สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

กราฟท์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับอะคริโลไนไทรยล์

นายเทวัญ ผาณิตรัตน์
นางสาวบุศรินทร์ เฉลียวศิลป์

จ/พ.
ท๒๐๕ก
2536

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....
วัน.เดือน.ปี.....

b12527486

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2536

Grafted Natural Rubber and Acrylonitrile

Mr.Deawan Phanittarattana

Miss Butsarin Chaleawsilp

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the

Requirement for the Degree of Bachelor Of Science

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

1993

หัวข้อโครงงานพิเศษ กราฟท์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติและอะคริโลไนไทรยล์

โดย นายเทวัญ ผาณิตรัตน์

นางสาวบุศรินทร์ เฉลียวศิลป์

ภาควิชา เคมี

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.นิพนธ์ วงศ์วิเศษสิริกุล

อาจารย์สุจินต์ ตันติพิสิฐกุล

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต

..... รักษาการหัวหน้าภาควิชาเคมี

(ผศ.นงนุช เภตรานุวัฒน์)

คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ

..... ประธานกรรมการ

(ผศ.ดร.เผชิญชัย ไชยสิทธิ์)

..... กรรมการ

(อาจารย์พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย)

..... กรรมการ

(ผศ.ดร.นิพนธ์ วงศ์วิเศษสิริกุล)

..... กรรมการ

(อาจารย์สุจินต์ ตันติพิสิฐกุล)

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อสำหรับโครงงานพิเศษ	กราฟท์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติและอะคริโลไนไทรยล์	
นักศึกษา	นายเทวัญ	ผาณิตรัตน์
	นางสาวบุศรินทร์	เฉลียวศิลป์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.นิพนธ์	วงศ์วิเศษสิริกุล
	อาจารย์สุจินต์	ตันติพิสิฐกุล
ภาควิชา	เคมี	
ปีการศึกษา	2536	

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้เป็นการสังเคราะห์ ทดสอบสมบัติและผสมสูตรของยางธรรมชาติกราฟท์โคพอลิเมอร์กับอะคริโลไนไทรยล์ ซึ่งเป็นเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ชนิดหนึ่งในรูปอิมัลชันโดยการปั่นกวนน้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียต่ำกับมอนอเมอร์อะคริโลไนไทรยล์ ในบรรยากาศไนโตรเจนที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 60 นาที แล้วจึงเติมตัวริเริ่มปฏิกิริยา เทอร์เทียรีบิวทิล-ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ 0.2 ส่วนต่อน้ำยางข้น 100 ส่วน สารเสริมเสถียรภาพ โมดิคอล เอส 3 ส่วนต่อน้ำยางข้น 100 ส่วน และตัวเร่งตัวริเริ่ม เตตราเอทิลีนเพนตามีน 0.88 ส่วนต่อน้ำยางข้น 100 ส่วน ปั่นกวนต่อไปอีก 10 นาที จากนั้นตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดอย่างสมบูรณ์ ท้ายสุดจะได้ยางธรรมชาติกราฟท์โคพอลิเมอร์กับอะคริโลไนไทรยล์ในรูปลาเท็กซ์

จากการศึกษาการใช้ยางธรรมชาติกราฟท์โคพอลิเมอร์กับอะคริโลไนไทรยล์ เพื่อผลิตยางผสมสูตรหรือยางแข็งพบว่า มีผลต่อสมบัติของยางผสมสูตรคงรูป โดยความแข็ง มอดูลัส 300 และความทนทานต่อน้ำมันจะมีค่าเพิ่มขึ้น ตามปริมาณของมอนอเมอร์อะคริโลไนไทรยล์ในยางธรรมชาติกราฟท์โคพอลิเมอร์กับอะคริโลไรไทรยล์

Special Project Title	Grafted Natural Rubber and Acrylonitrile	
Name	Mr.Deawan	Phanittarattana
	Ms.Butsarin	Chaleawsilp
Special Project Adviser	Dr.Nipon	Wongvisetsirikul
	Ms.Sujin	Tuntipisitkul
Department	Chemistry	
Academic Year	1993	

Abstract

This spacial project was to synthesis the emulsion graft copolymerization of natural rubber with acrylonitrile monomer (NR-g-AN). (NR-g-AN) was prepared by the stirring of low ammonia natural rubber latex with acrylonitrile monomer in nitrogen blanket at 22-23 °C for 60 minutes. After that t-butylhydroperoxide 0.2 phr. modical S,and tetraethylenepeatamine 0.88 phr. was added and continue to stir for 10 minutes. The reaction was stand atleast 24 hours.

