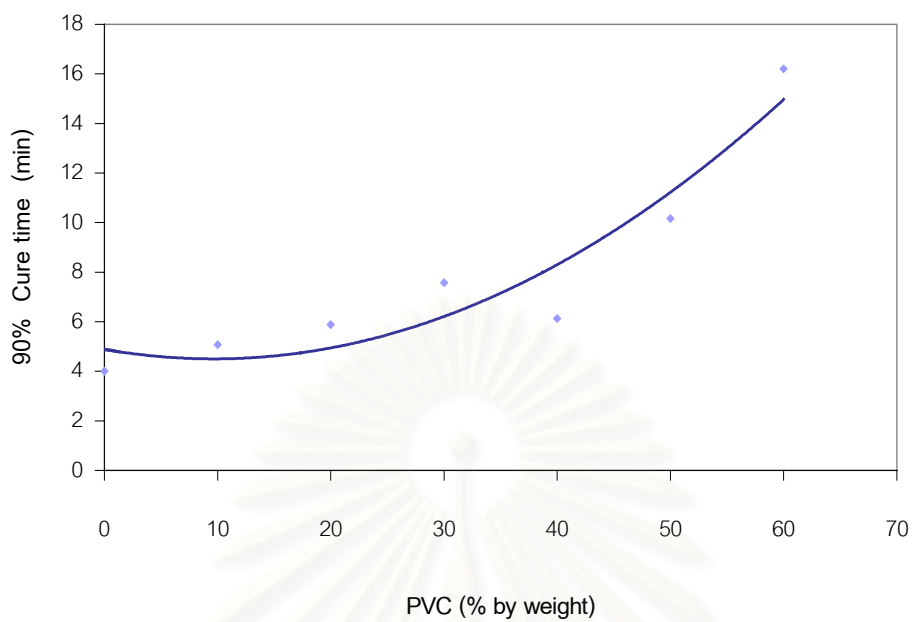
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



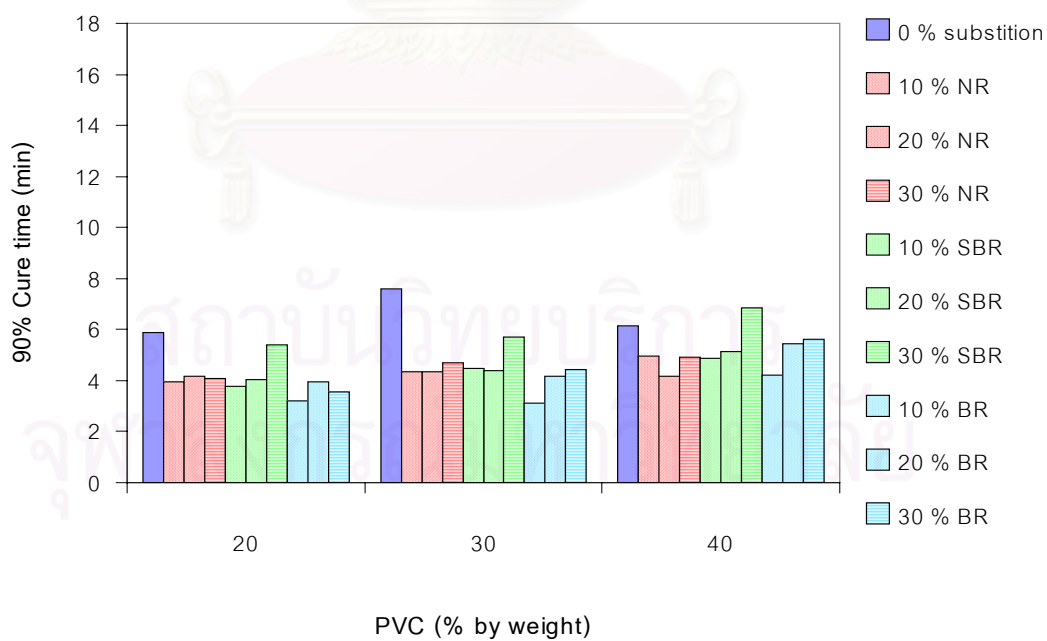
รูปที่ 4.3 เวลาเริ่มวัลคาไนซ์ของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์



รูปที่ 4.4 เวลาเริ่มวัลคาไนซ์ของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่างๆ



รูปที่ 4.5 เวลาวัลคาไนซ์ของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์



รูปที่ 4.6 เวลาวัลคาไนซ์ของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่างๆ

4.3 ความทนแรงดึง ระยะยืดเมื่อขาด และโมดูลัส

4.3.1 ความทนแรงดึง (Tensile strength)

ความทนแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ และพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่างๆ ก่อนผ่านการอบแรงด้วยความร้อน แสดงไว้ดังตารางที่ 4.7 – 4.8 และรูปที่ 4.7 – 4.8

สำหรับความทนแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ ที่อัตราส่วนของพีวีซีและยางไนไตรล์ (PVC:NBR) คือ 0:100 , 10:90 , 20:80 , 30:70 , 40:60 , 50:50 , 60:40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ค่าความทนแรงดึงก่อนอบบ่มแรงอยู่ในช่วง 2.58 – 18.25 MPa ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.7 พบว่าเมื่อปริมาณพีวีซีเพิ่มขึ้น มีผลทำให้พอลิเมอร์ผสมมีค่าความทนแรงดึงสูงขึ้น เนื่องจากพีวีซีเป็นเทอร์โมพลาสติก มีลักษณะสายโซ่ตรงและมีคลอรีนอะตอมในสายโซ่มีแรงระหว่างโมเลกุลสูง เมื่อนำพีวีซีมาผสมกับยางไนไตรล์จึงทำให้พอลิเมอร์ผสมมีค่าความทนแรงดึงเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณพีวีซี

สำหรับความทนแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ ที่อัตราส่วนของพีวีซีและยางไนไตรล์ (PVC:NBR) คือ 20:80 , 30:70 , 40:60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยเติมยางธรรมชาติ , ยางสไตรีน-บิวทาไดอีน และ ยางพอลิบิวทาไดอีน ที่ 10 , 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ทดแทนในยางไนไตรล์ ค่าความทนแรงดึงก่อนอบบ่มแรงอยู่ในช่วง 5.83 – 15.75 MPa ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.8 พบว่า

ก) เมื่อเพิ่มปริมาณยางธรรมชาติ มีผลทำให้พอลิเมอร์ผสมมีค่าความทนแรงดึงเพิ่มขึ้น สำหรับทุกอัตราส่วนของพีวีซี โดยเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ ทั้งนี้เนื่องจากยางธรรมชาติมีโครงสร้างสมำเสมอ โมเลกุลของยางสามารถจัดเรียงตัวเป็นระเบียบและตกผลึกได้เมื่อมีแรงดึง ทำให้ยางมีความแข็งแรงอยู่ในตัวเองสูง แต่เมื่อเติมยางธรรมชาติที่ 30 เปอร์เซ็นต์ ในพีวีซี 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ทำให้ค่าความทนแรงดึงลดลงอย่างมาก แสดงให้เห็นว่ายางธรรมชาติไม่เหมาะสมที่เติมลงไปนี้อัตราส่วนนี้ เนื่องจากยางธรรมชาติเป็นโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว ไม่สามารถผสมเข้ากับยางไนไตรล์และพีวีซีที่มีขั้วได้ในปริมาณที่สูงได้

ข) เมื่อเพิ่มยางสไตรีน-บิวทาไดอีน มีผลทำให้พอลิเมอร์ผสมมีค่าความทนแรงดึงเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย สำหรับทุกอัตราส่วนของพีวีซี โดยเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ แต่ความทนแรงดึงมีค่าน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับยางธรรมชาติ ทั้งนี้เนื่องจากยางสไตรีน-บิวทาไดอีนไม่สามารถจัดเรียงตัวและตกผลึกได้เมื่อดึง ยางสไตรีน-บิวทาไดอีนเป็น amorphous และความแข็งแรงต่ำกว่ายางธรรมชาติ

ค) เมื่อเพิ่มยางพอลิบิวทาไดอิน มีผลทำให้พอลิเมอร์ผสมมีค่าความทนแรงดึงเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย สำหรับทุกอัตราส่วนของพีวีซี โดยเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ แต่ความทนแรงดึงมีค่าน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีเติมยางธรรมชาติ ซึ่งสามารถอธิบายได้เช่นเดียวกับยางสไตรีน-บิวทาไดอิน

ความทนแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ และ พอลิเมอร์ผสมพีวีซีกับยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่าง ๆ หลังผ่านการอบแรงด้วยความร้อนแสดงไว้ดังตารางที่ 4.7 – 4.8

สำหรับพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ ที่อัตราส่วนของพีวีซีและยางไนไตรล์ (PVC:NBR) คือ 0:100 , 10:90 , 20:80 , 30:70 , 40:60 , 50:50 , 60:40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ค่าความทนแรงดึงหลังอบบ่มแรงอยู่ในช่วง 2.46 – 20.19 MPa ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่าค่าความทนแรงดึงหลังผ่านการอบแรงด้วยความร้อนมีค่าลดลงเพียงเล็กน้อย เนื่องจากคลอรีนอะตอมของพีวีซีเข้าไปเกาะกับพันธะคู่ของคาร์บอนในยางไนไตรล์ ทำให้เกิดพันธะเดี่ยวของคาร์บอนในยางไนไตรล์ มีผลทำให้พอลิเมอร์ผสมมีความเสถียรเมื่อได้รับความร้อน [2,17]

สำหรับความทนแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ ที่อัตราส่วนของพีวีซีและยางไนไตรล์ (PVC:NBR) คือ 20:80 ,30:70 ,40:60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยเติมยางธรรมชาติ , ยางสไตรีน-บิวทาไดอิน และยางพอลิบิวทาไดอินที่ 10 , 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ทดแทนในยางไนไตรล์ เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ค่าความทนแรงดึงหลังอบบ่มแรงอยู่ในช่วง 5.17 – 15.38 MPa ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.8 พบว่าเมื่อเติมยางทั้ง 3 ชนิด มีผลทำให้ค่าความทนแรงดึงหลังผ่านการอบแรงด้วยความร้อนมีค่าลดลง สำหรับทุกอัตราส่วนของพีวีซี เนื่องจากยางทั้ง 3 ชนิด มีลักษณะโครงสร้างโมเลกุลแบบไม่เชื่อมตัว คือมีพันธะคู่ที่วงเวดออกซิเดชัน ดังนั้นจึงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนและด้วยความร้อนทำให้ยางเสื่อมสภาพเร็วขึ้น

ตารางที่ 4.7 ความทนแรงดึงก่อนและหลังอบบ่มแรงของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์

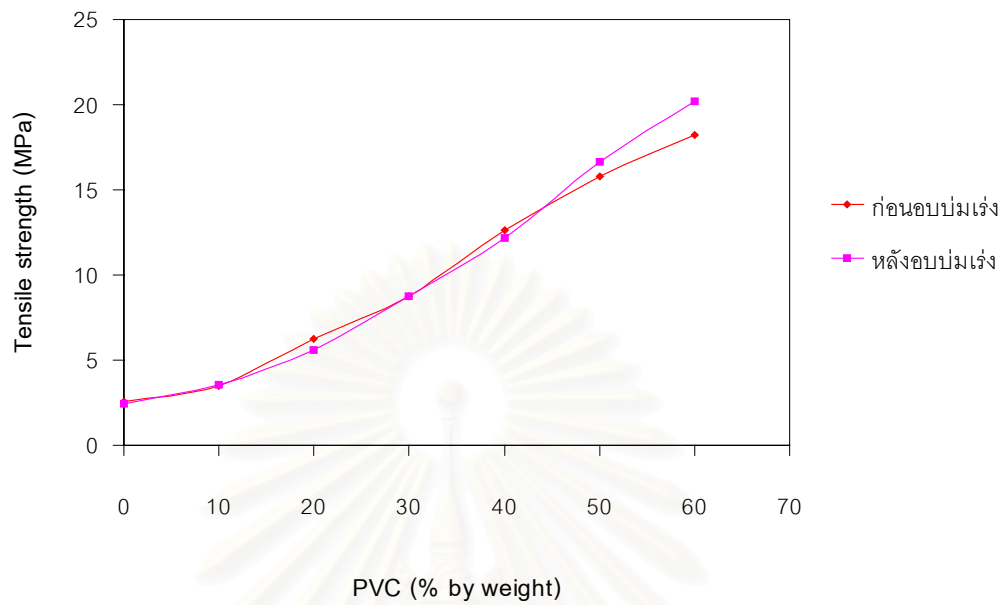
PVC:NBR (ก่อน/หลังอบบ่มแรง)	0:100	10:90	20:80	30:70	40:60	50:50	60:40
ความทนแรงดึง (MPa) , ก่อนอบ	2.58 (0.30)	3.47 (0.24)	6.28 (0.44)	8.75 (0.73)	12.61 (0.40)	15.79 (0.60)	18.25 (0.68)
ความทนแรงดึง (MPa) , หลังอบ	2.46 (0.30)	3.54 (0.25)	5.57 (0.66)	8.73 (0.50)	12.15 (1.02)	16.67 (0.75)	20.19 (0.29)

หมายเหตุ () คือ SD หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

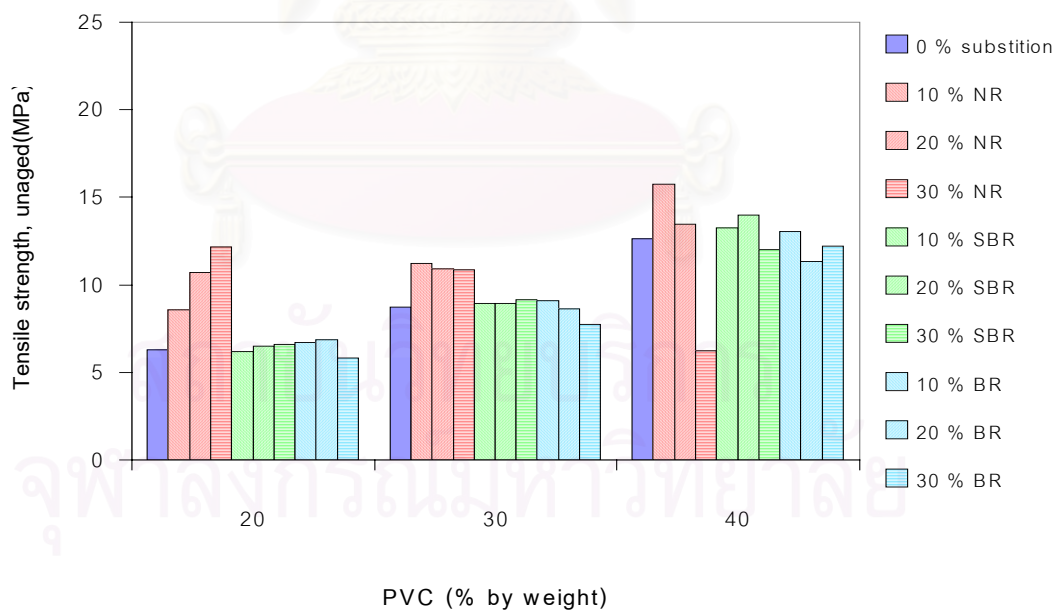
ตารางที่ 4.8 ความทนแรงดึงก่อนและหลังอบบ่มแรงของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่างๆ

PVC:NBR (ก่อน/หลัง อบบ่มแรง)	ความทนแรงดึง (MPa)									
	0%	10% NR	20% NR	30% NR	10% SBR	20% SBR	30% SBR	10% BR	20% BR	30% BR
20:80 ก่อนอบ	6.28 (0.44)	8.56 (0.65)	10.70 (0.52)	12.15 (1.57)	6.20 (0.89)	6.51 (0.20)	6.59 (0.30)	6.70 (0.46)	6.86 (0.20)	5.83 (0.19)
20:80 หลังอบ	5.57 (0.66)	6.56 (0.60)	6.63 (0.73)	8.49 (0.72)	6.14 (0.48)	6.27 (0.17)	6.60 (0.20)	6.07 (0.27)	6.41 (0.25)	5.52 (0.47)
30:70 ก่อนอบ	8.75 (0.73)	11.23 (0.73)	10.89 (0.99)	10.85 (0.34)	8.94 (1.09)	8.96 (1.34)	9.15 (0.58)	9.08 (0.84)	8.65 (0.26)	7.74 (0.15)
30:70 หลังอบ	8.73 (0.50)	10.52 (0.39)	9.72 (0.42)	7.85 (0.34)	8.41 (0.59)	8.29 (1.74)	8.70 (0.50)	9.39 (1.03)	9.05 (0.35)	7.77 (0.31)
40:60 ก่อนอบ	12.61 (0.40)	15.75 (0.43)	13.48 (0.76)	6.24 (0.23)	13.26 (0.44)	13.99 (0.26)	12.02 (0.89)	13.06 (0.43)	11.32 (0.84)	12.24 (0.53)
40:60 หลังอบ	12.15 (1.02)	15.38 (0.90)	11.99 (0.68)	5.17 (0.30)	12.89 (0.53)	14.91 (0.80)	12.73 (0.27)	13.46 (0.53)	12.01 (1.12)	12.48 (0.80)

หมายเหตุ () คือ SD หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)



รูปที่ 4.7 ความทนแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ ก่อนและหลังอบบ่มแรง



รูปที่ 4.8 ความทนแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่างๆ ก่อนอบบ่มแรง

4.3.2 ระยะเวลายืดเมื่อขาด (Elongation at break)

ความทนแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ และพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่างๆ ก่อนผ่านการอบเร่งด้วยความร้อน แสดงไว้ดังตารางที่ 4.9 – 4.10 และรูปที่ 4.9 – 4.10

สำหรับระยะเวลายืดเมื่อขาดของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ ที่อัตราส่วนของพีวีซีและยางไนไตรล์ (PVC:NBR) คือ 0:100 , 10:90 , 20:80 , 30:70 , 40:60 , 50:50 , 60:40 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ค่าระยะเวลายืดเมื่อขาดก่อนอบเร่งอยู่ในช่วง 275 – 385 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.9 พบว่าเมื่อปริมาณพีวีซีเพิ่มขึ้น มีผลทำให้พอลิเมอร์ผสมมีค่าระยะเวลายืดเมื่อขาดลดลง เนื่องจากพีวีซีเป็นเทอร์โมพลาสติกที่มีความแข็ง และเปราะ เมื่อเติมลงไปในการทำให้ความยืดหยุ่นของยางลดลงจึงทำให้ค่าระยะเวลายืดเมื่อขาดลดลง

สำหรับระยะเวลายืดเมื่อขาดของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ ที่อัตราส่วนของพีวีซีและยางไนไตรล์ (PVC:NBR) คือ 20:80 , 30:70 , 40:60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ค่าระยะเวลายืดเมื่อขาดก่อนอบเร่งอยู่ในช่วง 162 – 538 เปอร์เซ็นต์ โดยเติมยางธรรมชาติ , ยางสไตรีน-บิวทาไดอีน และยางพอลิบิวทาไดอีน ที่ 10 , 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ทดแทนในยางไนไตรล์ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.10 พบว่า

ก) เมื่อเพิ่มปริมาณยางธรรมชาติ มีผลทำให้พอลิเมอร์ผสมมีค่าระยะเวลายืดเมื่อขาดเพิ่มขึ้น สำหรับทุกอัตราส่วนของพีวีซี โดยเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ ทั้งนี้เนื่องจากว่ายางธรรมชาติมีโครงสร้างเป็นแบบ Crystalline คือเรียงตัวเป็นระเบียบเมื่อถูกยืดให้ยาว แต่เมื่อเติมยางธรรมชาติที่ 30 เปอร์เซ็นต์ ในพีวีซี 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก กลับทำให้ค่าระยะเวลายืดเมื่อขาดลดลงอย่างมาก แสดงให้เห็นว่ายางธรรมชาติไม่เหมาะสมที่เติมลงไปในส่วนนี้ เนื่องจากยางธรรมชาติเป็นโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว ไม่สามารถผสมเข้ากับยางไนไตรล์และพีวีซีที่มีขั้วได้ในปริมาณที่สูงได้