From the study of using NR-g-AN to produce compounding rubber found that when increases acrylonitrile content in NR-g-AN, hardness, modulus 300 and oil resistance was increased.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.นิพนธ์ วงศ์วิเศษสิริกุล ที่กรุณาให้คำปรึกษาและให้การช่วยเหลือในการดำเนินโครงงานพิเศษมาด้วยดีโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ สุจินต์ ตันตินิสิฐกุล ที่กรุณาให้คำปรึกษาและให้การช่วยเหลือในการดำเนินโครงงานพิเศษมาด้วยดีโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการตรวจสอบโครงงานพิเศษที่ช่วยตรวจสอบและแก้ไขโครงงานพิเศษฉบับนี้ให้ถูกต้อง

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมี สจล. ทุก ๆ ท่านที่ให้ความสะดวกในการดำเนินโครงงานมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ พ่อ แม่ พี่น้อง ที่ให้กำลังใจตลอดระยะการทำโครงงานพิเศษมาโดยตลอด

สุดท้ายขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือจนโครงงานพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงมาด้วยดี

นาย เทวัญ ผาณิตรัตน์

นส. บุศรินทร์ เฉลียวศิลป์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อโครงงานพิเศษภาษาไทย	ก
บทคัดย่อโครงงานพิเศษภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
คำย่อที่ใช้ในโครงงานพิเศษ	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ยางธรรมชาติ	5
2.2 ยางไนไทรยล์	7
2.3 การสังเคราะห์กราฟท์โคพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้	9
2.4 การแยกกราฟท์โคพอลิเมอร์	16
2.5 การผสมสูตร	18
บทที่ 3 ขั้นตอนวิจัยและดำเนินงาน	19
สารเคมีที่ใช้	19
เครื่องมือที่ใช้	20
การทดลอง	21
3.1 การทดสอบน้ำยางข้น	22
3.2 การสังเคราะห์ยางธรรมชาติกราฟท์โคพอลิเมอร์กับอะคริโลไนไทรยล์ในรูปลาเท็กซ์	23

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.3 การทดสอบสมบัติของยางกราฟท์โคพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้	24
3.4 การใช้ยางกราฟท์โคพอลิเมอร์ในการผสมสูตรเพื่อผลิตยางแข็งและการทำให้คงรูป	25
3.5 การทดสอบความสามารถในการแปรรูปและสมบัติในการคงรูป	27
3.6 การทดสอบสมบัติของยางผสมคงรูป	29
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	33
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	52
ภาคผนวก	57
ภาคผนวก ก	58
ภาคผนวก ข	59
บรรณานุกรม	67
ประวัติผู้เขียน	69

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าคงที่ของการย้ายที่ของกราฟท์โคพอลิเมอไรเซชัน 11

ตารางที่ 4.1 แสดงเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของอะคริโลไนไทรยล์ มอนอเมอร์เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตาร่วนของน้ำยางธรรมชาติ และอะคริโลไนไทรยล์มอนอเมอร์ 34

ตารางที่ 4.2 แสดงเปอร์เซ็นต์กราฟท์โคพอลิเมอร์ของน้ำยางธรรมชาติ กับอะคริโลไนไทรยล์มอนอเมอร์ 35

ตารางที่ 4.3 แสดงความหนืดแบบ Mooney ของยางธรรมชาติ ยางกราฟท์ และยางไนไทรยล์ หลังการผสมสูตร 37

ตารางที่ 4.4 แสดงระยะเวลาในการคงรูปของยางผสมสูตรยางธรรมชาติ ยางกราฟท์ และยางไนไทรยล์ 38

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าความแข็งของยางธรรมชาติ ยางกราฟท์ และยางไนไทรยล์ 40

ตารางที่ 4.6 แสดงสมบัติของยางธรรมชาติ ยางกราฟท์ และยางไนไทรยล์ เมื่อทดสอบความแข็งแรงดึง มอดูลัส 300 เปอร์เซ็นต์การยืด ณ.จุดขาด และความทนทานต่อการฉีกขาด 42

ตารางที่ 4.7 แสดงสมบัติการต้านทานต่อการขัดถู และความทนทานต่อน้ำมันของยางธรรมชาติ ยางกราฟท์ และยางไนไทรยล์ 48

ตารางที่ 5.1 แสดงสมบัติต่างๆของยางธรรมชาติ ยางกราฟท์ และยางไนไทรยล์ 55

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ที่เกี่ยวกับสมบัติของยางไนไทรยล์ที่มีปริมาณ มอนอเมอร์อะคริโลไนไทรยล์ในโมเลกุลที่ต่างกัน 8

รูปที่ 3.1 แสดงกราฟระหว่างแรงบิดกับเวลาที่ได้จากเครื่อง ODR (Curelastomer) 28

รูปที่ 4.1 แผนภูมิแท่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งของยางธรรมชาติ ยางกราฟท์ และยางไนไทรยล์ 40

รูปที่ 4.2 แผนภูมิแท่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงของยางธรรมชาติ ยางกราฟท์ และยางไนไทรยล์ 43

รูปที่ 4.3 แผนภูมิแท่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมอดูลัส 300 ของยางธรรมชาติ ยางกราฟท์ และยางไนไทรยล์ 44

รูปที่ 4.4 แผนภูมิแท่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยืดณ.จุดขาดของ ยางธรรมชาติ ยางกราฟท์ และยางไนไทรยล์ 45

รูปที่ 4.5 แผนภูมิแท่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความทนทานต่อการฉีกขาดของ ยางธรรมชาติ ยางกราฟท์ และยางไนไทรยล์ 46

รูปที่ 4.6 แผนภูมิแท่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ปริมาตรที่สูญหายของ ยางธรรมชาติ ยางกราฟท์ และยางไนไทรยล์ 49

รูปที่ 4.7 แผนภูมิแท่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงไปของ ยางธรรมชาติ ยางกราฟท์ และยางไนไทรยล์ 50