ข) เมื่อเพิ่มปริมาณของยางสไตรีน-บิวทาไดอีน มีผลทำให้พอลิเมอร์ผสมมีค่าระยะเวลายืดเมื่อขาดเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย สำหรับทุกอัตราส่วนของพีวีซี และเมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ ค่าระยะเวลายืดเมื่อขาดมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ระยะเวลายืดเมื่อขาดมีค่าน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับยางธรรมชาติ ทั้งนี้เนื่องจากว่ายางสไตรีน-บิวทาไดอีนไม่สามารถตกผลึกได้เมื่อยืดจะไม่มี ความแข็งแรงอยู่ในตัวมันเอง และเมื่อเติมยางสไตรีน-บิวทาไดอีนที่ 30 เปอร์เซ็นต์ในพีวีซี 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก กลับทำให้ค่าระยะเวลายืดเมื่อขาดลดลงมาก

ค) เมื่อเพิ่มยางพอลิบิวทาไดอิน มีผลทำให้พอลิเมอร์ผสมมีค่าระยะยืดเมื่อขาดเพิ่มขึ้น สำหรับทุกอัตราส่วนของพีวีซี โดยเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ แต่ความทนแรงดึงมีค่าน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีเติมยางธรรมชาติ ซึ่งสามารถอธิบายได้เช่นเดียวกับยางสไตรีน-บิวทาไดอินและเมื่อเติมยางพอลิบิวทาไดอินที่ 20,30 เปอร์เซ็นต์ ในพีวีซี 40 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก กลับทำให้ค่าระยะยืดเมื่อขาดลดลง

ระยะยืดเมื่อขาดของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ และ พอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่าง ๆ หลังผ่านการอบเร่งด้วยความร้อนแสดงไว้ดังตารางที่ 4.9 – 4.10

สำหรับพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ ที่อัตราส่วนของพีวีซีและยางไนไตรล์ (PVC:NBR) คือ 0:100 , 10:90 , 20:80 , 30:70 , 40:60 , 50:50 , 60:40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ค่าระยะยืดเมื่อขาดหลังอบเร่งอยู่ในช่วง 260 – 360 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.9 แสดงให้เห็นว่าค่าระยะยืดเมื่อขาดหลังผ่านการอบเร่งด้วยความร้อนมีค่าลดลงเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้อธิบายได้เช่นเดียวกับกรณีความทนแรงดึง กล่าวคือคลอรีนอะตอมของพีวีซีเข้าไปเกาะกับพันธะคู่ของคาร์บอนในยางไนไตรล์ ทำให้เกิดพันธะเดี่ยวของคาร์บอนในยางไนไตรล์ มีผลทำให้พอลิเมอร์ผสมมีความเสถียรเมื่อได้รับความร้อน [2,17]

สำหรับระยะยืดเมื่อขาดของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ ที่อัตราส่วนของพีวีซีและยางไนไตรล์ (PVC:NBR) คือ 20:80 , 30:70 , 40:60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยเติมยางธรรมชาติ , ยางสไตรีน-บิวทาไดอิน และ ยางพอลิบิวทาไดอิน ที่ 10 , 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ทดแทนในยางไนไตรล์ เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ค่าระยะยืดเมื่อขาดหลังอบเร่งอยู่ในช่วง 132 – 422 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.10 พบว่าเมื่อเติมยางทั้ง 3 ชนิด มีผลทำให้ค่าความทนแรงดึงหลังผ่านการอบเร่งด้วยความร้อนมีค่าลดลง สำหรับทุกอัตราส่วนของพีวีซี เนื่องจากทั้ง 3 ชนิด มีลักษณะโครงสร้างโมเลกุลแบบไม่อิ่มตัว คือมีพันธะคู่ที่วงไวต่อออกซิเดชัน ดังนั้นจึงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนและด้วยความร้อนทำให้ยางเสื่อมสภาพเร็วขึ้น

ตารางที่ 4.9 ระยะยืดเมื่อขาดก่อนและหลังอบเร่งของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์

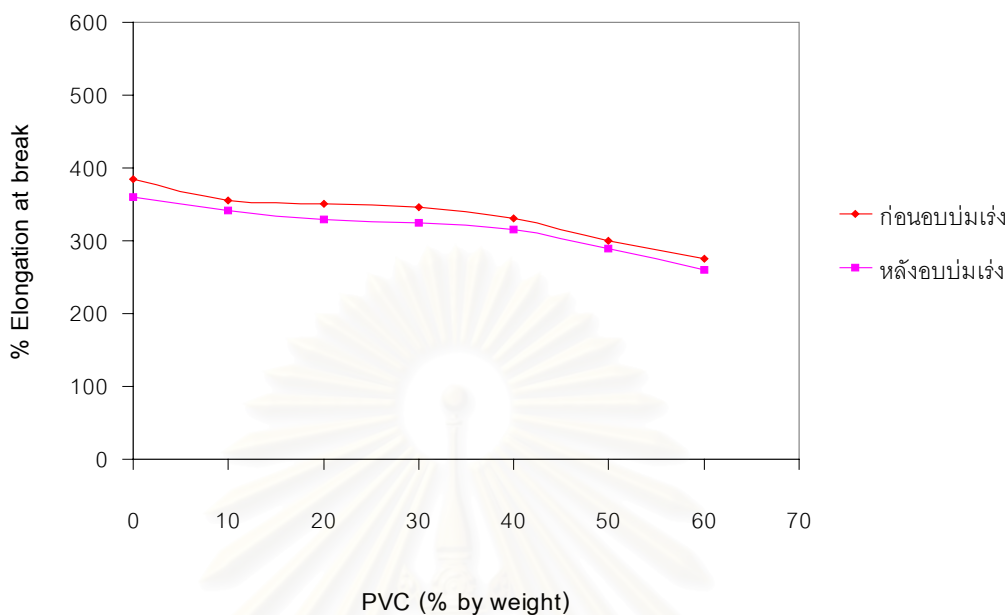
PVC:NBR (ก่อน/หลังอบเร่ง)	0:100	10:90	20:80	30:70	40:60	50:50	60:40
ระยะยืดเมื่อขาด (%), ก่อนอบ	385 (59.0)	355 (32.8)	351 (21.7)	345 (20.5)	330 (16.1)	300 (10.1)	275 (31.0)
ระยะยืดเมื่อขาด (%), หลังอบ	360 (58.8)	340 (32.9)	330 (35.5)	325 (14.9)	315 (23.3)	290 (20.0)	260 (13.2)

หมายเหตุ () คือ SD หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

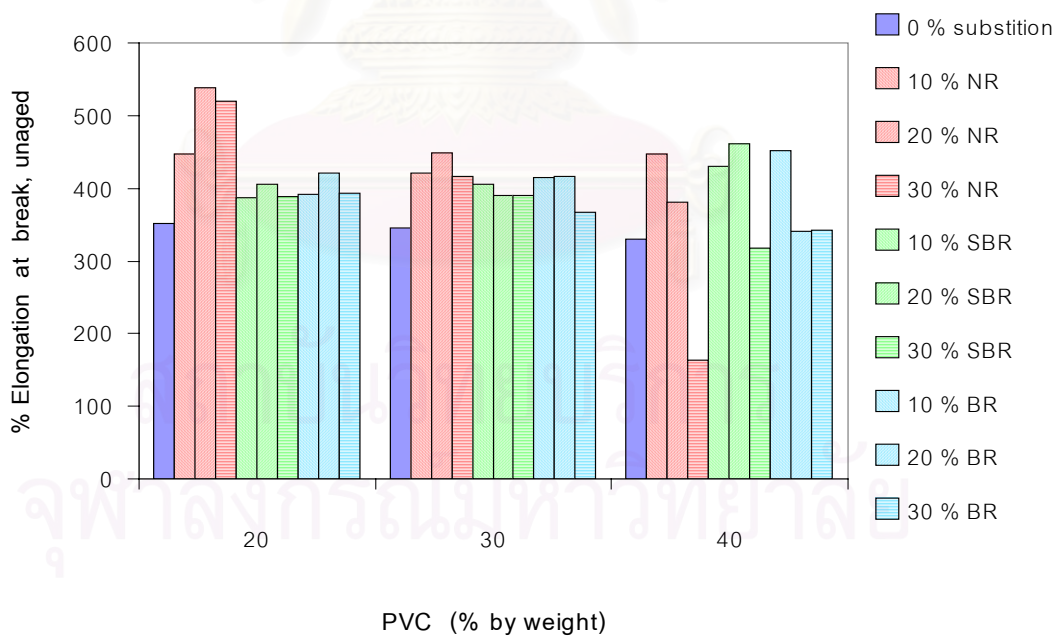
ตารางที่ 4.10 ระยะเวลายืดเมื่อขาดก่อนและหลังอบบ่มแรงของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่างๆ

PVC:NBR (ก่อน/หลัง อบบ่มแรง)	ระยะเวลายืดเมื่อขาด (%)									
	0%	10% NR	20% NR	30% NR	10% SBR	20% SBR	30% SBR	10% BR	20% BR	30% BR
20:80 ก่อนอบ	351 (21.7)	447 (28.4)	538 (35.3)	519 (45.3)	387 (58.5)	406 (27.2)	389 (24.7)	391 (27.9)	420 (32.7)	393 (21.5)
20:80 หลังอบ	330 (35.5)	380 (25.6)	391 (40.5)	422 (23.6)	338 (18.9)	367 (20.8)	357 (22.7)	339 (21.4)	357 (35.9)	341 (21.1)
30:70 ก่อนอบ	345 (20.5)	421 (40.1)	449 (23.6)	416 (17.6)	405 (43.0)	390 (15.3)	389 (11.2)	414 (30.7)	417 (42.3)	367 (35.3)
30:70 หลังอบ	325 (14.9)	372 (23.2)	377 (16.4)	315 (24.4)	343 (36.4)	314 (25.8)	334 (28.2)	371 (23.7)	368 (23.4)	339 (17.4)
40:60 ก่อนอบ	330 (16.1)	448 (18.6)	381 (24.2)	162 (7.8)	429 (38.9)	461 (34.1)	318 (42.9)	451 (27.0)	340 (32.5)	341 (27.0)
40:60 หลังอบ	315 (23.3)	364 (18.4)	322 (10.9)	132 (7.2)	343 (26.3)	355 (35.3)	291 (22.5)	358 (23.0)	316 (32.2)	324 (32.7)

หมายเหตุ () คือ SD หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)



รูปที่ 4.9 ระยะเวลายืดเมื่อขาดของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรด์ ก่อนและหลังอบบ่มแรง



รูปที่ 4.10 ระยะเวลายืดเมื่อขาดของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรด์ โดยเติมยางชนิดต่าง ๆ ก่อนอบบ่มแรง

4.3.3 โมดูลัสที่ความเครียด 100% และ 300% (Modulus at 100% and 300% strain)

โมดูลัส 100% และ 300% ของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ และพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่าง ๆ ก่อนผ่านการอบแรงด้วยความร้อน แสดงไว้ดังตารางที่ 4.11 – 4.14 และรูปที่ 4.11 – 4.13

สำหรับโมดูลัส 100% และ 300% ของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ ที่อัตราส่วนของพีวีซีและยางไนไตรล์ (PVC:NBR) คือ 0:100 , 10:90 , 20:80 , 30:70 , 40:60 , 50:50 , 60:40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ค่าโมดูลัส 100% และ 300% ก่อนอบบ่มแรงอยู่ในช่วง 1.10 – 17.13 MPa ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.11 , 4.13 และรูปที่ 4.11 - 4.12 พบว่าเมื่อปริมาณพีวีซีเพิ่มขึ้น มีผลทำให้พอลิเมอร์ผสมมีค่าโมดูลัส 100% และ 300% มีค่าสูงขึ้นตามลำดับ เนื่องจากคลอรีนในพีวีซีเข้าไปยึดเกาะกับโมเลกุลยางทำให้สายโซ่โมเลกุลของยางเคลื่อนที่ได้ยากขึ้น มีความยืดหยุ่นลดลง การดึงให้ยืดออกต้องใช้แรงมากขึ้น ส่งผลให้โมดูลัสมีค่าสูงขึ้น

สำหรับโมดูลัส 100% และ 300% ของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ ที่อัตราส่วนของพีวีซีและยางไนไตรล์ (PVC:NBR) คือ 20:80 , 30:70 , 40:60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยเติมยางธรรมชาติ , ยางสไตรีน-บิวทาไดอีน และ ยางพอลิบิวทาไดอีน ที่ 10 , 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ทดแทนในยางไนไตรล์ ค่าโมดูลัส 100% และ 300% ก่อนอบบ่มแรงอยู่ในช่วง 1.40 – 11.46 MPa ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.12 และรูปที่ 4.12 พบว่า

ก) เมื่อเพิ่มปริมาณยางธรรมชาติ ในพีวีซีที่ 20,30 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักพอลิเมอร์ผสมทั้งหมด มีผลทำให้พอลิเมอร์ผสมมีค่าโมดูลัส 100% และ 300% เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย สำหรับทุกอัตราส่วนของพีวีซี โดยเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ แต่ในพีวีซีที่ 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ค่าโมดูลัส 100% และ 300% เพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณยางธรรมชาติเพิ่มขึ้น

ข) เมื่อเพิ่มยางสไตรีน-บิวทาไดอีน ในพีวีซีที่ 20,30 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักพอลิเมอร์ผสมทั้งหมด มีผลทำให้พอลิเมอร์ผสมมีค่าโมดูลัส 100% และ 300% เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย สำหรับทุกอัตราส่วนของพีวีซี โดยเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ แต่ในพีวีซีที่ 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ค่าโมดูลัส 100% และ 300% เพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณยางสไตรีน-บิวทาไดอีนเพิ่มขึ้น และที่ยางสไตรีน-บิวทาไดอีน 30 เปอร์เซ็นต์ มีค่าโมดูลัส 100 % และ 300% มากกว่ายางธรรมชาติและยางพอลิบิวทาไดอีน

ค) เมื่อเพิ่มยางพอลิบิวทาไดอีน ค่าโมดูลัส 100% และ 300% มีแนวโน้มคล้ายกับการเติมยางธรรมชาติ

โมดูลัส 100% และ 300% ของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ และพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่าง ๆ หลังผ่านการอบแรงด้วยความร้อนแสดงไว้ดังตารางที่ 4.11 – 4.14

สำหรับพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ ที่อัตราส่วนของพีวีซีและยางไนไตรล์ (PVC:NBR) คือ 0:100 , 10:90 , 20:80 , 30:70 , 40:60 , 50:50 , 60:40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ ที่อัตราส่วนของพีวีซีและยางไนไตรล์ (PVC:NBR) คือ 20:80 , 30:70 , 40:60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยเติมยางธรรมชาติ , ยางสไตรีน-บิวทาไดอีน และยางพอลิบิวทาไดอีน ที่ 10 , 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ทดแทนในยางไนไตรล์ ค่าโมดูลัส 100% และ 300% หลังอบบ่มแรงอยู่ในช่วง 1.31 – 12.34 MPa ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.11 – 4.14 พบว่าหลังผ่านการอบแรงด้วยความร้อนค่าโมดูลัส 100 % และ 300% จะเพิ่มขึ้นตามลำดับแนวโน้มทั่วไปมีลักษณะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนอบ ทั้งนี้เนื่องจากความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันในยาง ทำให้ความยืดหยุ่นในโมเลกุลของยางลดลง ความเค้นที่ทำให้ยางยืดออกเป็นระยะเท่าเดิมมีค่ามากขึ้น ทำให้โมดูลัสสูงขึ้น

ตารางที่ 4.11 โมดูลัส 100% ก่อนและหลังอบบ่มแรงของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์

PVC:NBR (ก่อน/หลังอบบ่มแรง)	0:100	10:90	20:80	30:70	40:60	50:50	60:40
โมดูลัส 100%, ก่อนอบ(MPa)	1.10 (0.08)	1.45 (0.13)	1.76 (0.13)	2.67 (0.17)	3.76 (0.59)	7.27 (0.26)	12.47 (0.48)
โมดูลัส 100%, หลังอบ(MPa)	1.31 (0.05)	1.58 (0.21)	1.75 (0.09)	2.44 (0.07)	3.92 (0.16)	6.83 (0.20)	12.34 (0.41)

หมายเหตุ () คือ SD หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

ตารางที่ 4.12 โมดูลัส 300% ก่อนและหลังอบบ่มแรงของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์

PVC:NBR (ก่อน/หลังอบบ่มแรง)	0:100	10:90	20:80	30:70	40:60	50:50	60:40
โมดูลัส 300%, ก่อนอบ(MPa)	2.14 (0.22)	3.34 (0.00)	4.95 (0.28)	7.25 (0.26)	9.91 (0.51)	13.25 (0.31)	17.13 (0.45)
โมดูลัส 300%, หลังอบ(MPa)	2.46 (0.12)	3.62 (0.00)	4.40 (0.37)	6.76 (0.26)	10.36 (0.51)	14.11 (0.16)	18.12 (0.33)

หมายเหตุ () คือ SD หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

ตารางที่ 4.13 โมดูลัส 100% ก่อนและหลังอบบ่มแรงของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่างๆ

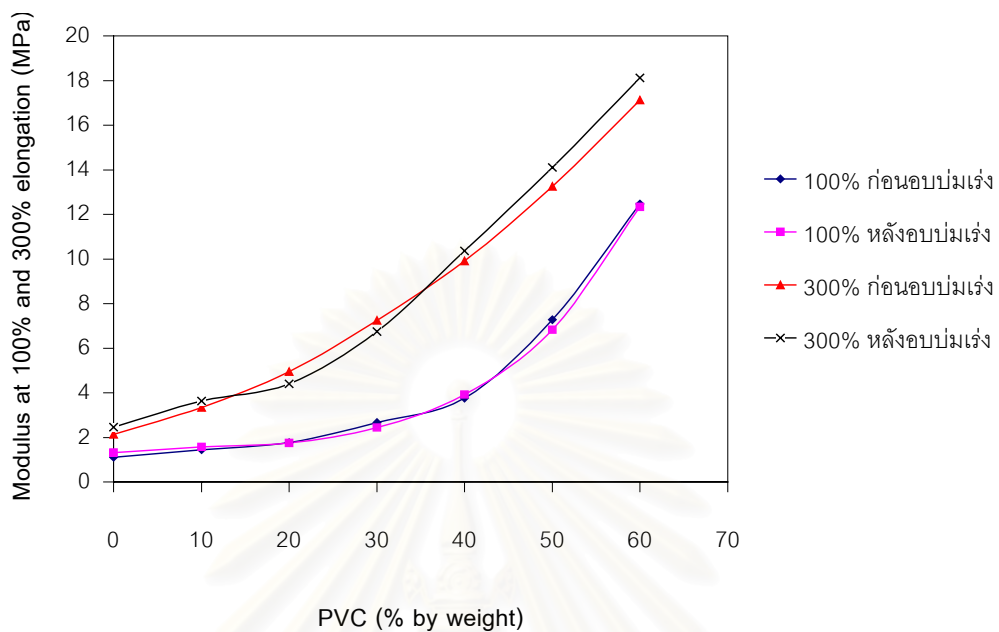
PVC:NBR (ก่อน/หลัง อบบ่มแรง)	โมดูลัส 100% (MPa)									
	0%	10% NR	20% NR	30% NR	10% SBR	20% SBR	30% SBR	10% BR	20% BR	30% BR
20:80 ก่อนอบ	1.76 (0.13)	1.53 (0.12)	1.40 (0.07)	1.44 (0.07)	1.67 (0.13)	1.67 (0.15)	1.71 (0.15)	1.66 (0.11)	1.59 (0.5)	1.61 (0.07)
20:80 หลังอบ	1.75 (0.09)	1.56 (0.10)	1.35 (0.06)	1.32 (0.06)	1.89 (0.23)	1.74 (0.08)	1.82 (0.10)	1.68 (0.06)	1.62 (0.12)	1.63 (0.08)
30:70 ก่อนอบ	2.67 (0.17)	2.31 (0.29)	2.26 (0.17)	2.44 (0.14)	2.40 (0.13)	2.37 (0.24)	2.70 (0.07)	2.16 (0.17)	2.34 (0.18)	2.57 (0.26)
30:70 หลังอบ	2.44 (0.07)	1.74 (0.08)	2.12 (0.12)	2.30 (0.19)	2.42 (0.26)	2.51 (0.19)	2.76 (0.20)	2.05 (0.08)	2.29 (0.11)	2.42 (0.05)
40:60 ก่อนอบ	3.76 (0.59)	4.27 (0.07)	4.85 (0.18)	5.05 (0.11)	4.24 (0.26)	5.06 (0.16)	6.17 (0.36)	4.03 (0.07)	5.03 (0.27)	5.84 (0.34)
40:60 หลังอบ	3.92 (0.16)	4.30 (0.11)	4.51 (0.22)	4.71 (0.24)	4.30 (0.34)	5.31 (0.08)	6.44 (0.44)	3.96 (0.21)	4.72 (0.02)	5.61 (0.18)

หมายเหตุ () คือ SD หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

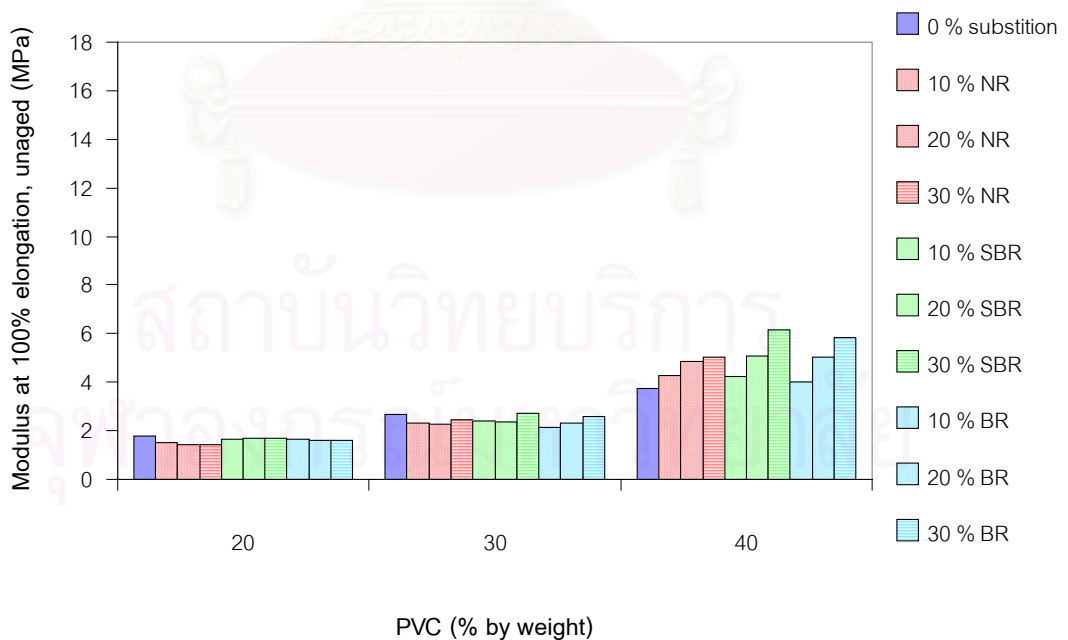
ตารางที่ 4.14 โมดูลัส 300% ก่อนและหลังอบบ่มแรงของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่างๆ

PVC:NBR (ก่อน/หลัง อบบ่มแรง)	โมดูลัส 300% (MPa)									
	0%	10% NR	20% NR	30% NR	10% SBR	20% SBR	30% SBR	10% BR	20% BR	30% BR
20:80 ก่อนอบ	4.95 (0.28)	4.21 (0.46)	3.80 (0.26)	3.94 (0.29)	4.20 (0.36)	4.33 (0.55)	4.51 (0.67)	4.40 (0.37)	4.22 (0.52)	4.20 (0.29)
20:80 หลังอบ	4.40 (0.37)	4.92 (0.47)	4.13 (0.38)	4.10 (0.31)	4.86 (0.65)	4.79 (0.29)	4.59 (0.61)	5.19 (0.46)	4.66 (0.75)	5.11 (0.43)
30:70 ก่อนอบ	7.25 (0.26)	7.07 (0.96)	6.53 (0.53)	7.09 (0.32)	6.23 (0.27)	6.02 (0.62)	7.05 (0.29)	5.76 (0.49)	6.37 (0.52)	6.60 (0.57)
30:70 หลังอบ	6.76 (0.26)	5.16 (0.39)	7.33 (0.48)	7.47 (0.61)	6.30 (0.47)	7.15 (4.96)	6.95 (1.65)	6.68 (0.49)	7.05 (0.49)	7.12 (0.26)
40:60 ก่อนอบ	9.91 (0.51)	10.13 (0.24)	11.02 (0.40)	-	9.90 (0.48)	11.37 (0.34)	11.46 (0.75)	9.29 (0.17)	10.41 (0.41)	11.02 (0.62)
40:60 หลังอบ	10.36 (0.51)	12.33 (0.35)	11.50 (0.50)	-	11.31 (0.82)	11.54 (0.33)	11.46 (2.83)	11.45 (0.80)	14.10 (0.57)	12.32 (0.34)

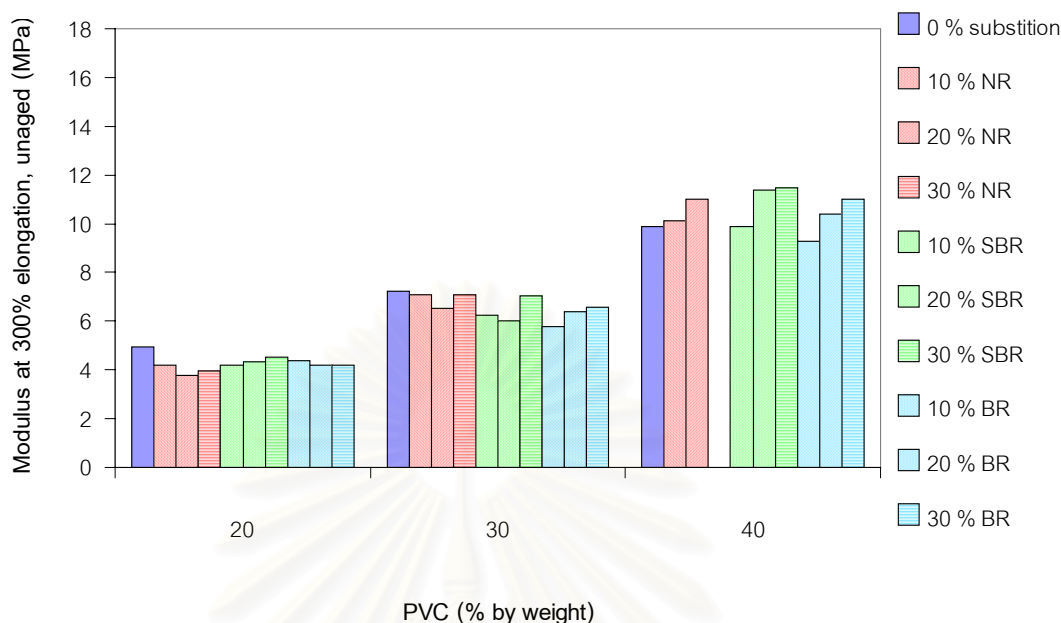
หมายเหตุ () คือ SD หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)



รูปที่ 4.11 โมดูลัส 100% และ 300% ของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ ก่อนและหลังอบบ่มแรง



รูปที่ 4.12 โมดูลัส 100% ของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่างๆ ก่อนอบบ่มแรง



รูปที่ 4.13 โมดูลัส 300% ของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่าง ๆ ก่อนอบบ่มแรง

4.4 ความทนการฉีกขาด (Tear strength)

ความทนการฉีกขาดของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ และ พอลิเมอร์ผสมพีวีซีกับยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่าง ๆ ก่อนผ่านการอบแรงด้วยความร้อนแสดงไว้ดังตารางที่ 4.15 – 4.16 และรูปที่ 4.14 – 4.15

สำหรับความทนการฉีกขาดของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ ที่อัตราส่วนของพีวีซีและยางไนไตรล์ (PVC:NBR) คือ 0:100 , 10:90 , 20:80 , 30:70 , 40:60 , 50:50 , 60:40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ค่าความทนการฉีกขาดก่อนอบบ่มแรงอยู่ในช่วง 16.1 – 104.4 N/mm ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.15 และรูปที่ 4.14 พบว่าเมื่อปริมาณพีวีซีเพิ่มขึ้น มีผลทำให้พอลิเมอร์ผสมมีค่าความทนการฉีกขาดเพิ่มขึ้น เนื่องจากอินในพีวีซีเข้าไปยึดเกาะกับยางทำให้สายโซ่โมเลกุลของยางเคลื่อนที่ได้ยากขึ้น มีความยืดหยุ่นลดลง การดึงให้ฉีกออกต้องใช้แรงมากขึ้น ส่งผลให้ความทนการฉีกขาดค่าสูงขึ้น

สำหรับความทนการฉีกขาดของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ ที่อัตราส่วนของพีวีซีและยางไนไตรล์ (PVC:NBR) คือ 20:80 , 30:70 , 40:60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยเติมยางธรรมชาติ , ยางสไตรีน-บิวทาไดอีน และ ยางพอลิบิวทาไดอีน ที่ 10 , 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ทด

แทนในยางไนไตรล์ ค่าความทนการฉีกขาดก่อนอบบ่มแรงอยู่ในช่วง 27.1 – 56.4 N/mm ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.16 และรูปที่ 4.15 พบว่า

ก) เมื่อเพิ่มปริมาณยางธรรมชาติ มีผลทำให้พอลิเมอร์ผสมมีค่าความทนการฉีกขาดเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย สำหรับทุกอัตราส่วนของพีวีซี โดยเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ แต่เมื่อเติมยางธรรมชาติที่ 30 เปอร์เซ็นต์ ในพีวีซี 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก กลับทำให้ค่าความทนการฉีกขาดลดลงอย่างมาก แสดงให้เห็นว่ายางธรรมชาติไม่เหมาะสมที่เติมลงไป ในอัตราส่วนนี้ เนื่องจากยางธรรมชาติเป็นโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว ไม่สามารถผสมเข้ากับยางไนไตรล์และพีวีซีที่มีขั้วได้ในปริมาณที่สูงได้

ข) เมื่อเพิ่มยางสไตรีน-บิวทาไดอีน และยางพอลิบิวทาไดอีน มีผลทำให้พอลิเมอร์ผสมมีค่าความทนการฉีกขาดเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย สำหรับทุกอัตราส่วนของพีวีซี โดยเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์

ความทนการฉีกขาดของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ และ พอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่าง ๆ หลังผ่านการอบแรงด้วยความร้อนแสดงไว้ในตารางที่ 4.15 – 4.16

สำหรับพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ ที่อัตราส่วนของพีวีซีและยางไนไตรล์ (PVC:NBR) คือ 0:100 , 10:90 , 20:80 , 30:70 , 40:60 , 50:50 , 60:40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ ที่อัตราส่วนของพีวีซีและยางไนไตรล์ (PVC:NBR) คือ 20:80 , 30:70 , 40:60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยเติมยางธรรมชาติ , ยางสไตรีน-บิวทาไดอีน และ ยางพอลิบิวทาไดอีน ที่ 10 , 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ทดแทนในยางไนไตรล์ ค่าความทนการฉีกขาดหลังอบบ่มแรงอยู่ในช่วง 14.3 – 99.7 N/mm ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.15 – 4.16 พบว่าหลังผ่านการอบแรงด้วยความร้อนค่าความทนการฉีกขาดลดลงอย่างเห็นได้ชัด ส่วนแนวโน้มทั่วไปเหมือนก่อนอบบ่มแรง

ตารางที่ 4.15 ความทนการฉีกขาดก่อนและหลังอบบ่มแรงของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์

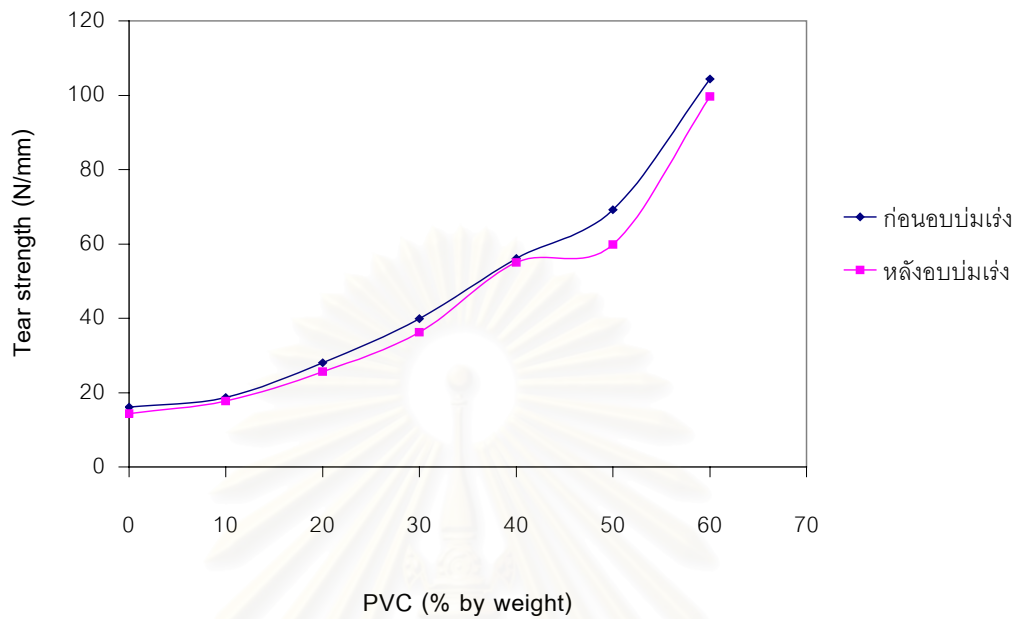
PVC:NBR (ก่อน/หลังอบบ่มแรง)	0:100	10:90	20:80	30:70	40:60	50:50	60:40
ความทนการฉีกขาด (N/mm), ก่อนอบ	16.1 (1.06)	18.7 (1.68)	28.01 (2.91)	39.9 (3.02)	56.1 (3.08)	69.2 (3.20)	104.4 (5.10)
ความทนการฉีกขาด (N/mm), หลังอบ	14.3 (2.31)	17.8 (2.06)	25.7 (3.37)	36.2 (2.98)	55.0 (1.28)	59.9 (4.38)	99.7 (0.90)

หมายเหตุ () คือ SD หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

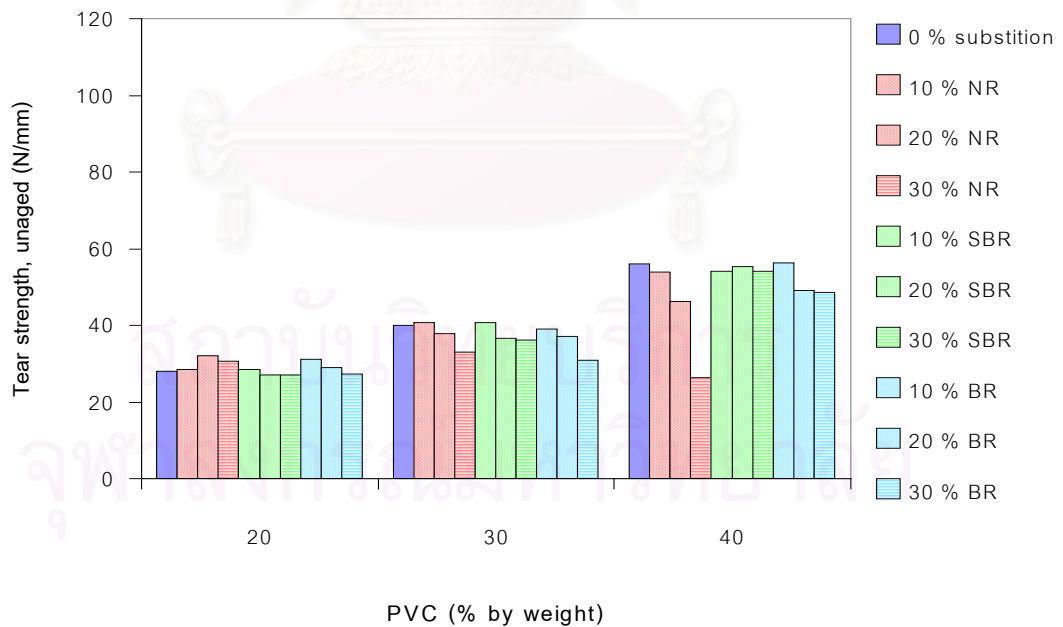
ตารางที่ 4.16 ความทนการฉีกขาดก่อนและหลังอบบ่มแรงของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่างๆ

PVC:NBR (ก่อน/หลัง อบบ่มแรง)	ความทนการฉีกขาด (N/mm)									
	0%	10% NR	20% NR	30% NR	10% SBR	20% SBR	30% SBR	10% BR	20% BR	30% BR
20:80 ก่อนอบ	28.0 (2.91)	28.6 (3.36)	32.0 (2.26)	30.7 (0.83)	28.6 (1.17)	27.1 (2.38)	27.1 (2.66)	31.2 (4.26)	29.0 (1.97)	27.2 (1.87)
20:80 หลังอบ	25.7 (3.37)	24.7 (0.79)	23.2 (2.05)	22.1 (1.46)	25.6 (2.66)	23.5 (1.02)	24.6 (1.71)	24.2 (3.34)	25.4 (2.15)	23.3 (1.96)
30:70 ก่อนอบ	39.9 (3.02)	40.8 (9.02)	37.9 (0.76)	33.2 (1.18)	40.8 (1.77)	36.6 (1.21)	36.2 (1.36)	39.0 (1.40)	37.1 (2.87)	30.9 (1.47)
30:70 หลังอบ	36.2 (2.98)	38.8 (2.94)	30.9 (2.76)	24.9 (0.85)	34.2 (3.13)	35.0 (2.06)	33.8 (1.07)	34.8 (1.18)	34.2 (1.49)	28.8 (2.01)
40:60 ก่อนอบ	56.1 (3.08)	53.9 (2.60)	46.2 (1.12)	26.5 (2.26)	54.2 (2.95)	55.3 (1.50)	54.1 (1.10)	56.4 (2.30)	49.1 (1.54)	48.7 (1.98)
40:60 หลังอบ	55.0 (1.28)	50.9 (3.17)	41.5 (1.82)	20.9 (0.55)	51.4 (2.89)	53.1 (2.19)	53.0 (1.73)	53.1 (2.44)	46.8 (1.51)	49.8 (1.58)

หมายเหตุ () คือ SD หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)



รูปที่ 4.14 ความทนการฉีกขาดของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ ก่อนและหลังอบบ่มแรง



รูปที่ 4.15 ความทนการฉีกขาดของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่าง ๆ ก่อนอบบ่มแรง

4.5 ความต้านทานการสึกหรอ (Akron abrasion resistance)

ความต้านทานการสึกหรอของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ และ พอลิเมอร์ผสมพีวีซีกับยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่าง ๆ แสดงไว้ดังตารางที่ 4.17 – 4.18 และรูปที่ 4.16 – 4.17

สำหรับความต้านทานต่อการสึกหรอของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ ที่อัตราส่วนของพีวีซีและยางไนไตรล์ (PVC:NBR) คือ 0:100 , 10:90 , 20:80 , 30:70 , 40:60 , 50:50 , 60:40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ค่าความต้านทานต่อการสึกหรออยู่ในช่วง 0.02 – 0.08 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อ 1000 รอบ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.17 และรูปที่ 4.16 พบว่าเมื่อปริมาณพีวีซีเพิ่มขึ้น มีผลทำให้พอลิเมอร์ผสมมีค่าความต้านทานต่อการสึกหรอเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย หรือปริมาณของยางที่หายไปเมื่อถูกขัดสีลดลง เนื่องจากคลอรีนในพีวีซีเข้าไปยึดเกาะกับยางทำให้สายโซ่โมเลกุลของยางเคลื่อนที่ได้ยากขึ้น ส่งผลให้ความต้านทานต่อการสึกหรอดีขึ้น

สำหรับความต้านทานต่อการสึกหรอของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ ที่อัตราส่วนของพีวีซีและยางไนไตรล์ (PVC:NBR) คือ 20:80 , 30:70 , 40:60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยเติมยางธรรมชาติ , ยางสไตรีน-บิวทาไดอีน และ ยางพอลิบิวทาไดอีน ที่ 10 , 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ทดแทนในยางไนไตรล์ ค่าความต้านทานต่อการสึกหรออยู่ในช่วง 0.02 – 0.95 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อ 1000 รอบ ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.18 และรูปที่ 4.17 พบว่า