คำย่อที่ใช้ในโครงงานพิเศษ

NR	=	ยางธรรมชาติ
NBR	=	ยางไนไทรยล์
NR-PAN	=	ยางธรรมชาติกราฟท์โคพอลิเมอร์กับอะคริโลไนไทรยล์
AN	=	อะคริโลไนไทรยล์มอนอเมอร์
MEK	=	เมทิล เอทิล คีโทน
TSC	=	ปริมาณของแข็งทั้งหมด
DRC	=	ปริมานเนื้อยางแห้งทั้งหมด
phr.	=	ส่วนในร้อยส่วน
%	=	เปอร์เซ็นต์
°ซ.	=	องศาเซลเซียส
g.	=	กรัม.
kg.	=	กิโลกรัม.
cm^2.	=	ตารางเซนติเมตร
cm^3.	=	ลูกบาศก์เซนติเมตร
MPa	=	เมกกะปาสคาล (N/m^2.)
N/m	=	นิวตันต่อเมตร
ML(1+4),100°ซ.	=	ค่าความหนืดแบบ Mooney ซึ่งใช้แกนหมุนขนาดใหญ่ ให้ความร้อนก่อน 1 นาที วัดความหนืดที่เวลา 4 นาที ที่อุณหภูมิ 100°ซ.
M_L	=	แรงบิดต่ำสุด
M_H	=	แรงบิดสูงสุด
$t_s(2)$	=	เวลาก่อนสุกตัว
$t_c(90)$	=	เวลาสุกตัว

บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันยางธรรมชาติได้มีการนำมาใช้เพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์ยางชนิดต่าง ๆ อย่างแพร่หลาย แต่ในการผลิตผลิตภัณฑ์ยางบางชนิดนั้นก็ถูกจำกัดอันเนื่องมาจากสมบัติของยางธรรมชาติเอง เช่น ความสามารถในการทนน้ำมันต่ำ ความทนทานต่อการขัดถูต่ำ และความทนทานต่อการเสื่อมสภาพต่ำ เป็นต้น ดังนั้นจึงมีการปรับปรุงคุณสมบัติของยางธรรมชาติโดยวิธีต่าง ๆ เพื่อให้เหมาะสมกับความต้องการในการใช้งาน การปรับปรุงสมบัติของยางธรรมชาติสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การเตรียมเป็นยางผสม การเตรียมเป็นอนุพันธ์ของยางธรรมชาติชนิดต่างๆ และการเตรียมกราฟท์โคพอลิเมอร์ เป็นต้น

กราฟท์โคพอลิมอไรเซชัน เป็นวิธีการเตรียมพอลิเมอร์ร่วม โดยการนำเอาพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งมาทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันกับพอลิเมอร์กิ่ง หรือสายโซ่สาขาอีกชนิดหนึ่ง โดยใช้มอนอเมอร์ที่แตกต่างจากส่วนของมอนอเมอร์ในพอลิเมอร์หลัก กราฟท์โคพอลิเมอร์ที่ได้จึงมีสมบัติอยู่ระหว่างพอลิเมอร์ทั้งสอง

ปฏิกิริยาการสังเคราะห์กราฟท์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติ สามารถทำได้ทั้งในรูปสารละลายอินทรีย์และอิมัลชันสำหรับในรูปสารละลายอินทรีย์จะใช้พอลิเมอร์ที่เป็นของแข็ง (ยางแผ่นหรือยางแท่ง)ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ที่เหมาะสมซึ่งมีมอนอเมอร์และตัวริเริ่มผสมอยู่ปฏิกิริยาจะเริ่มต้นโดยการให้ความร้อนแก่สารละลาย

ส่วนปฏิกิริยาการสังเคราะห์กราฟท์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติ ในรูปอิมัลชันจะใช้น้ำยางยางธรรมชาติข้นจากนั้นจะเติมมอนอเมอร์ และตัวริเริ่ม แล้วทำการปั่นกวนให้แพร่กระจายตัวริเริ่มปฏิกิริยาจะใช้สารผสมระหว่างเทอร์เทียรี่บิวทิลไฮโดรเปอร์ออกไซด์ กับเตตราเอทิลีนเพนทามีน

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงงานพิเศษ

เนื่องจากยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญอย่างหนึ่งที่สำคัญของประเทศซึ่งสามารถทำรายได้ให้กับประเทศปีละหลายร้อยล้านบาท ดังนั้นการพัฒนายางธรรมชาติโดยการปรับปรุงทางเคมี เช่น การทำปฏิกิริยากราฟท์โคพอลิเมอไรเซชัน เพื่อมาใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ยางนั้นจึงเป็นการแปรรูปและเพิ่มมูลค่าของยางธรรมชาติ สำหรับการนำยางธรรมชาติมาสังเคราะห์ร่วมกับมอนอเมอร์เพื่อผลิตเป็นยางธรรมชาติกราฟท์โคพอลิเมอร์เพื่อทดแทนการใช้ยางสังเคราะห์ จึงเป็นการใช้ประโยชน์จากยางธรรมชาติมากขึ้นรวมทั้งสามารถลดการนำเข้ายางสังเคราะห์จากต่างประเทศได้ทางหนึ่ง

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 สังเคราะห์และทดสอบคุณสมบัติของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่สังเคราะห์ได้

1.2.2 ศึกษาการผสมสูตรและเปรียบเทียบกับยางธรรมชาติผสมสูตร และยางไนไทรอล์ผสมสูตร

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 การทดสอบน้ำยางข้น

- การหาปริมาณของแข็งทั้งหมด
- การหาความเป็นด่าง

1.3.2 การสังเคราะห์ยางธรรมชาติกราฟท์โคพอลิเมอร์ กับ อะคริโลไนไทรอล์ในรูปลาเท็กซ์

1.3.3 การทดสอบสมบัติของยางธรรมชาติกราฟท์โคพอลิเมอร์ กับ อะคริโลไนไทรยล์ที่สังเคราะห์ได้

- การหาเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของมอนอเมอร์อะคริโลไนไทรยล์
- การแยกยางธรรมชาติกราฟท์โคพอลิเมอร์กับอะคริโลไนไทรยล์โดยวิธีการสกัด

1.3.4 การใช้ยางธรรมชาติกราฟท์โคพอลิเมอร์ กับ อะคริโลไนไทรยล์ในการผสมสูตรเพื่อผลิตยางแข็งและการทำให้คงรูป

- การผสมสูตรยางธรรมชาติกราฟท์โคพอลิเมอร์ กับ อะคริโลไนไทรยล์
- การผสมสูตรยางธรรมชาติ
- การผสมสูตรยางไนไทรยล์
- การทำให้คงรูป

1.3.5 การทดสอบความสามารถในการแปรรูป และสมบัติในการคงรูป

- การทดสอบลักษณะการคงรูป
- การทดสอบความหนืดของยางผสมสูตร
- การทำให้ยางผสมสูตรคงรูป

1.3.6 การทดสอบสมบัติของยางคงรูป

- ความแข็ง
- สมบัติเชิงกล
- ความต้านทานต่อการฉีกขาด
- ความต้านทานต่อการขัดถู
- ความต้านทานต่อน้ำมัน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถนำยางธรรมชาติกราฟท์โคพอลิเมอร์ กับ อะคริโลไนไทรยล์ที่สังเคราะห์ได้ไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ

1.4.2 ใช้เป็นวิธีการปรับปรุงสมบัติของยางธรรมชาติให้ใช้งานได้อย่างกว้างขวาง

1.4.3 เป็นการเพิ่มมูลค่าของยางธรรมชาติ

1.4.4 ลดการนำเข้าของยางสังเคราะห์จากต่างประเทศ

บทที่2

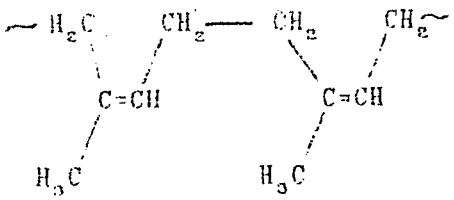
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 ยางธรรมชาติ (Natural Rubber,NR)

ยางธรรมชาติที่ใช้เป็นส่วนผสมหลักในสูตรการผสมยางทั่วไปนั้น จะผลิตได้จากการกรีดเปลือกของต้นยาง น้ำยางจะไหลออกมารวมกันในภาชนะรองรับ น้ำยางธรรมชาติเป็นของเหลวสีขาวและมีอนุภาคของยางแขวนลอยอยู่ในน้ำ องค์ประกอบทางเคมีของน้ำยางธรรมชาติมีส่วนประกอบดังนี้

- ซิส-1,4-พอลิไอโซปรีน 35 %
- สารประกอบเคมีที่ไม่ใช่ยาง เช่น โปรตีน ไขมัน และเกลือแร่ 5 %
- น้ำ 60 %

ยางธรรมชาติเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีโครงสร้างเป็นสายโซ่โมเลกุลยาวๆ จัดเป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากหน่วย C_5H_8 หรือเรียกว่า "**ไอโซปรีนยูนิต**" (Isoprene Unit)มาต่อกันเป็นโมเลกุลยาวเป็น $(C_5H_8)_n$ โดยที่ n มีค่าตั้งแต่ 15-20,000 การเชื่อมต่อกันเป็นโมเลกุลยาวของยางธรรมชาตินั้นเชื่อมต่อกันแบบ cis - form



สำหรับยางธรรมชาติที่ได้จากต้นยางพารา Hevea Braziliensis และ Guayule อยู่ในรูป cis - form ส่วนยางที่ได้จากยางชนิด Gutta - percha และ Balata อยู่ในรูป trans - form

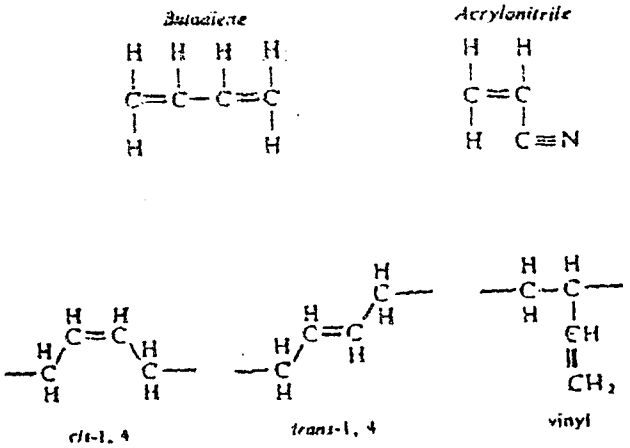
คำว่า cis และ trans ต่างกันตรงความสามารถในการจัดตัวให้เป็นระเบียบซึ่งทำให้เกิดการตกผลึกคือ trans - form จะตกผลึกได้เร็วกว่าที่อุณหภูมิห้อง ส่วน cis - form จะแข็งที่อุณหภูมิห้องไม่มีคุณสมบัติเป็นยาง แต่ cis - form ยังคงมีคุณสมบัติเป็นยาง