ก) เมื่อเติมยางธรรมชาติ ที่ 10 เปอร์เซ็นต์ ในพีวีซีที่ 20,30,40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และที่ 20 เปอร์เซ็นต์ ในพีวีซีที่ 30,40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีผลทำให้พอลิเมอร์ผสมมีค่าความต้านทานต่อการสึกหรอเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย สำหรับทุกอัตราส่วนของพีวีซี โดยเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ แต่ยางธรรมชาติที่ 20,30 เปอร์เซ็นต์ ในพีวีซี 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก และที่ 30 เปอร์เซ็นต์ ในพีวีซี 20,30,40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีผลทำให้พอลิเมอร์ผสมมีค่าความต้านทานต่อการสึกหรอเพิ่มขึ้นมาก สำหรับทุกอัตราส่วนของพีวีซี โดยเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ แสดงให้เห็นว่ายางธรรมชาติไม่เหมาะสมที่เติมลงไป ในอัตราส่วนนี้ เนื่องจากยางธรรมชาติเป็นโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว ไม่สามารถผสมเข้ากับยางไนไตรล์และพีวีซีที่มีขั้วได้ในปริมาณที่สูงได้

ข) เมื่อเพิ่มยางสไตรีน-บิวทาไดอีน ที่ 10 เปอร์เซ็นต์ ในพีวีซีที่ 20,30,40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และที่ 20 เปอร์เซ็นต์ ในพีวีซีที่ 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีผลทำให้พอลิเมอร์ผสมมีค่าความต้านทานต่อการสึกหรอเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย สำหรับทุกอัตราส่วนของพีวีซี โดยเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ แต่ยางสไตรีน-บิวทาไดอีนที่ 20 เปอร์เซ็นต์ ในพีวีซี 20,30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และที่ 30 เปอร์เซ็นต์ ในพีวีซี 20,30,40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีผลทำให้พอลิเมอร์ผสมมีค่าความต้านทานต่อการสึกหรอเพิ่มขึ้นมาก สำหรับทุกอัตราส่วนของพีวีซี โดย

เปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ แต่น้อยกว่ายางธรรมชาติ แสดงให้เห็นว่ายางสไตรีน-บิวทาไดอีนไม่เหมาะสมที่เติมลงไปในส่วนนี้ เนื่องจากยางสไตรีน-บิวทาไดอีนเป็นโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว ไม่สามารถผสมเข้ากับยางไนไตรล์และพีวีซีที่มีขั้วได้ในปริมาณที่สูงได้

ค) เมื่อเติมยางพอลิบิวทาไดอีน ความต้านทานต่อการสึกหรอ มีแนวโน้มคล้ายกับยางธรรมชาติ

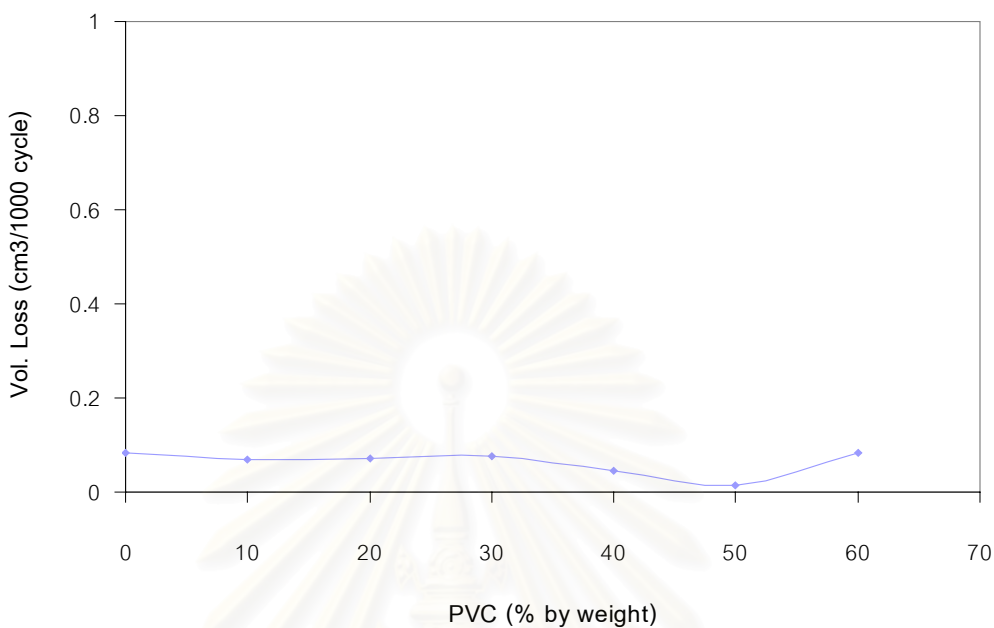
ตารางที่ 4.17 ความต้านทานการสึกหรอของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์

PVC:NBR	0:100	10:90	20:80	30:70	40:60	50:50	60:40
Volume loss (cm ³ /1000 cycle)	0.08	0.07	0.07	0.08	0.05	0.02	0.08

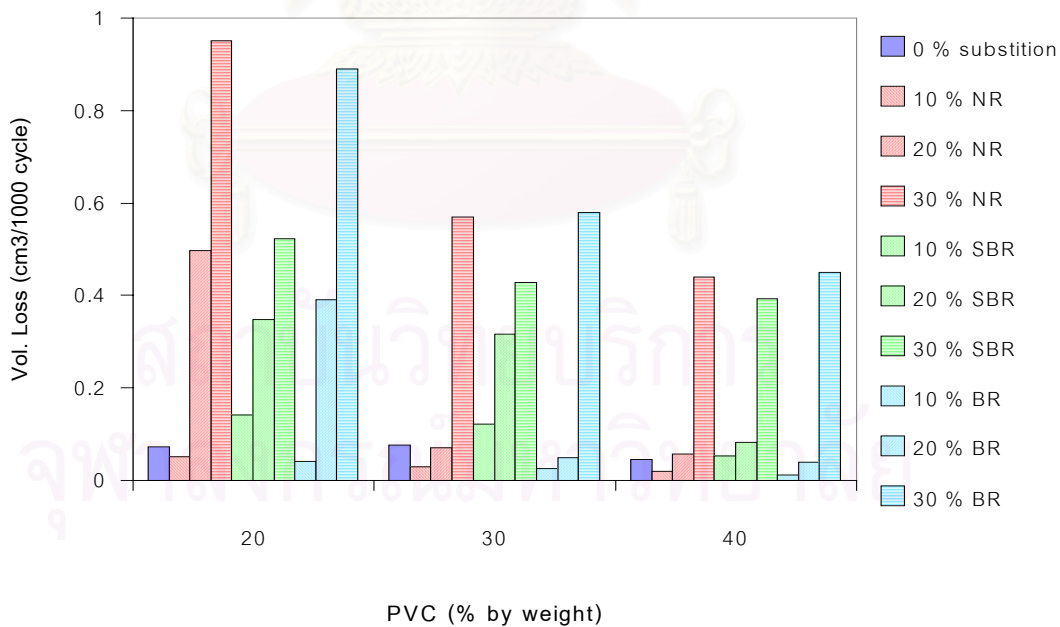
ตารางที่ 4.18 ความต้านทานการสึกหรอของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่างๆ

PVC:NBR	Volume loss (cm ³ /1000 cycle)									
	0 %	10% NR	20% NR	30% NR	10% SBR	20% SBR	30% SBR	10% BR	20% BR	30% BR
20:80	0.07	0.06	0.50	0.95	0.14	0.35	0.52	0.042	0.39	0.89
30:70	0.08	0.03	0.07	0.57	0.12	0.32	0.43	0.025	0.05	0.58
40:60	0.05	0.02	0.06	0.44	0.05	0.08	0.39	0.011	0.04	0.45

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.16 ความต้านทานการสึกหรอของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์



รูปที่ 4.17 ความต้านทานการสึกหรอของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่างๆ

4.6 การกระดอน (Resilience)

การกระดอนของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ และ พอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่าง ๆ แสดงไว้ดังตารางที่ 4.19 – 4.20 และรูปที่ 4.18 – 4.19

สำหรับการกระดอนของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ ที่อัตราส่วนของพีวีซีและยางไนไตรล์ (PVC:NBR) คือ 0:100 , 10:90 , 20:80 , 30:70 , 40:60 , 50:50 , 60:40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ค่าการกระดอนอยู่ในช่วง 10.3 – 54.3 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.19 และรูปที่ 4.18 พบว่าเมื่อปริมาณพีวีซีเพิ่มขึ้น มีผลทำให้พอลิเมอร์ผสมมีการกระดอนลดลง เนื่องจากคลอรีนในพีวีซีเข้าไปยึดเกาะกับโมเลกุลยางทำให้สายโซ่โมเลกุลของยางเคลื่อนที่ได้ยากขึ้น มีความยืดหยุ่นลดลง ส่งผลให้การกระดอนของพอลิเมอร์ผสมลดลง

สำหรับการกระดอนของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ ที่อัตราส่วนของพีวีซีและยางไนไตรล์ (PVC:NBR) คือ 20:80 , 30:70 , 40:60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยเติมยางธรรมชาติ , ยางสไตรีน-บิวทาไดอีน และ ยางพอลิบิวทาไดอีน ที่ 10 , 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ทดแทนในยางไนไตรล์ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.20 และรูปที่ 4.19 พบว่า

ก) เมื่อเติมยางธรรมชาติ ที่ 10 เปอร์เซ็นต์ ในพีวีซีที่ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และที่ 30 เปอร์เซ็นต์ ในพีวีซีที่ 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีผลทำให้พอลิเมอร์ผสมมีค่าการกระดอนเพิ่มขึ้น สำหรับทุกอัตราส่วนของพีวีซี โดยเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ แต่ยางธรรมชาติที่ 20,30 เปอร์เซ็นต์ ในพีวีซีที่ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และที่ 10,30 เปอร์เซ็นต์ ในพีวีซี 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และที่ 10,20 เปอร์เซ็นต์ ในพีวีซี 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีผลทำให้พอลิเมอร์ผสมมีค่าการกระดอนลดลงมาก สำหรับทุกอัตราส่วนของพีวีซี โดยเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์

ข) เมื่อเติมยางสไตรีน-บิวทาไดอีน และยางพอลิบิวทาไดอีน ค่าการกระดอน มีแนวโน้มคล้ายกับยางธรรมชาติ แต่น้อยกว่าเล็กน้อย

ตารางที่ 4.19 การกระดอนของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์

PVC:NBR	0:100	10:90	20:80	30:70	40:60	50:50	60:40
การกระดอน (%)	54.3 (2.17)	48.3 (1.20)	38.2 (0.46)	28.1 (0.10)	16.2 (0.15)	12.7 (0.23)	10.3 (0.06)

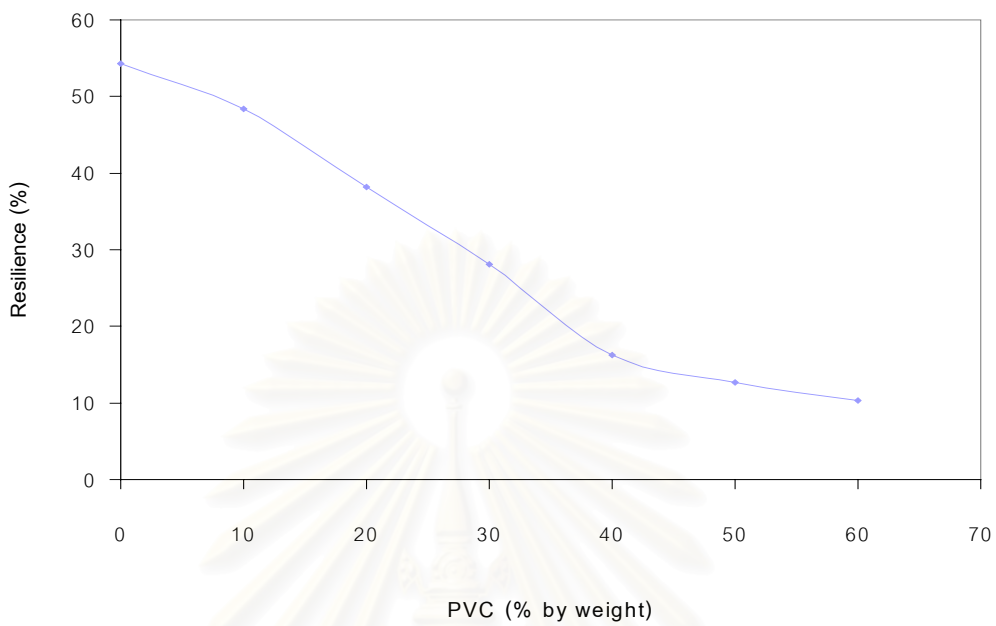
หมายเหตุ () คือ SD หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

ตารางที่ 4.20 การกระดอนของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่างๆ

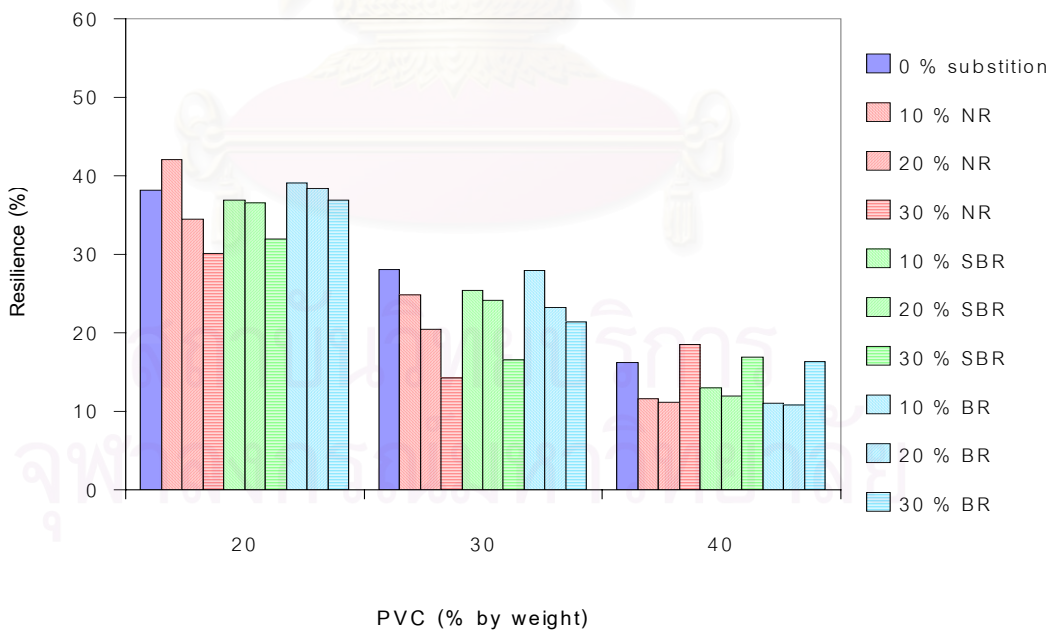
PVC:NBR	การกระดอน (%)									
	0 %	10% NR	20% NR	30% NR	10% SBR	20% SBR	30% SBR	10% BR	20% BR	30% BR
20:80	38.2 (0.46)	42.1 (0.45)	34.5 (0.20)	30.1 (0.89)	36.9 (0.79)	36.5 (0.72)	32.0 (0.00)	39.1 (0.36)	38.4 (0.92)	36.9 (0.95)
30:70	28.1 (0.10)	24.8 (0.20)	20.5 (0.30)	14.2 (0.50)	25.4 (0.35)	24.1 (0.61)	16.5 (0.20)	27.9 (0.61)	23.2 (0.29)	21.4 (0.40)
40:60	16.2 (0.15)	11.6 (0.46)	11.2 (0.21)	18.5 (0.35)	13.0 (0.00)	12.0 (0.26)	16.9 (0.00)	11.0 (0.38)	10.8 (0.12)	16.3 (0.10)

หมายเหตุ () คือ SD หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.18 การกระดอนของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์



รูปที่ 4.19 การกระดอนของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่าง ๆ

4.7 การยุบตัว (Compression set)

สมบัติการยุบตัวของยาง คือ สมบัติในการคงสภาพความเป็นอีลาสติกของยางภายใต้ความเค้นอัด อุณหภูมิ 100 °C เวลา 22 ชั่วโมง โดยเครื่อง Compression set Method B แล้วหาเปอร์เซ็นต์การยุบตัวของชิ้นทดสอบ ถ้าเปอร์เซ็นต์การยุบตัวต่ำแสดงว่ายางมีการคืนตัวดี และถ้าเปอร์เซ็นต์การยุบตัวสูงแสดงว่าการคืนตัวไม่ดี

การยุบตัวของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ และพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่าง ๆ แสดงไว้ดังตารางที่ 4.21 – 4.22 และรูปที่ 4.20 – 4.21

สำหรับเปอร์เซ็นต์การยุบตัวของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ ที่อัตราส่วนของพีวีซีและยางไนไตรล์ (PVC:NBR) คือ 0:100 , 10:90 , 20:80 , 30:70 , 40:60 , 50:50 , 60:40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เปอร์เซ็นต์การยุบตัวอยู่ในช่วง 60.7 – 69.4 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.21 และรูปที่ 4.20 พบว่าเมื่อปริมาณพีวีซีเพิ่มขึ้น มีผลทำให้พอลิเมอร์ผสมมีเปอร์เซ็นต์การยุบตัวเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

สำหรับเปอร์เซ็นต์การยุบตัวของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ ที่อัตราส่วนของพีวีซีและยางไนไตรล์ (PVC:NBR) คือ 20:80 , 30:70 , 40:60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยเติมยางธรรมชาติ , ยางสไตรีน-บิวทาไดอีน และ ยางพอลิบิวทาไดอีน ที่ 10 , 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ทดแทนในยางไนไตรล์ เปอร์เซ็นต์การยุบตัวอยู่ในช่วง 50.6 – 77.1 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.22 และรูปที่ 4.21 พบว่า

ก) เมื่อเติมยางธรรมชาติที่ 10,20,30 เปอร์เซ็นต์ ในพีวีซีที่ 20,30,40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีค่าเปอร์เซ็นต์การยุบตัวเพิ่มขึ้น สำหรับทุกอัตราส่วนของพีวีซี โดยเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์

ข) เมื่อเพิ่มยางสไตรีน-บิวทาไดอีนและยางพอลิบิวทาไดอีน ที่ 10,20,30 เปอร์เซ็นต์ในพีวีซีที่ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีผลทำให้พอลิเมอร์ผสมมีค่าเปอร์เซ็นต์การยุบตัวลดลง สำหรับทุกอัตราส่วนของพีวีซี โดยเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ แต่เมื่อเพิ่มยางสไตรีน-บิวทาไดอีนที่ 10,20,30 เปอร์เซ็นต์ ในพีวีซีที่ 30,40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีผลทำให้พอลิเมอร์ผสมมีค่าเปอร์เซ็นต์การยุบตัวเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย สำหรับทุกอัตราส่วนของพีวีซี โดยเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์