จากสูตรโครงสร้างของยางจะเห็นได้ว่ายางมีพันธะคู่และพันธะเดี่ยวอยู่ในโมเลกุลลักษณะคล้ายว่ามีส่วนแข็งและส่วนอ่อนอยู่ในโมเลกุลและการจัดเรียงตัวเป็นโมเลกุลยาวแบบนี้ทำให้ยางมีคุณสมบัติยืดหยุ่นได้ และการที่มีพันธะคู่ทำให้ไฮโดรเจนตรงใกล้พันธะคู่ (α - methylene hydrogen) นั้นว่องไว และเป็นจุดที่ทำให้เกิดการเชื่อมโยงกับสารประกอบกำมะถัน หรือเปอร์ออกไซด์ และโดยเฉพาะอย่างยิ่งกลุ่มเมทิล (methyl group) เป็นกลุ่มที่ส่งอิเลคตรอนเข้าไปยังพันธะคู่จึงเป็นตัวกระตุ้นให้พันธะคู่แสดงประสิทธิภาพแรงขึ้นก็ยิ่งทำให้กลุ่มแอลฟาเมทิลีนมีสถานะว่องไวมากขึ้น ดังนั้นยางธรรมชาติจึงทำปฏิกิริยาเชื่อมโยงกับกำมะถันหรือเปอร์ออกไซด์ว่องไวได้ ลักษณะที่สำคัญของยางธรรมชาติคือ การตกผลึกเมื่อดึงจึงทำให้ยางมีความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) สูงโดยตัวของมันเอง และส่วนประกอบของยางธรรมชาติที่เป็นไฮโดรคาร์บอนล้วนมีลักษณะเป็นไม่มีขั้ว (non polar) เช่น เบนซีน ปิโตรเลียม และดีเซล แต่เมื่อยางที่ทำการวัลคาไนซ์แล้วจะบวมพองในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว

ยางที่สมบัติใกล้เคียงกับยางธรรมชาติ คือ พอลิไอโซปรีนสังเคราะห์ (Synthetic Polyisoprene) ซึ่งทำการพอลิเมอไรเซชันได้ cis - form มากที่สุด แต่ได้ไม่ถึง 100% คุณสมบัติเชิงกล เช่น ความแข็งแรงดึงจะต่ำกว่ายางธรรมชาติเล็กน้อย แต่มีข้อดีคือมีสิ่งเจือปนเล็กน้อยทำให้สีของยางสวยบางครั้งจะใช้แทนยางเครฟขาว (Pale Crepe) ใช้ทำหัวนมและพื้นรองเท้า

2.2 ยางไนไทรยล์ (Nitrile Rubber,NBR)

ยางไนไทรยล์เป็นยางสังเคราะห์ที่ผลิตขึ้น โดยการเตรียมพอลิเมอร์ร่วมระหว่างมอนอเมอร์บิวทาไดอีนกับอะคริโลไนไทรยล์ ด้วยวิธีการเตรียมพอลิเมอร์แบบแขวนลอย



ยางไนไทรยล์ที่ผลิตในเชิงการค้า จะมีปริมาณอะคริโลไนไทรยล์อยู่ร้อยละ 20-50 ขึ้นอยู่กับสมบัติที่ต้องการ ยางไนไทรยล์ที่มีองค์ประกอบของปริมาณอะคริโลไนไทรยล์ต่ำ (ประมาณร้อยละ 18) สามารถละลายได้ในตัวทำละลายพวกแอโรมาติก (Aromatic Solvents) เช่นทอลูอีน เบนซีน แต่ชนิดที่มีปริมาณอะคริโลไนไทรยล์สูง (ประมาณร้อยละ 35) จะไม่ละลายในตัวทำละลายดังกล่าว แต่สามารถละลายได้ในตัวทำละลายพวกคีโทน เช่น แอซีโทน ไอโซบิวทิลเมทิลคีโทน และพวกเอสเทอร์ เช่น บิวทิล หรือ เมทิลแอซีเตท

รูปที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ที่เกี่ยวกับสมบัติของยางไนไทรยล์ที่มีปริมาณมอนอเมอร์อะคริโลไนไทรยล์ในโมเลกุลที่ต่างๆ กัน

สูง	<----------	ปริมาณอะคริโลไนไทรยล์	---------->	ต่ำ
	<----------	ราคา	---------->	
	<----------	การละลายในตัวทำละลายแอโรมาติก	---------->	
	<----------	การละลายในตัวทำละลายคีโทนและเอสเทอร์	---------->	
	<----------	สมบัติความทนทานต่อน้ำมัน	---------->	
	<----------	ความทนทานต่อการซึมผ่านของแกส	---------->	
	<----------	สมบัติการกระดอน	---------->	
	<----------	ความสามารถในการบิดงอที่อุณหภูมิต่ำ	---------->	
	<----------	ความทนทานต่อแรงดึง	---------->	