ตารางที่ 4.21 การยุบตัวของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์

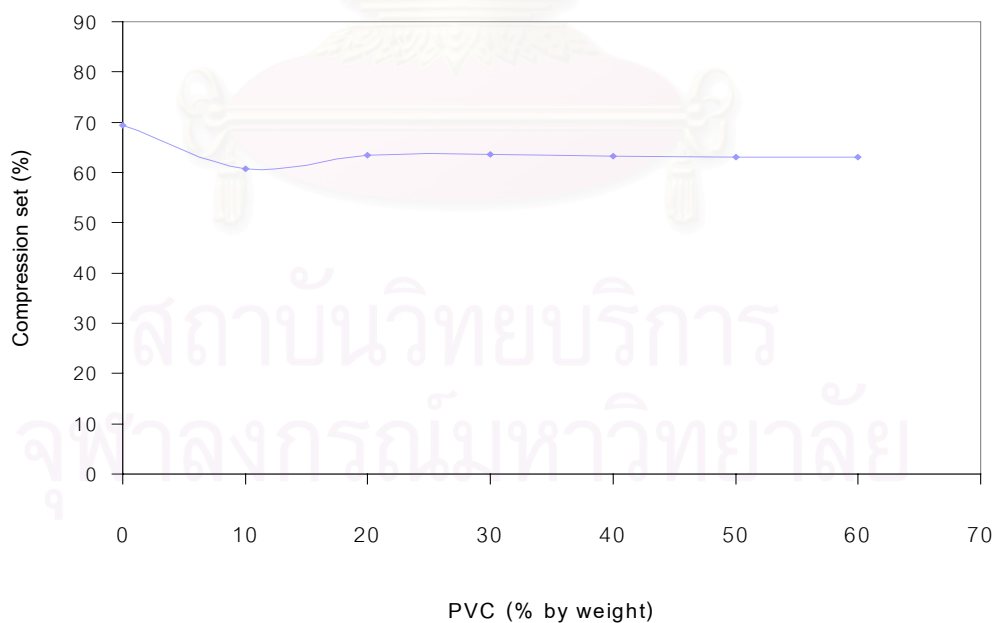
PVC:NBR	0:100	10:90	20:80	30:70	40:60	50:50	60:40
การยุบตัว (%)	69.4 (0.95)	60.7 (1.26)	63.5 (0.42)	63.7 (1.81)	64.0 (0.93)	63.2 (0.44)	63.0 (1.22)

หมายเหตุ () คือ SD หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

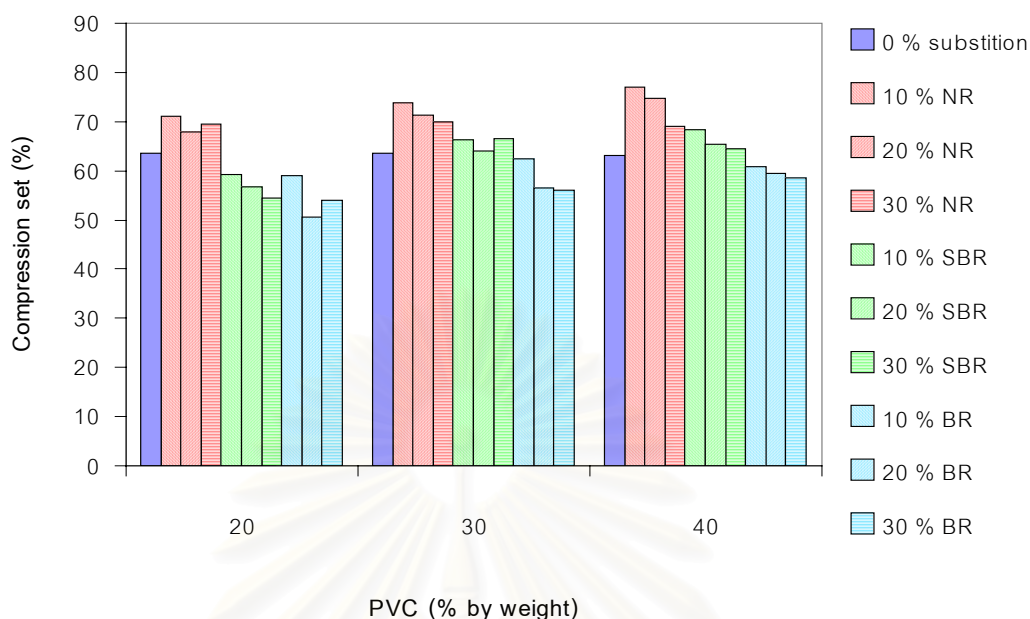
ตารางที่ 4.22 การยุบตัวของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่างๆ

PVC:NBR	การยุบตัว (%)									
	0 %	10% NR	20% NR	30% NR	10% SBR	20% SBR	30% SBR	10% BR	20% BR	30% BR
20:80	63.5 (0.42)	71.2 (1.54)	67.9 (1.80)	69.5 (1.17)	59.3 (2.04)	56.8 (0.83)	54.4 (0.41)	58.9 (1.20)	50.6 (0.88)	54.0 (0.81)
30:70	63.7 (1.81)	73.9 (0.74)	71.4 (0.78)	69.9 (1.42)	66.2 (0.92)	64.0 (0.24)	66.5 (0.98)	62.5 (0.67)	56.5 (1.04)	56.0 (0.58)
40:60	64.0 (0.93)	77.1 (1.99)	74.7 (0.61)	69.1 (0.66)	68.3 (0.20)	65.4 (0.22)	64.6 (0.58)	60.9 (0.45)	59.5 (1.17)	58.6 (0.85)

หมายเหตุ () คือ SD หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)



รูปที่ 4.20 การยุบตัวของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์



รูปที่ 4.21 การยุบตัวของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่าง ๆ

4.8 ความต้านทานต่อน้ำมัน (Oil resistance, Fuel C)

ความต้านทานต่อน้ำมันของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ และ พอลิเมอร์ผสมพีวีซีกับยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่าง ๆ แสดงไว้ดังตารางที่ 4.23–4.24 และรูปที่ 4.22 – 4.23 สำหรับความต้านทานต่อน้ำมันพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ ที่อัตราส่วนของพีวีซีและยางไนไตรล์ (PVC:NBR) คือ 0:100 , 10:90 , 20:80 , 30:70 , 40:60 , 50:50 , 60:40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ค่าความต้านทานต่อน้ำมันอยู่ในช่วง 61.3 – 68.5 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.23 และรูปที่ 4.22 พบว่าเมื่อปริมาณพีวีซีเพิ่มขึ้น มีผลทำให้พอลิเมอร์ผสมมีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรมีค่าใกล้เคียงกันสำหรับทุกอัตราส่วนของพีวีซี เนื่องจากยางไนไตรล์และพีวีซีเป็นยางที่มีขั้ว สามารถทนต่อน้ำมันที่ไม่มีขั้ว ในการทำงานวิจัยนี้ใช้ของเหลว Fuel C (50% Iso-octane + 50% Toluene) ซึ่งเป็นน้ำมันที่ไม่มีขั้ว

สำหรับความต้านทานต่อน้ำมันของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ ที่อัตราส่วนของพีวีซีและยางไนไตรล์ (PVC:NBR) คือ 20:80 , 30:70 , 40:60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยเติมยางธรรมชาติ , ยางสไตรีน-บิวทาไดอีน และ ยางพอลิบิวทาไดอีน ที่ 10 , 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ทดแทนในยางไนไตรล์ ค่าความต้านทานต่อน้ำมันอยู่ในช่วง 66.1 – 147.9 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.24 และรูปที่ 4.23 พบว่าเมื่อปริมาณยางทั้ง 3 ชนิดเพิ่มขึ้น มีผลทำให้

พอลิเมอร์ผสมมีค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาตรสูงขึ้น สำหรับทุกอัตราส่วนของพีวีซี โดยเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ เนื่องจากยางทั้ง 3 ชนิดเป็นยางที่ไม่มีขั้ว ไม่สามารถทนต่อน้ำมันที่ไม่มีขั้วได้

ตารางที่ 4.23 ความต้านทานต่อน้ำมันของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์

PVC:NBR	0:100	10:90	20:80	30:70	40:60	50:50	60:40
การเปลี่ยนแปลงปริมาตร (%)	61.3 (2.45)	68.0 (6.36)	68.5 (2.13)	66.7 (3.31)	66.1 (3.44)	65.5 (1.45)	65.6 (2.43)

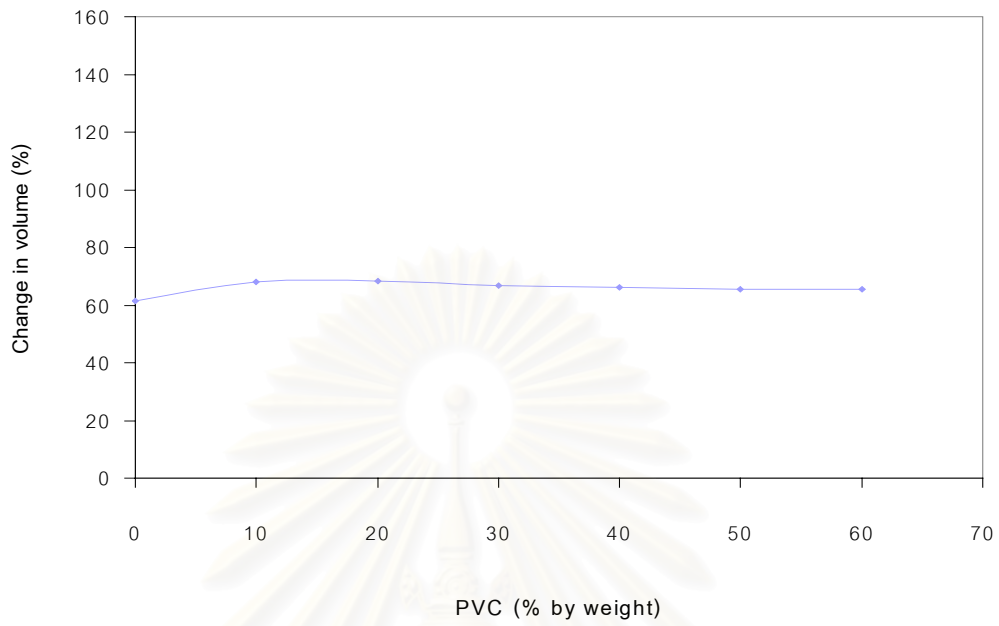
หมายเหตุ () คือ SD หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

ตารางที่ 4.24 ความต้านทานต่อน้ำมันของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่างๆ

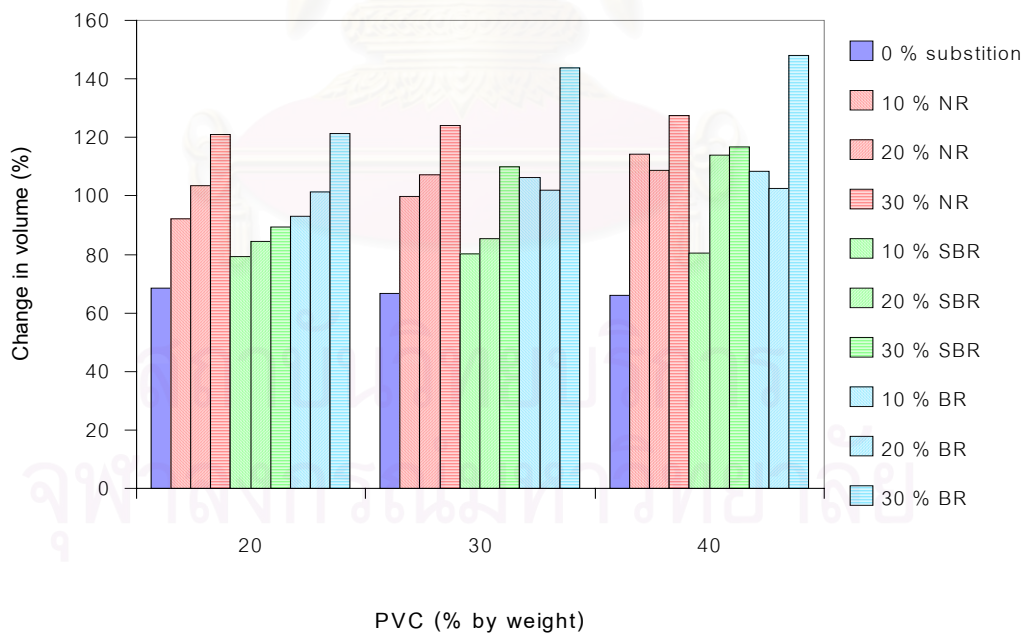
PVC:NBR	การเปลี่ยนแปลงปริมาตร (%)									
	0 %	10% NR	20% NR	30% NR	10% SBR	20% SBR	30% SBR	10% BR	20% BR	30% BR
20:80	68.5 (2.1)	92.3 (9.02)	103.6 (1.4)	121.0 (16.8)	79.1 (1.4)	84.3 (2.4)	89.3 (4.0)	93.0 (3.8)	101.4 (3.5)	121.4 (9.5)
30:70	66.7 (3.3)	99.8 (0.6)	107.0 (21.3)	124.0 (5.0)	80.0 (2.4)	85.4 (3.3)	110.0 (24.3)	106.1 (0.04)	102.1 (15.4)	143.6 (36.9)
40:60	66.1 (3.4)	114.3 (12.1)	108.8 (14.1)	127.3 (4.4)	80.4 (0.7)	114.1 (29.7)	116.6 (39.2)	108.4 (4.6)	102.6 (9.6)	147.9 (0.6)

หมายเหตุ () คือ SD หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.22 ความต้านทานต่อน้ำมันของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์



รูปที่ 4.23 ความต้านทานต่อน้ำมันของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่างๆ

4.9 ความแข็ง (Hardness)

ความแข็งของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ และ พอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่าง ๆ ก่อนผ่านการอบแรงด้วยความร้อนแสดงไว้ดังตารางที่ 4.25 – 4.26 และรูปที่ 4.24 – 4.25

สำหรับความแข็งของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ ที่อัตราส่วนของพีวีซีและยางไนไตรล์ (PVC:NBR) คือ 0:100 , 10:90 , 20:80 , 30:70 , 40:60 , 50:50 , 60:40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ค่าความแข็งก่อนอบบ่มแรงอยู่ในช่วง 46.7 – 95.6 Shore A ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.25 และรูปที่ 4.24 พบว่าเมื่อปริมาณพีวีซีเพิ่มขึ้น มีผลทำให้พอลิเมอร์ผสมมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้น เนื่องจากพีวีซีเป็นเทอร์โมพลาสติก ที่มีความแข็ง และเปราะ เมื่อเติมลงไปนยางทำให้สายโซ่โมเลกุลของยางมีความยืดหยุ่นลดลง ความแข็งจะเพิ่มขึ้น

สำหรับความแข็งของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ ที่อัตราส่วนของพีวีซีและยางไนไตรล์ (PVC:NBR) คือ 20:80 , 30:70 , 40:60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยเติมยางธรรมชาติ , ยางสไตรีน-บิวทาไดอีน และ ยางพอลิบิวทาไดอีน ที่ 10 , 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ทดแทนในยางไนไตรล์ ค่าความแข็งก่อนอบบ่มแรงอยู่ในช่วง 48.7 – 76.8 Shore A ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.26 และรูปที่ 4.25 พบว่าเมื่อปริมาณยางทั้ง 3 ชนิดเพิ่มขึ้น มีผลทำให้พอลิเมอร์ผสมมีค่าความแข็งเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย สำหรับทุกอัตราส่วนของพีวีซี โดยเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์

ความแข็งของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ และ พอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่าง ๆ หลังผ่านการอบแรงด้วยความร้อนแสดงไว้ดังตารางที่ 4.25 – 4.26

สำหรับความแข็งของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ ที่อัตราส่วนของพีวีซีและยางไนไตรล์ (PVC:NBR) คือ 0:100 , 10:90 , 20:80 , 30:70 , 40:60 , 50:50 , 60:40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และความแข็งของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ ที่อัตราส่วนของพีวีซีและยางไนไตรล์ (PVC:NBR) คือ 20:80 , 30:70 , 40:60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยเติมยางธรรมชาติ , ยางสไตรีน-บิวทาไดอีน และ ยางพอลิบิวทาไดอีน ที่ 10 , 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ทดแทนในยางไนไตรล์ ค่าความแข็งหลังอบบ่มแรงอยู่ในช่วง 45.1 – 94.9 Shore A ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.25 – 4.26 พบว่าหลังผ่านการอบแรงด้วยความร้อนมีค่าความแข็งมากกว่าก่อนอบบ่มแรง ทั้งนี้เนื่องจากความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันในยาง ทำให้ความยืดหยุ่นในโมเลกุลของยางลดลง ดังนั้นค่าความแข็งจึงเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.25 ความแข็งก่อนและหลังอบบ่มแรงของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์

PVC:NBR (ก่อน/หลังอบบ่มแรง)	0:100	10:90	20:80	30:70	40:60	50:50	60:40
ความแข็ง (Shore A), ก่อนอบ	46.7 (0.24)	50.9 (0.40)	55.3 (0.41)	61.6 (0.46)	69.6 (0.50)	80.7 (0.58)	95.6 (0.39)
ความแข็ง (Shore A), หลังอบ	50.6 (0.35)	54.1 (0.77)	56.3 (0.87)	62.1 (0.53)	70.4 (0.37)	81.4 (0.52)	94.9 (0.95)

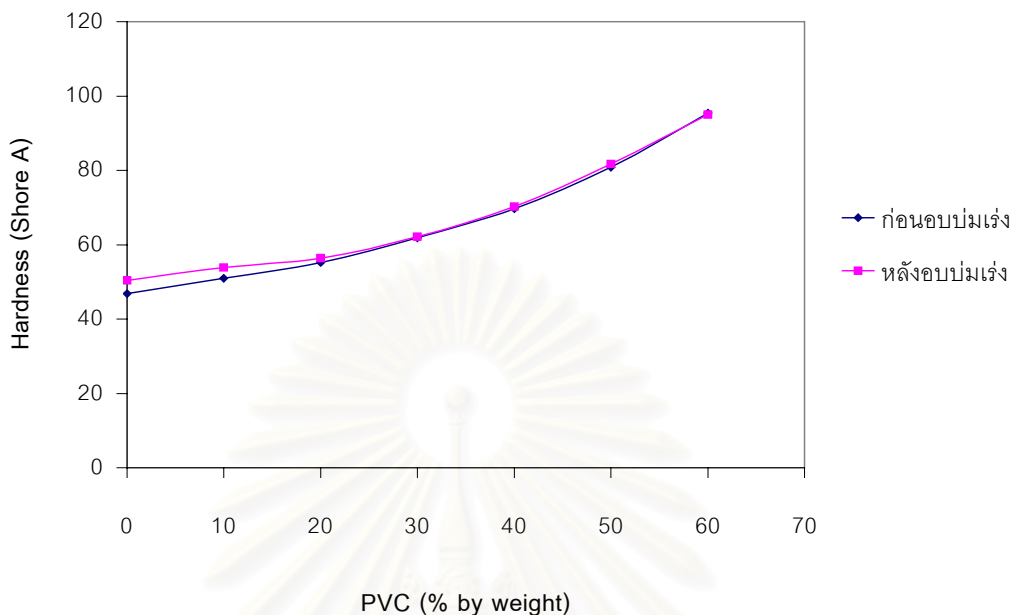
หมายเหตุ () คือ SD หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

ตารางที่ 4.26 ความแข็งก่อนและหลังอบบ่มแรงของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่างๆ