ยางไนไทรยล์สามารถทำการคงรูปได้ด้วยซัลเฟอร์ สมบัติของยางไนไทรยล์ที่ผ่านการคงรูปแล้วจะมีความทนทานต่อน้ำมัน และตัวทำละลายหลายชนิด โดยเฉพาะตัวทำละลายประเภทไฮโดรคาร์บอน ดังนั้นประโยชน์หลักของยางชนิดนี้ก็คือสามารถนำไปใช้งานที่เกี่ยวข้องหรือสัมผัสโดยตรงกับน้ำมัน เช่น ทำท่อหรือสายส่งน้ำมัน หรือ ผลิตภัณฑ์ยางที่สัมผัสกับน้ำมันและสารเคมี เป็นต้นจากคุณสมบัติของยางธรรมชาติที่มีความทนทานต่อน้ำมัน หรือ ตัวทำละลายต่ำ จึงได้มีการค้นคว้ายางธรรมชาติดัดแปลงเพื่อช่วยให้สามารถใช้ประโยชน์จากยางธรรมชาติได้มากขึ้น โดยการปรับปรุงโครงสร้างโมเลกุลของยางธรรมชาติ ด้วยการผลิตยางสังเคราะห์ขึ้นมาทดแทน

ยางธรรมชาติ เช่น ยางไนไทรอล์

ภายหลังได้มีการสังเคราะห์ยางกราฟท์โคพอลิเมอร์ ซึ่งเป็นวิธีในการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของพอลิเมอร์ โดยใช้ปฏิกิริยาเคมี

2.3 การสังเคราะห์กราฟท์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติ

การสังเคราะห์กราฟท์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติที่สำคัญมีวิธีการดังนี้

1.การย้ายที่ของพอลิเมอร์ (Polymer Transfer)

2.กราฟท์โคพอลิเมอร์ผ่านหมู่ไม่อิ่มตัว (Copolymerisation Via The Unsaturated Group)

3.การพอลิเมอไรเซชันโดยปฏิกิริยารีดอกซ์ (Redox Polymerisation)

4.การสังเคราะห์ด้วยเคมีแสง (Photochemical Synthesis)

5.การสังเคราะห์ด้วยการฉายรังสีพลังงานสูง(High Energy Irradiation Synthesis)

1. การสังเคราะห์กราฟท์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติโดยกลไกการย้ายที่ของพอลิเมอร์

ในระหว่างการเกิดอนุมูลอิสระ ช่วงแรกของปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของเอทิลีนหรือไวนิลมอนอเมอร์ ($P^{\cdot}$) กับ ตัวเริ่มปฏิกิริยา (B) หรือ มอนอเมอร์ (M) หรือ สารเคมีที่ช่วยให้เกิดปฏิกิริยาการย้ายที่ เช่น เมอร์แคปแทน (RSH) เป็นต้น หรือ ตัวทำละลาย (S) หรือ พอลิเมอร์ (PS) หรือ กับอนุมูลอิสระของพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้น ($P^{\cdot}$) ดังสมการที่ (1)-(6) ตามลำดับ

$P^{\cdot} + B \longrightarrow P + B^{\cdot}$ ปฏิกิริยาการย้ายที่ไปยังตัวเริ่มปฏิกิริยา (1)

$P^{\cdot} + M \longrightarrow P + M^{\cdot}$ ปฏิกิริยาการย้ายที่ไปยังมอนอเมอร์ (2)

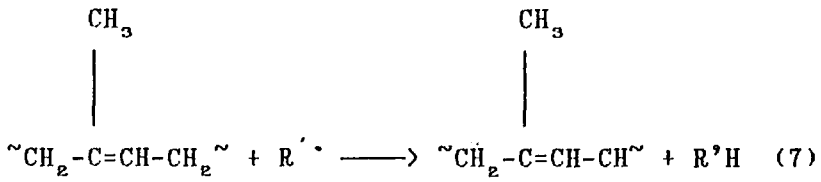
$P^{\cdot} + RSH \longrightarrow P + SH^{\cdot}$ ปฏิกิริยาการย้ายที่ไปยังเมอร์แคปแทน (3)

$P^{\cdot} + S \longrightarrow P + S^{\cdot}$ ปฏิกิริยาการย้ายที่ไปยังตัวทำละลาย (4)

$P^{\cdot} + PS \longrightarrow P + PS^{\cdot}$ ปฏิกิริยาการย้ายที่ไปยังพอลิเมอร์ (5)

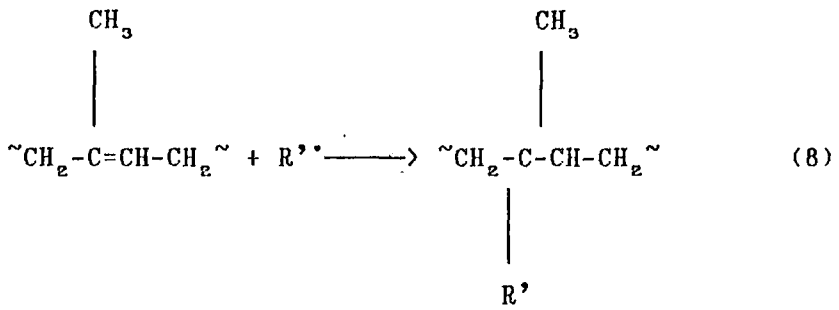
$P^{\cdot} + PS^{\cdot} \longrightarrow P + PS:$ ปฏิกิริยาการย้ายที่ไปยังพอลิเมอร์อนุมูลอิสระ (6)