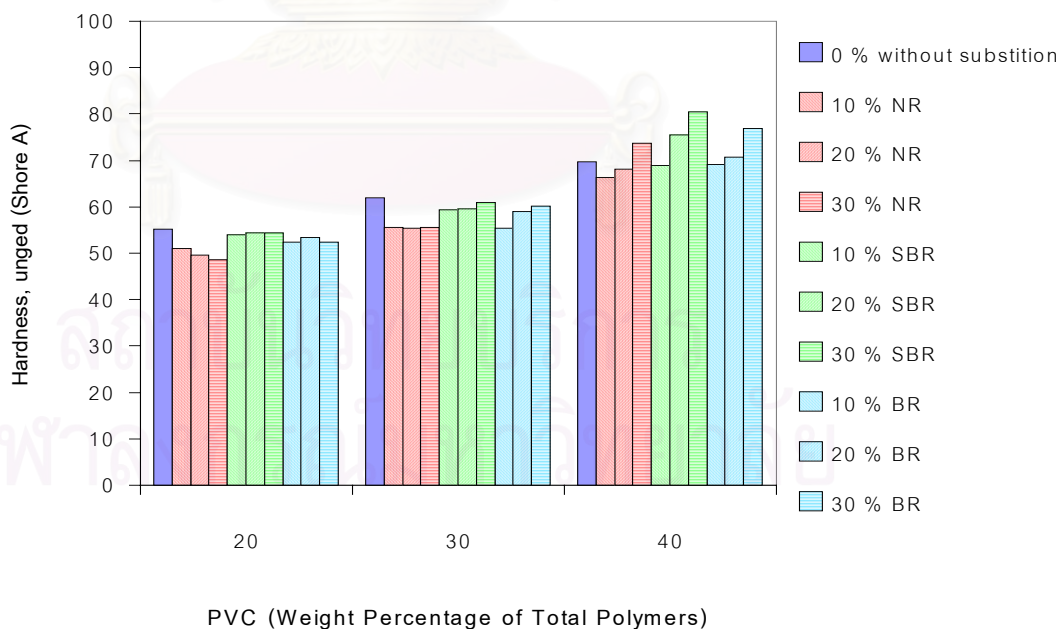
PVC:NBR (ก่อน/หลัง อบบ่มแรง)	ความแข็ง (Shore A)									
	0%	10% NR	20% NR	30% NR	10% SBR	20% SBR	30% SBR	10% BR	20% BR	30% BR
20:80 ก่อนอบ	55.3 (0.41)	51.4 (0.66)	50.0 (0.96)	48.7 (0.83)	53.9 (0.58)	54.3 (0.18)	54.8 (0.88)	52.2 (1.64)	52.9 (0.84)	52.3 (0.34)
20:80 หลังอบ	56.3 (0.87)	50.8 (0.16)	47.2 (0.46)	45.1 (0.34)	54.6 (0.24)	54.4 (0.25)	54.7 (0.49)	53.8 (0.47)	52.5 (0.19)	53.3 (0.42)
30:70 ก่อนอบ	61.6 (0.46)	55.6 (1.49)	55.4 (0.53)	55.3 (0.56)	59.1 (0.84)	59.2 (0.33)	60.9 (0.58)	55.4 (0.62)	59.0 (0.71)	59.9 (0.51)
30:70 หลังอบ	62.1 (0.53)	55.1 (0.68)	53.4 (0.36)	50.6 (0.34)	59.5 (0.59)	58.0 (0.59)	60.6 (0.41)	56.2 (0.44)	58.2 (0.49)	58.0 (0.56)
40:60 ก่อนอบ	69.6 (0.50)	66.4 (0.37)	68.3 (0.71)	73.8 (0.52)	69.0 (0.36)	75.3 (0.45)	80.6 (0.40)	68.6 (0.80)	70.8 (0.43)	76.8 (0.13)
40:60 หลังอบ	70.4 (0.37)	65.5 (0.36)	65.5 (0.25)	70.7 (0.48)	68.5 (0.75)	74.5 (1.20)	81.0 (0.69)	66.5 (0.31)	69.3 (0.23)	76.8 (0.50)

หมายเหตุ () คือ SD หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



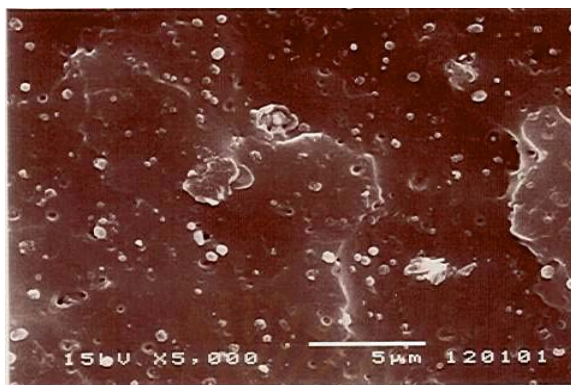
รูปที่ 4.24 ความแข็งของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ ก่อนและหลังอบบ่มแรง



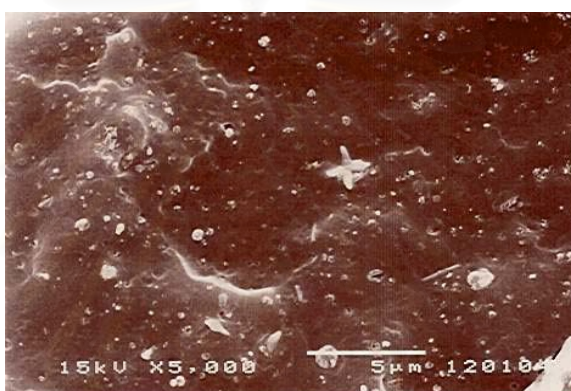
รูปที่ 4.25 ความแข็งของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่าง ๆ

4.10 สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม

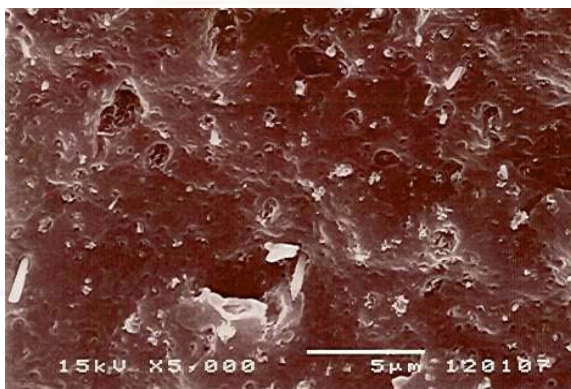
สัณฐานวิทยา (Morphology) ของพอลิเมอร์ผสม ศึกษาโดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscopy (SEM) ในการทดลองนี้เป็นการศึกษาสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมของพีวีซีและยางไนไตรล์ ที่อัตราส่วนของพีวีซีและยางไนไตรล์ 0:100 , 30:70 และ 60:40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ ที่อัตราส่วนของพีวีซีและยางไนไตรล์ 30:70 โดยเติมยางธรรมชาติ , ยางสไตรีน-บิวทาไดอีน และยางพอลิบิวทาไดอีน ที่ 30 เปอร์เซ็นต์ทดแทนในยางไนไตรล์ ซึ่งได้จากแนวฉากตรงภาคตัดขวางของชิ้นทดสอบความทนการฉีกขาด จากรูปที่ 4.26 แสดงสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ ที่อัตราส่วนของพีวีซีและยางไนไตรล์ (PVC:NBR) 0:100 , 30:70 และ 60:40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก กำลังขยาย 5000 เท่า พบว่าพีวีซีสามารถรวมตัวเข้ากันได้กับยางไนไตรล์ในพอลิเมอร์ผสม เนื่องจากทั้งพีวีซีและยางไนไตรล์เป็นโมเลกุลที่มีขั้วสามารถผสมเข้ากันได้ดี สามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้ และรูปที่ 4.27 แสดงสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ ที่อัตราส่วนของพีวีซีและยางไนไตรล์ (PVC:NBR) 30:70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยเติมยางธรรมชาติ ยางสไตรีน-บิวทาไดอีน และยางพอลิบิวทาไดอีน ที่ 30 เปอร์เซ็นต์ กำลังขยาย 5000 เท่า พบว่ายางทั้ง 3 ชนิดไม่สามารถรวมตัวเข้าเป็นเนื้อเดียวกันกับพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ เนื่องจากยางทั้ง 3 ชนิดเป็นยางที่ไม่มีขั้ว ไม่สามารถผสมเข้ากันได้กับพีวีซีและยางไนไตรล์ที่มีขั้วได้



(1)



(2)



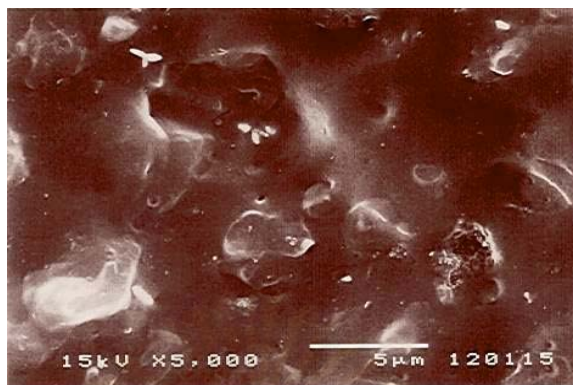
(3)

รูปที่ 4.26 สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ กำลังขยาย 5000 เท่า

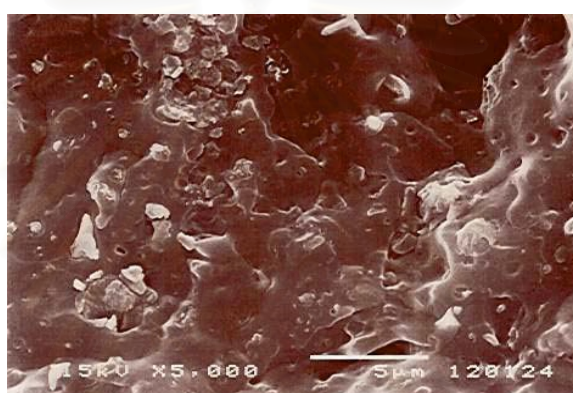
(1) อัตราส่วนของพีวีซีและยางไนไตรล์ (PVC:NBR) ที่ 0:100

(2) อัตราส่วนของพีวีซีและยางไนไตรล์ (PVC:NBR) ที่ 30:70

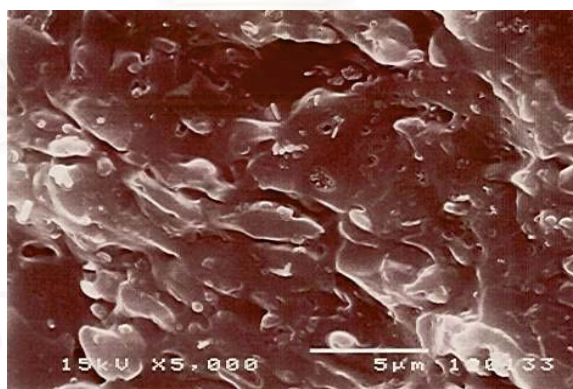
(3) อัตราส่วนของพีวีซีและยางไนไตรล์ (PVC:NBR) ที่ 60:40



(1)



(2)



(3)

- รูปที่ 4.27 สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ (PVC:NBR) ที่ 30:70
 กำลังขยาย 5000 เท่า โดยเติมยางชนิดต่างๆ
- (1) ยางธรรมชาติที่ 30 เปอร์เซนต์
 - (2) ยางสไตรีน-บิวทาไดอีนที่ 30 เปอร์เซนต์
 - (3) ยางพอลิบิวทาไดอีนที่ 30 เปอร์เซนต์

4.11 การเปรียบเทียบสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพีวีซีและยางไนไตรล์ และพอลิเมอร์ผสมระหว่างพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่างๆ กับมาตรฐานท่อยางสำหรับผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม

เปรียบเทียบสมบัติของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ ที่อัตราส่วนระหว่างพีวีซีกับยางไนไตรล์ (PVC : NBR) คือ 20 : 80 , 30 : 70 , 40 : 60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยเติมยางธรรมชาติ , ยางสไตรีน-บิวทาไดอีน และ ยางพอลิบิวทาไดอีน ที่ 10 , 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ทดแทนในยางไนไตรล์ กับมาตรฐานท่อยางสำหรับผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ตาม มอก.1086 – 2535 [19] และ Standard Classification System for Rubber Products in Automotive Application ASTM D2000 – 98 [20] ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.27 – 4.30 พบว่าเมื่อเติมยางทั้ง 3 ชนิด มีสมบัติความต้านทานแรงดึง และความยืดเมื่อขาดทั้งก่อนอบและหลังอบ ผ่านตามมาตรฐาน แสดงในตารางที่ 4.30 ยกเว้นความทนทานต่อน้ำมันปิโตรเลียมซึ่งทดสอบด้วยมาตรฐานที่ต่างกัน คือในงานวิจัยนี้ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D471 แต่มาตรฐาน มอก. ทดสอบตาม ISO 1817 จึงทำให้ค่าที่ได้จากการทดสอบแตกต่างกันเปรียบเทียบกันไม่ได้

ตารางที่ 4.27 เปรียบเทียบสมบัติของพอลิเมอร์ผสมของพีวีซีและยางไนไตรล์ และพอลิเมอร์ผสมของพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่างๆ กับมาตรฐานท่อสำหรับผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม และ ASTM 2000 ที่พีวีซี 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

สมบัติ	มอก. 1086 - 2535	ASTM D2000	NBR /PVC	NR/NBR/PVC			SBR/NBR/PVC			BR/NBR/PVC		
				10% NR	20% NR	30% NR	10% SBR	20% SBR	30% SBR	10% BR	20% BR	30% BR
ความต้านทานต่อแรงดึง (MPa) * ¹	ไม่น้อยกว่า 7	ไม่น้อยกว่า 10	6.3	8.6	10.7	12.2	6.2	6.5	6.6	6.7	6.9	5.8
ความยืดเมื่อขาด (%) * ²	ไม่น้อยกว่า 250	ไม่น้อยกว่า 250	351.1	447.2	538.9	519.4	387.6	406.2	389.1	391.1	420.7	393.1
ความต้านทานต่อแรงดึง (MPa) หลังอบบ่มแรง	ลดลงไม่ เกินร้อยละ 20	ลดลงไม่ เกินร้อยละ 30	11.3	23.4	38.0	30.1	0.98	3.69	-0.12	9.40	6.56	5.32
ความยืดเมื่อขาด (%) หลังอบบ่มแรง	ลดลงไม่ เกินร้อยละ 20	ลดลงไม่ เกินร้อยละ 50	6.0	14.9	27.4	18.7	12.8	9.5	8.3	13.2	15.1	13.2
ความทนทานต่อน้ำมัน ปิโตรเลียม	ไม่เกินร้อย ละ 100 * ³	-	68.5	92.3	103.6	121.0	79.08	84.3	89.3	93.0	101.4	121.4

*¹, *² คือความต้านทานต่อแรงดึงและความยืดเมื่อขาดทดสอบตามมาตรฐาน ISO 37

*³ คือความทนทานต่อน้ำมันปิโตรเลียมมาตรฐาน มอก. ทดสอบตามมาตรฐาน ISO 1817

ตารางที่ 4.28 เปรียบเทียบสมบัติของพอลิเมอร์ผสมของพีวีซีและยางไนไตรล์ และพอลิเมอร์ผสมของพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่างๆ กับมาตรฐานท่อยางสำหรับผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม และ ASTM 2000 ที่พีวีซี 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

สมบัติ	มอก. 1086 - 2535	ASTM D2000	NBR /PVC	NR/NBR/PVC			SBR/NBR/PVC			BR/NBR/PVC		
				10% NR	20% NR	30% NR	10% SBR	20% SBR	30% SBR	10% BR	20% BR	30% BR
ความต้านทานต่อแรงดึง (MPa)	ไม่น้อยกว่า 7	ไม่น้อยกว่า 10	8.8	11.2	10.9	10.9	8.9	9.0	9.2	9.1	8.7	7.7
ความยืดเมื่อขาด (%)	ไม่น้อยกว่า 250	ไม่น้อยกว่า 250	345.6	421.3	449.6	416.3	405.6	390.1	389.8	414.9	417.2	367.4
ความต้านทานต่อแรงดึง (MPa) หลังอบบ่มแรง	ลดลงไม่ เกินร้อยละ 20	ลดลงไม่ เกินร้อยละ 30	0.2	6.3	10.7	27.7	5.9	7.5	4.9	-3.4	-4.6	-0.4
ความยืดเมื่อขาด (%) หลังอบบ่มแรง	ลดลงไม่ เกินร้อยละ 20	ลดลงไม่ เกินร้อยละ 50	1.4	11.7	16.0	24.1	15.2	19.4	8.7	10.4	11.7	7.5
ความทนทานต่อน้ำมัน ปิโตรเลียม	ไม่เกินร้อย ละ 100	-	66.7	99.7	107.0	124.0	80.0	85.4	109.9	106.1	102.1	143.6

ตารางที่ 4.29 เปรียบเทียบสมบัติของพอลิเมอร์ผสมของพีวีซีและยางไนไตรล์ และพอลิเมอร์ผสมของพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่างๆ กับมาตรฐานตัวอย่างสำหรับผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม และ ASTM 2000 ที่พีวีซี 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

สมบัติ	มอก. 1086 - 2535	ASTM D2000	NBR /PVC	NR/NBR/PVC			SBR/NBR/PVC			BR/NBR/PVC		
				10% NR	20% NR	30% NR	10% SBR	20% SBR	30% SBR	10% BR	20% BR	30% BR
ความต้านทานต่อแรงดึง (MPa)	ไม่น้อยกว่า 7	ไม่น้อยกว่า 10	12.6	15.8	13.5	6.2	13.3	14.0	12.0	13.1	11.3	12.2
ความยืดเมื่อขาด (%)	ไม่น้อยกว่า 250	ไม่น้อยกว่า 250	330.4	448.0	381.5	162.9	429.6	461.5	318.5	451.2	340.8	341.8
ความต้านทานต่อแรงดึง (MPa) หลังอบบ่มแรง	ลดลงไม่ เกินร้อยละ 20	ลดลงไม่ เกินร้อยละ 30	3.7	2.4	11.1	17.2	2.8	-6.6	-5.9	-3.1	-6.1	-2.0
ความยืดเมื่อขาด (%) หลังอบบ่มแรง	ลดลงไม่ เกินร้อยละ 20	ลดลงไม่ เกินร้อยละ 50	4.4	18.6	15.6	19.9	20.1	23.0	8.4	20.6	7.1	5.2
ความทนทานต่อน้ำมัน ปิโตรเลียม	ไม่เกินร้อย ละ 100	-	66.1	114.3	108.8	127.3	80.4	114.1	116.6	108.4	102.6	147.9

4.12 เปรียบเทียบต้นทุนการผลิตของพอลิเมอร์ผสม [21]

ราคาของพอลิเมอร์ผสมแต่ละสูตรสามารถคำนวณได้จากปริมาณรวมของสารทั้งหมดที่ใช้ในสูตรผสมดังนี้

$$\text{ราคาต่อหน่วยน้ำหนัก} = \frac{\text{ราคารวมของสารต่างๆ}}{\text{น้ำหนักรวมของสาร}}$$

ตารางที่ 4.30 ราคาสารเคมีต่างๆ

สารเคมี	ราคา (บาท / กิโลกรัม)
พีวีซี	30.0
ยางไนไตรล์	67.9
ยางธรรมชาติ	33.0
ยางสไตรีน-บิวทาไดอีน	49.0
ยางพอลิบิวทาไดอีน	45.0
MgO	75.0
ZnO	43.7
Stearic Acid	21.0
CBS	153.0
TMTD	109.0
กำมะถัน	19.0

ตารางที่ 4.31 ราคาต่อน้ำหนักของพอลิเมอรัสมพีวีซีและยางไนไตรล์

PVC:NBR	0:100	10:90	20:80	30:70	40:60	50:50	60:40
ราคาต่อน้ำหนัก (บาท / กิโลกรัม)	71.86	68.21	64.56	60.92	57.27	53.62	49.97

ตารางที่ 4.32 ราคาต่อน้ำหนักของพอลิเมอรัสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่างๆ

PVC:NBR	ราคาต่อน้ำหนัก (บาท / กิโลกรัม)									
	0 %	10% NR	20% NR	30% NR	10% SBR	20% SBR	30% SBR	10% BR	20% BR	30% BR
20:80	64.56	61.07	57.58	54.09	62.67	61.36	60.01	62.28	61.12	59.34
30:70	60.92	57.42	53.94	50.44	59.03	55.13	54.75	59.16	56.34	54.05
40:60	57.27	53.78	50.28	46.78	55.38	55.44	54.50	55.46	54.61	50.85

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.33 เปรียบเทียบสมบัติและราคาของพอลิเมอร์ผสมของพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางชนิดต่างๆ กับผ่านมาตรฐานท่ออย่างสำหรับผลิตภัณฑ์
ปิโตรเลียม

สมบัติ	มอก. 1086 - 2535	PVC ที่ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก				PVC ที่ 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำ หนัก	
		0%	10% NR	10% SBR	20% SBR	0%	10% SBR
ความต้านทานต่อ แรงดึง (MPa)	ไม่น้อยกว่า 7	8.8	11.2	8.9	9.0	12.6	13.3
ความยืดเมื่อขาด (%)	ไม่น้อยกว่า 250	345.6	421.3	405.6	390.1	330.4	429.6
ความต้านทานต่อ แรงดึง (MPa) หลัง อบบ่มแรง	ลดลงไม่เกิน ร้อยละ 20	0.2	6.3	5.9	7.5	3.7	2.8
ความยืดเมื่อขาด (%) หลังอบบ่มแรง	ลดลงไม่เกิน ร้อยละ 20	1.4	11.7	15.2	19.4	4.4	20.1
ความทนทานต่อน้ำ มันปิโตรเลียม	ไม่เกินร้อยละ 100	66.7	99.7	80.0	85.4	66.1	80.4
ราคาต่อน้ำหนัก (บาท / กิโลกรัม)		60.92	57.42	59.03	55.13	57.27	55.38
เปรียบเทียบราคาของพอลิเมอร์ผสม โดยเทียบกับ(PVC:NBR) 30:70 (%)		0	-5.8	-3.1	-9.5	-6.0	-9.1