ซึ่งในสมการที่ (5) เป็นสมการสำคัญในการสังเคราะห์กราฟท์โคพอลิเมอร์โดยปฏิกิริยาย้ายที่ จากการศึกษากลไกการย้ายที่โดยใช้ไอโซโทปคาร์บอน-14 ของตัวเริ่มปฏิกิริยาในส่วนของหมู่ฟีนิลและเบนโซอิล สามารถแสดงปฏิกิริยาย้ายที่ของกราฟท์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติดังสมการที่ (7)



(7)

และเกิดปฏิกิริยาการเติมดังสมการที่ (8) ซึ่งเกิดขึ้นน้อยกว่าสมการที่ (7)



(8)

ค่าคงที่ของปฏิกิริยาการย้ายที่ของมอนอเมอร์หลายๆชนิด สามารถคำนวณได้จากข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ซึ่งสรุปไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าคงที่ของการย้ายที่ของกราฟท์โคพอลิเมอไรเซชัน

มอนอเมอร์	ยางธรรมชาติ	ไอโซโปรพิลเบนซีน	ไดไฮโดรเมอร์ซีน
สไตรีน	2	0.8	2
เมทิลเมทาอะคริเลต	8	1.9	8
อะคริโลไนไทรอล์	450	-	-
ไวนิลอะซิเตต	730	100	700

ปฏิกิริยาการสังเคราะห์กราฟท์โคพอลิเมอร์ สามารถทำได้ทั้งในรูปของสารละลายอินทรีย์และอิมัลชัน สำหรับยางธรรมชาติที่เป็นของแข็งจะละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ที่เหมาะสมซึ่งอยู่ในรูปอิมัลชัน จะเติมมอนอเมอร์และตัวริเริ่มปฏิกิริยาให้แพร่กระจายในน้ำยาง ตัวริเริ่มปฏิกิริยาเป็นสารละลายผสมระหว่างเทอร์เทียรีบิวทิลไฮโดรเปอร์ออกไซด์ หรือ คูมีนไฮเปอร์ออกไซด์กับเตตราเอทีลีเพนทามีน ในกรณียางธรรมชาติที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ๆ การสังเคราะห์กราฟท์โคพอลิเมอร์ระหว่างยางธรรมชาติกับเมทิลเมทาอะคริเลต หรือ สไตรีน จะใช้เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา

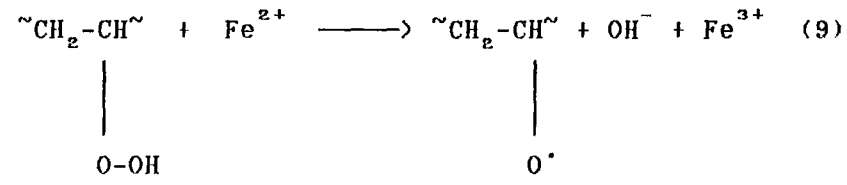
2.การสังเคราะห์โดยการผ่านหมู่ไม่อิ่มตัวในยางธรรมชาติ

ปฏิกิริยาการเกิดกราฟท์โคพอลิเมอร์ ซึ่งเกิดผ่านหมู่ไม่อิ่มตัวในยางธรรมชาติเกิดขึ้นตามสมการเกิดกราฟท์โดยทั่วไป และสมการที่ (7) เป็นปฏิกิริยาการย้ายที่ การตรวจสอบโครงสร้างของยางธรรมชาติด้วยสเปกตรัมอินฟราเรด แสดงให้เห็นค่าคงที่ของความไม่อิ่มตัวของหมู่ไวนิลที่เกาะบนยางมีค่าต่ำประมาณ 0.4 เปอร์เซ็นต์ การวัดสเปกตรัมอินฟราเรดของยาง

ธรรมชาติซึ่งถูกย้ายให้มีน้ำหนักโมเลกุลลดลงภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน แสดงถึงการเพิ่มขึ้นของค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับเป็นการเพิ่มขึ้นของหมู่ไวนิลที่เกาะอยู่บนยางธรรมชาติ ตามสัดส่วนของเวลาที่ทำการย่อยน้ำหนักโมเลกุล ด้วยเหตุนี้การเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันผ่านหมู่ไม่อิ่มตัวในโซ่พอลิเมอร์จึงเป็นวิธีที่เที่ยงตรงและแน่นอนที่สุด ดังนั้นการทำปฏิกิริยาภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน จะทำให้ได้ยางที่มีประสิทธิภาพสูงในการเกิดกราฟท์โคพอลิเมอร์ดีกว่าการทำภายใต้บรรยากาศทั่วๆ ไป

3. การสังเคราะห์กราฟท์โคพอลิเมอร์โดยปฏิกิริยารีดอกซ์

เป็นปฏิกิริยาการสังเคราะห์กราฟท์โคพอลิเมอร์ที่มีประโยชน์มากในเชิงการค้าสามารถทำได้กับมอนอเมอร์แทบทุกชนิด อย่างไรก็ตามวิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมเฉพาะปฏิกิริยาการสังเคราะห์กราฟท์โคพอลิเมอร์ของไวนิลพอลิเมอร์เท่านั้น ปฏิกิริยาทั่วไปเกิดดังสมการที่ (9)



องค์ประกอบที่สำคัญในการเกิดกราฟท์โคพอลิเมอร์ของน้ำยาง ก็คือการแพร่กระจายของมอนอเมอร์ระหว่างชั้นของน้ำกับน้ำยาง โดยทั่วๆ ไปจะพบว่า เมื่อปล่อยทิ้งไว้หลายๆชั่วโมง การแพร่กระจายของมอนอเมอร์อยู่ในสภาวะสมดุล แต่อนุภาคของยางจะจับตัวเป็นก้อน และขยายใหญ่ขึ้นเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งจะมีผลต่อสมบัติทางกายภาพของโคพอลิเมอร์ของน้ำยางธรรมชาติมากที่สุด ดังนั้นในทางการค้าจึงนิยมใส่อิมัลซิไฟเออร์ และใช้เวลาหลายๆ ชั่วโมงก่อนที่จะเติมเอมีน และไอออนเหล็ก(II)

4. การสังเคราะห์กราฟท์โคพอลิเมอร์ด้วยแสง

โมเลกุลของสารอินทรีย์สามารถดูดกลืนพลังงานแสงที่มองเห็นได้ หรือ แสงอัลตราไวโอเลต ทำให้โมเลกุลอยู่ใน "สภาวะเร้า" (Excited State) ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการสังเคราะห์กราฟท์โคพอลิเมอร์บางชนิดเท่านั้น

Cooper และผู้ร่วมงาน ได้สังเคราะห์กราฟท์โคพอลิเมอร์ ของน้ำยางธรรมชาติกับไวนิลมอนอเมอร์เช่น เมทิลเมทาอะคลิเลต ถึงแม้ว่าน้ำยางธรรมชาติจะเป็นตัวทึบแสงอัลตราไวโอเลต แต่ก็สามารถสังเคราะห์กราฟท์โคพอลิเมอร์ที่มีประสิทธิภาพสูง โดยใช้ 1- คลอโร-แอนทราควิโนน เป็นตัวเร่งอัตราเร็วของปฏิกิริยาโคพอลิเมอไรเซชัน และประสิทธิภาพของการสังเคราะห์กราฟท์โคพอลิเมอร์ ขึ้นกับชนิดของสารไวแสง (Photozensitizer)

ต่อมา Menon และผู้ร่วมงาน ได้ปรับปรุงวิธีการ โดยการฉายแสงผ่านน้ำยางธรรมชาติภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน และใช้สารที่สามารถละลายในน้ำได้ เช่น เฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ หรือ เฟอร์ริกคลอไรด์ ในขั้นแรกของปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการส่งผ่านอิเลกตรอน ติดตามด้วยการเกิดอนุมูลอิสระซึ่งเป็นตัวเริ่มปฏิกิริยา ดังสมการที่ (10)

$$Fe^{3+}\ X^{-} \longrightarrow Fe^{2+}\ X^{\cdot} \xrightarrow{nM} Fe^{2+} + X^{\cdot} \longrightarrow XM_n^{\cdot} \qquad (10)$$

ไฮดราซีน(Hydrazine) สามารถใช้เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา ดังสมการ

$$N_2H_4 + M^{x+} \xrightarrow{hv} N_2H_3^{\cdot} + M^{(x-1)} + H^{+} \qquad (11)$$

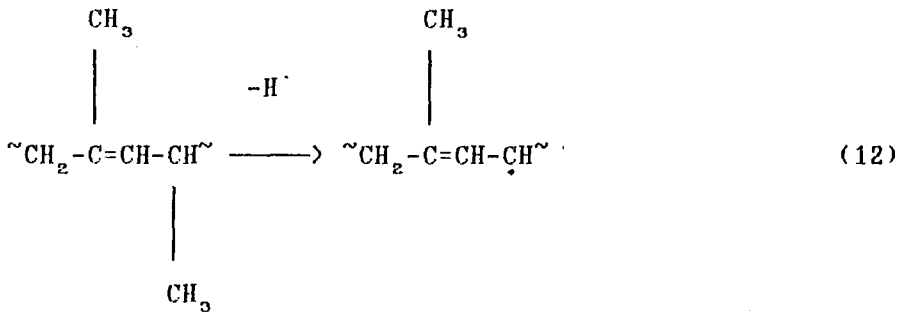
5. การสังเคราะห์กราฟท์โคพอลิเมอร์โดยการฉายรังสีพลังงานสูง

พอลิเมอร์เมื่อถูกฉายรังสีที่มีพลังงานสูง จะทำให้เกิดปฏิกิริยา 2 ชนิด

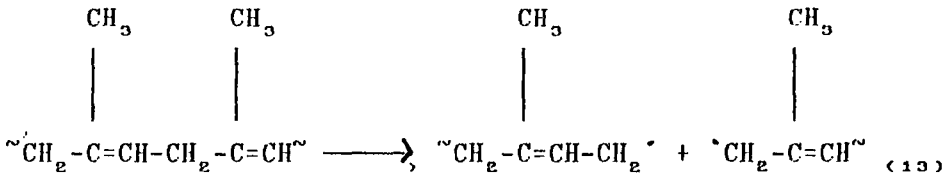
ก. การขาดหายไปของอะตอม หรือหมู่ที่เกาะอยู่บนพอลิเมอร์

ข. ปฏิกิริยาการสลายพันธะในโซ่พอลิเมอร์

ผลจากปฏิกิริยาจะทำให้เกิดอนุมูลอิสระของพอลิเมอร์ ซึ่งสามารถทำให้เกิดโคพอลิเมอไรเซชันแบบกราฟท์