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

การศึกษาพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรด์ และพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรด์ โดยใช้ยางธรรมชาติ , ยางสไตรีนบิวทาไดอีน และยางพอลิบิวทาไดอีน ทดแทนในยางไนไตรด์บางส่วน เพื่อหาค่าสมบัติของผลิตภัณฑ์ยางที่ดีที่สุด ทั้งสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ สมบัติยืดยาง , ความต้านทานต่อการสึกหรอ , การกระดอน , การคืนตัว , ความแข็ง และการบ่มเร่งด้วยความร้อน และสมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ ผลการทดลองทั้งหมดสามารถสรุปได้ดังนี้

1. สมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์ผสมของพีวีซีและยางไนไตรด์ จากการทดลองพบว่า เมื่อปริมาณพีวีซีเพิ่มขึ้น มีผลต่อสมบัติของยางก่อนการคงรูป ได้แก่ ความหนืดมูนนี่ และเวลาวัลคาไนซ์เพิ่มขึ้น ส่วนเวลาเริ่มวัลคาไนซ์มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

2. สมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์ผสมของพีวีซีและยางไนไตรด์ โดยเติมยางธรรมชาติ , ยางสไตรีนบิวทาไดอีน และยางพอลิบิวทาไดอีน ทดแทนในยางไนไตรด์บางส่วน จากการทดลองพบว่า เมื่อเติมยางทั้ง 3 ชนิด มีผลต่อสมบัติของยางก่อนการคงรูป ได้แก่ ความหนืดมูนนี่ และเวลาเริ่มวัลคาไนซ์เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย และเวลาวัลคาไนซ์ลดลง

3. สมบัติของพอลิเมอร์ผสมของพีวีซีและยางไนไตรด์หลังการคงรูป เมื่อปริมาณพีวีซีเพิ่มขึ้น พบว่าความทนแรงดึง โมดูลัสที่ระยะยืด ความทนการฉีกขาด ความต้านทานต่อน้ำมัน ความแข็ง ทั้งก่อนอบบ่มเร่งและหลังอบบ่มเร่ง มีค่าเพิ่มขึ้น ความต้านทานต่อการสึกหรอดีขึ้น แต่สมบัติด้านระยะยืดเมื่อขาด เปอร์เซ็นต์การยุบตัว การกระดอนมีค่าลดลง แต่อยู่ในช่วงที่ใช้งานได้

4. สมบัติของพอลิเมอร์ผสมของพีวีซีและยางไนไตรด์ โดยเติมยางธรรมชาติ , ยางสไตรีนบิวทาไดอีน และยางพอลิบิวทาไดอีน ทดแทนในยางไนไตรด์บางส่วน หลังการคงรูป เมื่อเติมยางธรรมชาติที่ 10-20 เปอร์เซ็นต์ และยางสไตรีนบิวทาไดอีน และยางพอลิบิวทาไดอีนที่ 10 - 30 เปอร์เซ็นต์ สำหรับทุกอัตราส่วนของพีวีซี พบว่า ค่าความทนแรงดึง ระยะยืดเมื่อขาด โมดูลัส ความทนการฉีกขาด ความแข็ง ทั้งก่อนอบบ่มเร่งและหลังอบบ่มเร่ง มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย โดยเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรด์ แต่เปอร์เซ็นต์การยุบตัว การกระดอนมีค่าลดลง และได้ต้นทุนในการผลิตที่ลดลง แต่เมื่อเติมยางธรรมชาติที่ 30 เปอร์เซ็นต์ ที่พีวีซี 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่าทำให้ค่าความทนแรงดึง ระยะยืดเมื่อขาด โมดูลัส และความทนการฉีกขาด ลดลงอย่างมากซึ่งไม่เหมาะสมที่ทดแทนลงในยางไนไตรด์ และพบว่าเมื่อเติมยางธรรมชาติ , ยางสไตรีนบิวทาไดอีน และยางพอลิบิวทาไดอีนในช่วง 20 -30 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ความต้านทานต่อการสึกหรอ ความต้านทานของเหลวลดลงมาก

5. เปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 1086 – 2535 กับ ASTM 2000 – 98 พบว่าเมื่อเติมยางธรรมชาติ , ยางสไตรีนบิวทาไดอีน และยางพอลิบิวทาไดอีน ทดแทนในยางไนไตรล์บางส่วน ที่พีวีซี 30 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักพอลิเมอร์ผสมทั้งหมด สมบัติความต้านทานแรงดึง ระยะยืดเมื่อขาดทั้งก่อนและหลังอบบ่มแรง ผ่านมาตรฐาน ยกเว้นความต้านทานต่อน้ำมันปิโตรเลียมซึ่งในงานวิจัยทดสอบมาตรฐานไม่ตรงกับ มอก. จึงให้ค่าจากการทดสอบไม่สามารถเปรียบเทียบกันมาตรฐานได้

6. พอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ มีสมบัติเด่นทางด้านความต้านทานต่อน้ำมัน โดยงานส่วนใหญ่ใช้เป็นอุปกรณ์ในเครื่องยนต์ เครื่องจักร เครื่องพิมพ์ และอุตสาหกรรมอาหาร ซึ่งอยู่ในรูปของซีล ปะเก็น ยางท่อน้ำมัน และลูกกลิ้ง ที่สัมผัสกับน้ำมันโดยตรง การเติมยางธรรมชาติ ยางสไตรีน-บิวทาไดอีน และยางพอลิบิวทาไดอีน ทดแทนในยางไนไตรล์บางส่วน จำเป็นต้องพิจารณาลักษณะการใช้งานเป็นสำคัญ เนื่องจากยางทั้ง 3 ชนิด ไม่สามารถทนทานต่อน้ำมันได้ อาจทำให้เกิดความเสียหายต่อกระบวนการผลิตได้ ดังนั้นการเติมยางทั้ง 3 ชนิด ทดแทนยางไนไตรล์ ให้สมบัติทางกายภาพที่ดีขึ้น และให้ต้นทุนการผลิตลดลง แต่สมบัติทางด้านความต้านทานต่อน้ำมัน และความต้านทานต่อการสึกหรอลดลง

ข้อเสนอแนะ

1. งานวิจัยนี้ศึกษาพอลิเมอร์ผสมโดยไม่เติมสารตัวเติม ในการศึกษาต่อไปควรมีการใส่สารตัวเติมชนิดต่างๆ เช่น ซิลิกา , แคลเซียมคาร์บอเนต
2. งานวิจัยนี้ได้ใช้ยางไนไตรล์ผสมกับเทอร์โมพลาสติก คือ พีวีซี ในการศึกษาต่อไปควรเปลี่ยนชนิดของเทอร์โมพลาสติกชนิดอื่นมาทดแทน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

1. Kajornchaiyakul, V. Processing and Technology of Rubber Blends Polymer Blends Toward 2000 (August 1997): 75.
2. พรพรรณ นิธิอุทัย. ยาง เทคนิคการออกสูตรยาง. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี, 2540.
3. Noboru Watanabe. Blends of poly(vinyl chloride) and nitrile rubber. Thermoplastic Elastomer From Rubber-Plastic Blends.
4. Sommai Sililertsombat. Blends in Rubber-Plastic Industries. Polymer Blends Toward 2000 (August 1997): 25-39.
5. วราภรณ์ ขจรไชยกูล. เทคโนโลยียางสังเคราะห์. เอกสารประกอบการฝึกอบรม หลักสูตรเทคโนโลยียางธรรมชาติ. สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร 2542. (เอกสารไม่ตีพิมพ์)
6. วราภรณ์ ขจรไชยกูล. เทคโนโลยียาง (ยางสังเคราะห์) เรื่องการออกสูตรยางและกระบวนการผลิต. เอกสารประกอบการฝึกอบรม หลักสูตรเทคโนโลยียางธรรมชาติ สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร 2541. (เอกสารไม่ตีพิมพ์)
7. เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร. เทคโนโลยียาง. ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2537.
8. พรพรรณ นิธิอุทัย. สารเคมีสำหรับยาง. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี, 2528.
9. กาญจนา กาญจนสุนทร. ส่วนผสมที่เหมาะสมของวัตถุดิบเพื่อลดต้นทุนการผลิตพีวีซีชนิดยืดหยุ่น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.
10. นุชนาฏ ณะระนอง. การทดสอบสมบัติทางกายภาพของยาง. เอกสารประกอบการฝึกอบรม หลักสูตรเทคโนโลยียางธรรมชาติ สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร, 2542.
11. ปรีชา ป้องภัย. การทดสอบยางและผลิตภัณฑ์. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี, 2534.
12. C. S. L. Baker, W. G. Hallam, I. F. Smith, Natural and Synthetic Rubber Blends, Part 1 Natural Rubber and Neoprene GRT Blend. NR Technology 5. Part 2. (1974): BST Elastomer Co., LTD. Quality Report BR 01. Cert. NO. QA/99-00302. 1999.
13. A. Y. Coran, O. Chung, and P. Laokijcharoen. The Phase Morphology of Rubber/Plastic Blend, Polymer Blends Toward 2000 (August 1997): 91.

14. Sachio Hayashi. Structure and Mechanical Properties of HNBR/Zinc Di-Methacrylate, Polymer Blends Toward 2000 (August 1997): 89.
15. D. S. Campbell, D. F. Elliott and M. A. Wheelans, Thermoplastic Natural Rubber Blends, NR Technology 9 Part 2. (1978): 21-31.
16. Chetanachan W., Sutthitavil W., and Chantasatrasamy N., The Effect of Composition and Mixing Type on Mechanical and Rheological Properties and Morphology of PVC/NBR Blend. Polymer Blends Toward 2000 (August 1997): 58-70.
17. K. E. George, Rani Joseph, and D. Joseph Francis. Studies on NBR/PVC Blends. Journal of Applied Polymer Science 32 (1986): 2867-2873.
18. K. E. George, Rani Joseph, and D. Joseph Francis. Modification of Butadiene-Acrylonitrile Rubber/poly(Vinyl Chloride) Blend Using Natural Rubber, Styrene-Butadiene Rubber, and Polybutadiene Rubber. Polymer Engineering and Science. 27. No. 15. (1987): 1137-1140.
19. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 1086-2535. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. 2535.
20. Standard Classification System for Rubber Products in Automotive Application. ASTM 2000 – 98. (1998).
21. วราภรณ์ ขจรไชยกูล. กระบวนการผลิตภัณฑ์ยาง. เอกสารวิชาการฉบับที่ 135. กลุ่มอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์จากยาง ศูนย์วิจัยยางสงขลา กรมวิชาการเกษตร 2530.
22. Nipol RUBBER Co., LTD. Nipol NBR (Medium High Nitrile Rubber).
23. สถาบันวิจัยยาง. การทดสอบมาตรฐานยางแท่ง เอส ที อาร์ กรุงเทพมหานคร. สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร.
24. BST Elastomer Co., LTD. Quality Report BR 01. Cert. NO. QA/99-00302. 1999.
25. BST Elastomer Co., LTD. Quality Report SBR1502. Cert. NO. QA/99-00577. 1999.
26. Thai Plastic and Chemical CO., Ltd. Technical Data TPC SG 640.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก
สมบัติของยางและวิธีที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ ก.1 สมบัติของยางไนไตรล์ (DN 207) ตาม Nipol NBR (Medium High Nitrile Rubber) [22]

สมบัติ	ผลการทดสอบ
ปริมาณอะคริโลไนไตรล์	33.5
ความถ่วงจำเพาะ	0.98
ความเหน็ด (Mooney unit)	42

ตารางที่ ก.2 สมบัติของยางธรรมชาติ (ตามวิธีทดสอบยางแห่งชาติ เอเอส ที อาร์) [23]

สมบัติ	ผลการทดสอบ
ปริมาณผง (%)	0.014
ปริมาณเถ้า (%)	0.250
ปริมาณสิ่งระเหย (%)	0.620
ปริมาณไนโตรเจน (%)	0.400
ค่าดัชนีความอ่อนตัวของยาง	83.2
ค่าความอ่อนตัวเริ่มแรก (Po)	42.0
สียางเทียบโดยไลวบอนด์	7.00
ความเหน็ด (Mooney unit)	90.64

ตารางที่ ก.3 สมบัติของยางพอลิบิวทาไดอีน (ตาม Quality Report BR 01) [24]

สมบัติ	ผลการทดสอบ
ปริมาณ cis (%)	96.6
ปริมาณเถ้า (%)	0.02
ปริมาณสิ่งระเหย (%)	0.32
ความเหน็ด (Mooney unit)	41.8

ตารางที่ ก.4 สมบัติของยางสไตรีนบิวทาไดอีน (ตาม Quality Report SBR1502) [25]

สมบัติ	ผลการทดสอบ
ปริมาณสิ่งระเหย (%)	0.11
ปริมาณเถ้า (%)	0.33
ปริมาณกรดอินทรีย์ (%)	5.85
ปริมาณสบู่ (%)	0.01
ปริมาณสไตรีน (%)	23.55
ความเหนียว (Mooney unit)	51.50

ตารางที่ ก.5 สมบัติของพีวีซี TPC SG 640 [26]

สมบัติ	ผลการทดสอบ
ค่า K	64
ระดับการเกิดพอลิเมอร์	950
ความหนาแน่นรวม g/ml	0.54
สารที่ระเหยได้ (%)	< 0.3
การวิเคราะห์ขนาดอนุภาค	
- อนุภาคที่ค้างอยู่บนตะแกรงขนาด 250 ไมครอน (%)	0
- อนุภาคที่ค้างอยู่บนตะแกรงขนาด 53 ไมครอน (%)	> 99
สิ่งเจือปนและสารแปลกปลอม (point)	< 5

ภาคผนวก ข

การทดสอบสมบัติทางกายภาพของยางคงรูป

1. การทดสอบสมบัติทางกายภาพของยางคงรูป [10,11]

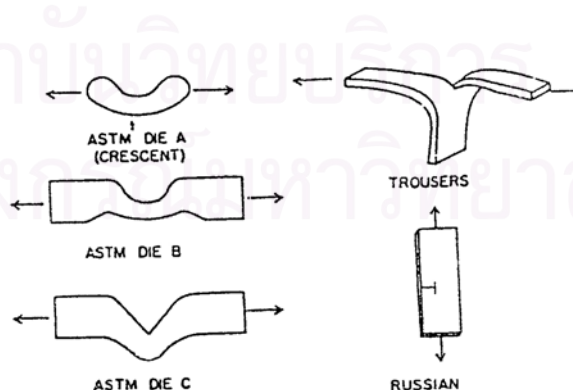
1.1 ความทนแรงดึง

ชิ้นงานที่จะนำมาหาค่าความทนแรงดึงเป็นชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นรูปให้เป็นแผ่น (sheet curve) มีความหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร จากนั้นนำแผ่นยางที่ได้มาตัดด้วยเครื่องตัดตัวอย่างยางแบบใช้กำลังลม (compress air sample cutter) ให้เป็นรูปดัมเบลล์ (dumbbell) โดยจะตัดชิ้นงานทางด้านแนวเครื่อง คือ ตัดชิ้นงานให้ดึงตามแนวที่ยางบดออกมา

จากนั้นนำมาทดสอบหาสมบัติความทนแรงดึง โดยใช้ load cell ขนาด 1000 นิวตัน โดยมีเลเซอร์เป็นอุปกรณ์วัดความยืดของยาง ชุดเครื่องดึงต่อเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อบันทึกผลการทดสอบ และสามารถพิมพ์ผลการทดสอบลงบนเครื่องพิมพ์ได้

ก่อนทำการทดสอบชิ้นงานจะวัดความหนา โดยใช้ไมโครมิเตอร์ที่สามารถวัดได้ละเอียด ± 0.005 มิลลิเมตร จากนั้นนำชิ้นงานมายึดจับด้วยหัวจับ (grip) ซึ่งเป็นระบบสปริงยึดแน่นโดยอัตโนมัติ ทำให้เกิดแรงกดที่สม่ำเสมอตลอดชิ้นงานทั้งหัวและท้าย เมื่อเริ่มทดสอบหัวจับด้านบนจะเลื่อนขึ้น ขณะที่หัวจับด้านล่างอยู่กับที่ แรงที่ใช้ดึงชิ้นงานตลอดระยะยืดออกจะถูกบันทึกไว้จนยางถูกยืดจนขาด

1.2 ความทนการฉีกขาด



รูปที่ ข.1 ชิ้นทดสอบหาความทนการฉีกขาดแบบต่าง ๆ [7]

ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบมีหลายรูปแบบ ดังรูปที่ ข.1 ส่วนแบบที่ใช้ในการทดลองนี้ คือ แบบ ASTM die c เรียกว่า แบบ “angle”

ผลของการทดสอบจะขึ้นกับแบบของชิ้นทดสอบที่ใช้ อัตราเร็วของการดึงให้ฉีกขาด และ อุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบ

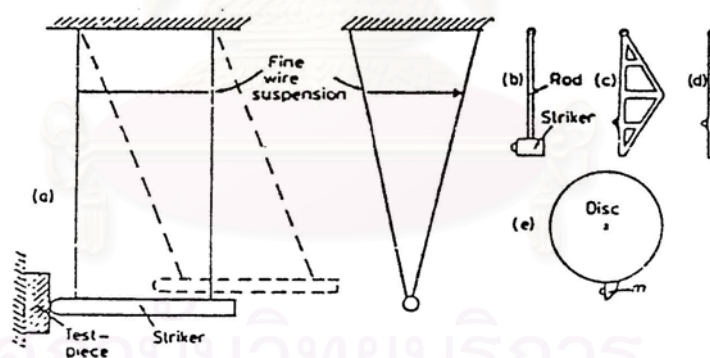
ยางที่มีค่าความทนแรงดึงสูง โมดูลัสต่ำและมีความยาวที่ยืดออกสูง มักมีความทนการฉีกขาดสูงด้วย

1.3 ความแข็ง (Hardness)

การทดสอบความแข็งโดยใช้ Shore durometer มีหลายชนิดให้เลือกใช้ตามประเภทของวัสดุ เช่น shore A ใช้กับยางนิ่ม shore B ใช้กับยางที่แข็งและพลาสติก

ข้อควรระวังสำหรับการทดสอบความแข็ง คือ ความหนาของชิ้นงานต้องหนามากกว่า 6 มิลลิเมตร แต่ถ้าความหนาของชิ้นงานไม่ถึง 6 มิลลิเมตร ต้องนำชิ้นงานมาซ้อนกันให้ได้ความหนาตามที่ต้องการ ซึ่งอาจให้ผลที่คลาดเคลื่อนเนื่องจากผิวสัมผัสระหว่างชิ้นงานซ้อนกัน

1.4 การกระดอน (Resilience)



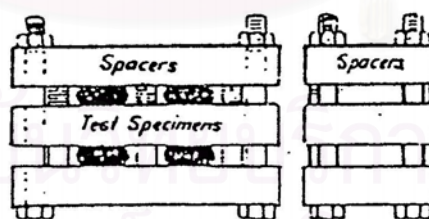
รูปที่ ข.2 เครื่องทดสอบการกระดอน [7]

- (a) Lupke pendulum
- (b) Schob pendulum
- (c) Dunlop pendulum
- (d) Goodyear – Healey pendulum
- (e) Tripsometer

การทดสอบการกระดอนของยางนั้น ยางจะได้รับพลังงานจากการชนหรือกระแทกของวัตถุที่แกว่งเข้ามาชนในแนวโค้ง และขึ้นทดสอบจะปล่อยพลังงานที่ได้รับ เพื่อคืนกลับรูปเดิมหลังจากที่เสียรูปไปเนื่องจากถูกชน ดังนั้นการกระดอน คือ อัตราส่วนระหว่างพลังงานที่ใช้คืนรูปต่อพลังงานที่ใช้ทำให้เสียรูป นิยมบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ สำหรับเครื่องมือที่ใช้วัดการกระดอนมีหลายแบบ ดังแสดงในรูปที่ ข.2 ส่วนแบบที่ใช้ในการทดลองคือ แบบ (e) ตาม ISO 4662 โดยใช้เครื่อง Wallace Dunlop Tripsometer

1.5 การยุบตัว (Compression set)

เป็นการวัดความสามารถของสารประกอบยางที่จะคงสมบัติความเป็นอีลาสติกภายใต้ความเค้นกด (compression stress) เป็นเวลานาน ๆ ภายใต้ความหนาที่ถูกกดไว้คงที่ ซึ่งจะกดขึ้นทดสอบลง 25 % ของความหนาเดิม เครื่องทดสอบประกอบด้วยแผ่นเหล็ก 2 แผ่นหรือมากกว่า (รูปที่ ข.3) โดยขึ้นทดสอบที่วัดความหนาเรียบร้อยแล้วจะถูกกดอยู่ระหว่างแผ่นเหล็ก 2 แผ่น จนได้ความหนาตามต้องการซึ่งจะมีท่อนเหล็กที่มีความหนาประมาณ 25 % ของความหนาเดิมเป็นตัวกำหนดความหนาของการกด ภายใต้อุณหภูมิที่กำหนด เมื่อการทดสอบสิ้นสุดลงให้นำขึ้นทดสอบมาตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 30 นาที หลังจากนั้นวัดความหนาของขึ้นทดสอบอีกครั้งหนึ่ง แล้วนำไปคำนวณหาค่ายุบตัวต่อไป



รูปที่ ข.3 เครื่องทดสอบการยุบตัวโดย method B [7]

1.6 การบ่มเร่งด้วยความร้อน (Heat aging)

ยางส่วนใหญ่จะเสื่อมคุณภาพระหว่างการเก็บ หรือระหว่างการใช้งาน สาเหตุของการเสื่อมสภาพมีหลายแบบ ซึ่งการทดสอบโดยการบ่มเร่งสามารถทำนายอายุของการใช้งานของยางได้ สิ่งที่ทำให้ยางเสื่อมสภาพ ได้แก่ ออกซิเจน โอโซน แสงแดด และของไหลต่าง ๆ เช่น น้ำมัน ตัวทำละลาย และน้ำ

การบ่มเร่งโดยใช้ความร้อนเป็นวิธีที่ง่ายที่สุด คือ การเปรียบเทียบสมบัติค่าความทนแรงดึง ความทนการฉีกขาด ความแข็ง การกระดอน และการคืนตัว ก่อนและหลังได้รับความร้อนจากอากาศภายในตู้อบ ที่อุณหภูมิ 100 ± 1 °C เป็นเวลา 22 ± 2 ชั่วโมง ตัวกลางที่ให้ความร้อนภายในตู้อบจะเป็นอากาศร้อนซึ่งหมุนเวียนอยู่ภายใน ที่ความดันบรรยากาศ การให้ความร้อนต้องสม่ำเสมอทั้งถึง โดยขึ้นทดสอบจะถูกแขวนในแนวดิ่ง โดยไม่สัมผัสกับตู้อบหรือสัมผัสกันเองเลย ซึ่งการทดสอบนี้จะทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D573

1.7 ความต้านทานต่อการสึกหรอ (Abrasion resistance)

เป็นกระบวนการทางพลศาสตร์ (dynamics) เพื่อหาความต้านทานการขัดถูที่ผิววัสดุ เครื่องมือที่ใช้เรียกว่า “abrasion tester” หรือ “abrader” ซึ่งมีหลายชนิด ได้แก่ Du Pont abrader , DIN abrader , Akron abrader และ Pico abrader เป็นต้น เครื่องทดสอบเหล่านี้ต่างกันในความสัมพันธ์ของการเคลื่อนไหวยาวและตัวขัดถู (abradant)

ค่าความต้านทานต่อการสึกหรอ จะเพิ่มขึ้นเมื่อมีความต้านทานต่อแรงดึง , ความทนการฉีกขาด และความแข็งเพิ่มขึ้น การหาความต้านทานต่อการสึกหรอ จะเป็นการหาปริมาตรหรือน้ำหนักที่สูญหายไป เนื่องจากการขัดถูระหว่างผิวยางกับตัวขัดถู

1.8 ความต้านทานต่อของเหลว [Resistance to liquids (swelling)]

วิธีการทดสอบมาตรฐานในการตรวจหาผลของการจุ่มขึ้นทดสอบลงในของเหลว (เช่น ตาม ISO 1817 ; BS 903 , Part A16 ; ASTM D 471) จะพิจารณาจาก

1.8.1 การเปลี่ยนแปลงขนาดและรูปร่าง

การบวมตัว (swelling) , การหดตัว (shrinkage) และการบิดเบี้ยว (distortion)

1.8.2 การเปลี่ยนแปลงสี

การดูดกลืน (absorption) , การสกัด (extraction) และการเกิดปฏิกิริยาเคมี

(chemical reaction)

1.8.3 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก

การดูดกลืน และการสกัด

1.8.4 การเปลี่ยนแปลงลักษณะของพื้นผิว

การราน (crazing) , การมีรอยแตก (cracking) , การสูญเสียความเงามัน (loss of gloss) และการอ่อนนุ่ม (softening)

1.8.5 การเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกล

ความแข็งแรง , ความแข็ง และความแข็งตึง เป็นต้น



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค
ความถ่วงจำเพาะของพอลิเมอร์ผสม

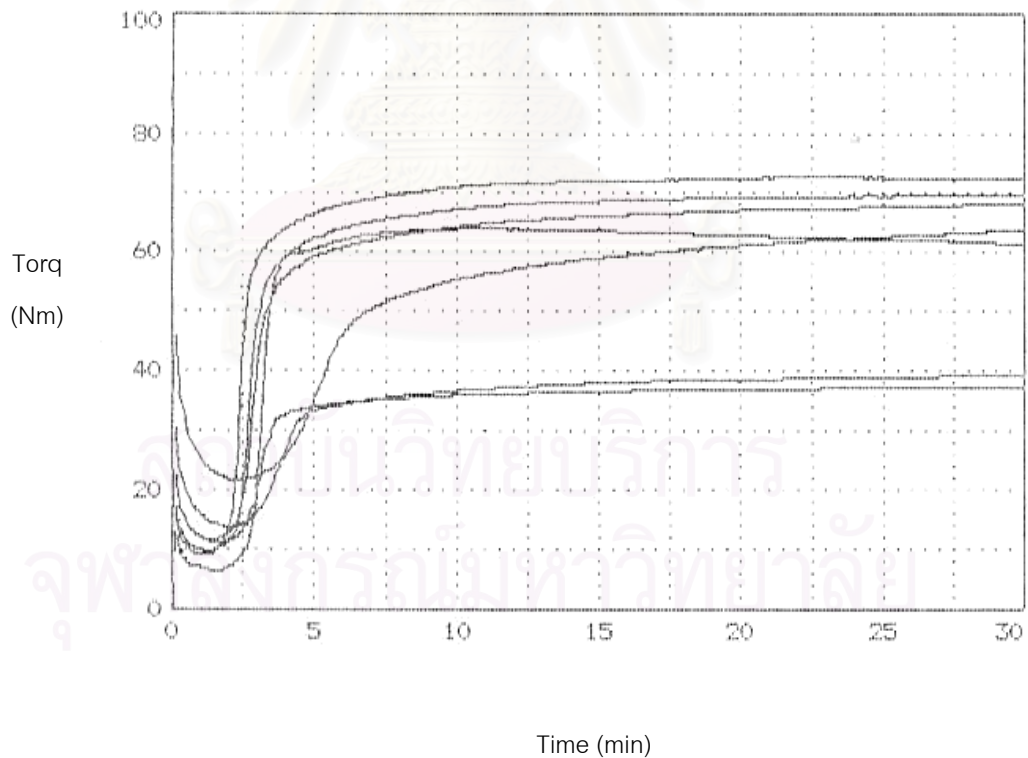
ตารางที่ ค.1 ความถ่วงจำเพาะของพอลิเมอร์ผสม

สูตร	ความถ่วง จำเพาะ	สูตร	ความถ่วง จำเพาะ
สูตร 1	1.01	สูตร 18	1.11
สูตร 2	1.04	สูตร 19	1.15
สูตร 3	1.08	สูตร 20	1.07
สูตร 4	1.12	สูตร 21	1.14
สูตร 5	1.15	สูตร 22	1.10
สูตร 6	1.20	สูตร 23	1.06
สูตร 7	1.24	สูตร 24	1.10
สูตร 8	1.07	สูตร 25	1.14
สูตร 9	1.11	สูตร 26	1.07
สูตร 10	1.15	สูตร 27	1.10
สูตร 11	1.08	สูตร 28	1.14
สูตร 12	1.10	สูตร 29	1.06
สูตร 13	1.14	สูตร 30	1.10
สูตร 14	1.08	สูตร 31	1.14
สูตร 15	1.09	สูตร 32	1.05
สูตร 16	1.13	สูตร 33	1.09
สูตร 17	1.07	สูตร 34	1.12

ภาคผนวก ง
กราฟการคงรูปของพอลิเมอร์ผสม

ตารางที่ ง.1 ข้อมูลของกราฟการคงรูปของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์

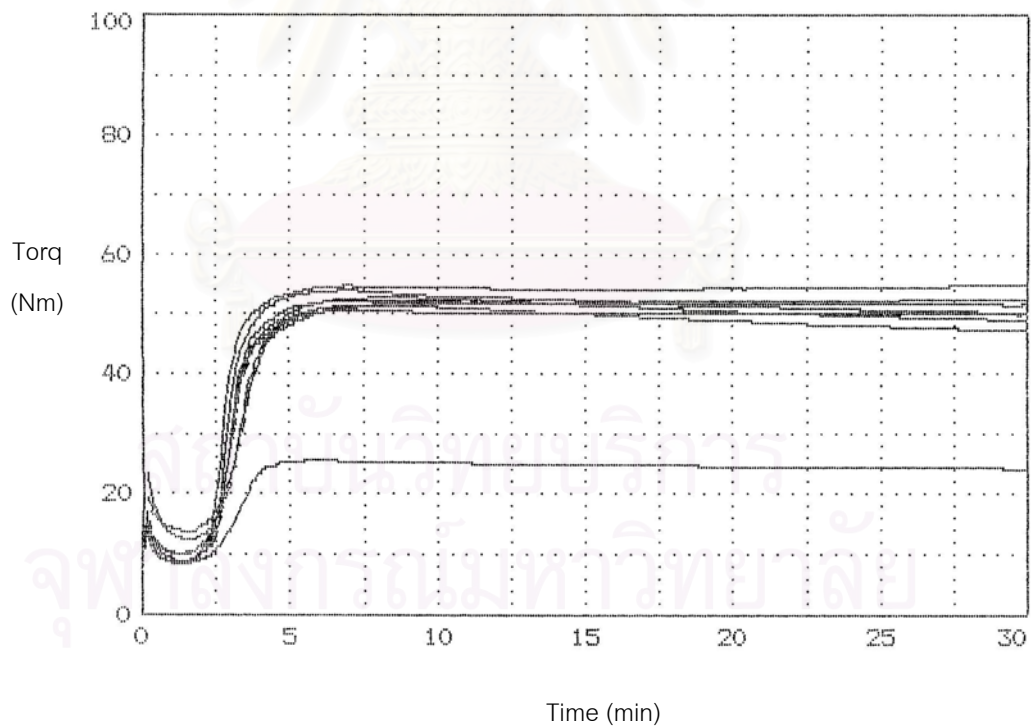
สูตร	Max Torq (Nm)	Min Torq (Nm)	t_{s1}	t_{s2}	t_{c10}	t_{c50}	t_{c90}
1	63.89	6.48	2.33	2.54	2.83	3.25	4.00
2	72.60	9.08	1.79	1.96	2.17	2.50	5.08
3	69.47	9.68	2.00	2.21	2.46	2.88	5.88
4	67.91	11.47	2.13	2.29	2.54	3.04	7.58
5	37.15	11.02	2.42	2.63	2.67	3.25	6.13
6	39.09	13.77	2.88	3.08	3.13	4.04	10.17
7	63.66	21.59	3.38	3.71	4.08	5.67	16.21



รูปที่ ง.1 กราฟการคงรูปของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์

ตารางที่ ง.2 ข้อมูลของกราฟการคงรูปของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางธรรมชาติ

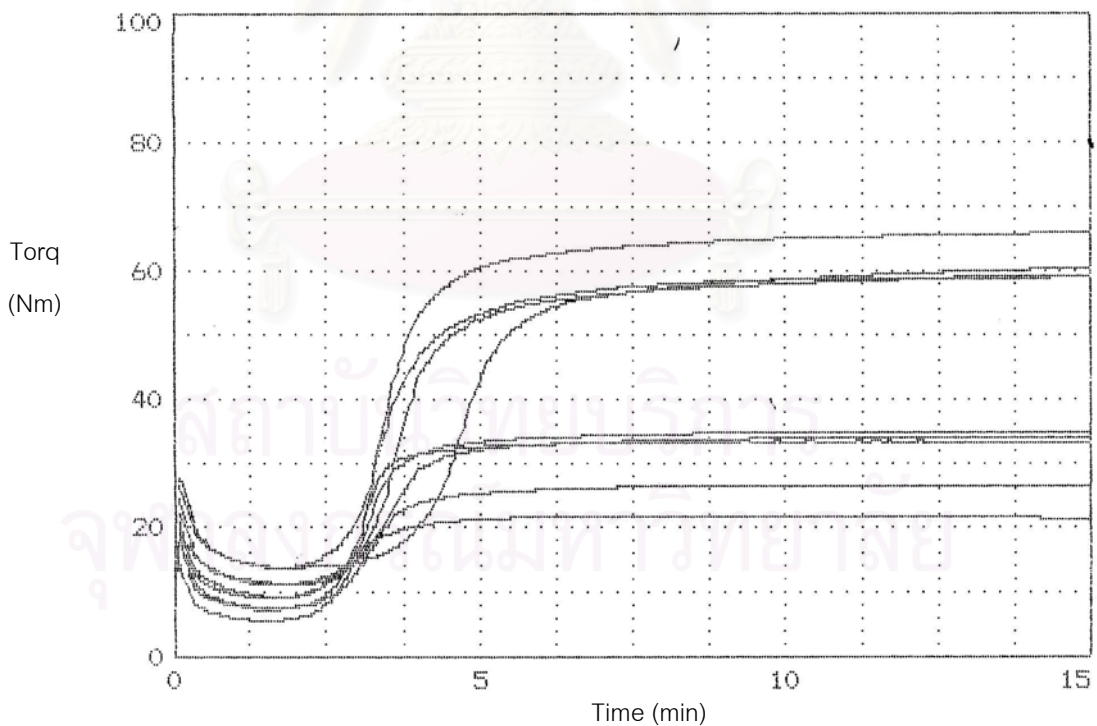
สูตร	Max Torq (Nm)	Min Torq (Nm)	t_{s1}	t_{s2}	t_{c10}	t_{c50}	t_{c90}
8	54.80	8.41	1.96	2.17	2.33	2.83	3.96
9	50.19	9.53	1.81	1.98	2.17	2.79	4.35
10	52.27	12.29	2.29	2.46	2.67	3.46	4.96
11	51.97	8.41	2.08	2.29	2.50	3.08	4.17
12	50.48	9.75	2.04	2.25	2.46	3.17	4.33
13	25.46	8.64	2.38	2.63	2.50	3.38	4.17
14	53.83	8.41	2.04	2.21	2.46	2.96	4.08
15	52.72	10.05	2.08	2.29	2.50	3.17	4.71
16	51.15	13.63	2.21	2.42	2.63	3.54	4.92



รูปที่ ง.2 กราฟการคงรูปของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางธรรมชาติ

ตารางที่ ง.3 ข้อมูลของกราฟการคงรูปของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางสไตรีนบิวทาไดอิน

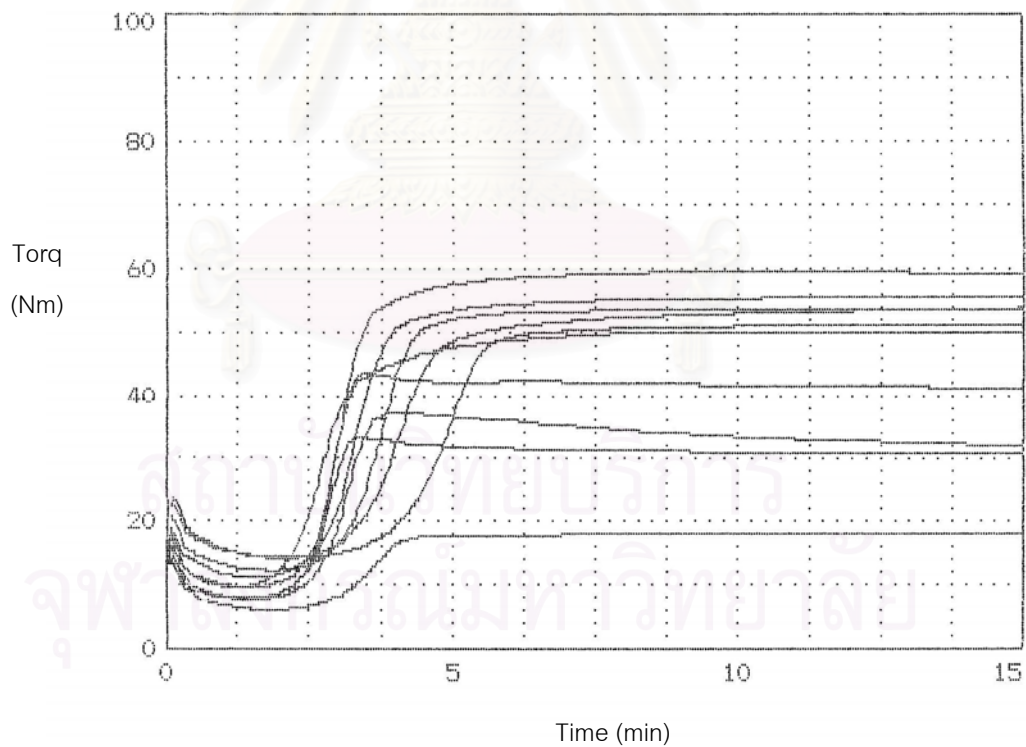
สูตร	Max Torq (Nm)	Min Torq (Nm)	t_{s1}	t_{s2}	t_{c10}	t_{c50}	t_{c90}
17	33.43	7.30	2.31	2.52	2.58	3.10	3.79
18	26.58	7.52	2.46	2.69	2.65	3.29	4.48
19	34.10	11.02	2.60	2.83	2.88	3.60	4.88
20	21.74	5.66	2.31	2.48	2.40	2.94	4.04
21	65.90	13.63	2.38	2.56	2.90	3.54	5.13
22	34.92	9.01	2.33	2.54	2.60	3.25	4.38
23	59.12	9.31	2.40	2.56	2.85	3.44	5.38
24	59.05	11.32	2.56	2.75	3.06	3.75	5.69
25	60.39	13.77	3.19	3.48	3.88	4.79	6.83



รูปที่ ง.3 กราฟการคงรูปของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางสไตรีนบิวทาไดอิน

ตารางที่ ง.4 ข้อมูลของกราฟการคงรูปของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางพอลิ
บิวทาไดอีน

สูตร	Max Torq (Nm)	Min Torq (Nm)	t_{s1}	t_{s2}	t_{c10}	t_{c50}	t_{c90}
26	43.56	7.82	2.13	2.31	2.46	2.90	3.21
27	33.13	7.59	2.08	2.25	2.31	2.79	3.13
28	18.09	6.11	2.83	3.08	2.88	3.60	4.21
29	59.49	9.61	2.15	2.31	2.54	3.06	3.94
30	55.70	11.02	2.21	2.42	2.69	3.33	4.19
31	53.83	14.07	2.83	3.06	3.29	4.10	5.46
32	37.23	7.67	2.27	2.48	2.56	3.13	3.54
33	53.68	12.14	2.58	2.81	3.04	3.73	4.42
34	51.23	14.30	3.29	3.60	3.90	4.88	5.63



รูปที่ ง.4 กราฟการคงรูปของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีและยางไนไตรล์ โดยเติมยางพอลิบิวทาไดอีน

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายเอกรัช พุฒิติวงศ์ เกิดวันที่ 21 มีนาคม พ.ศ. 2518 ที่จังหวัดสมุทรปราการ สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต ในปีการศึกษา 2539 และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิตที่ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2541



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย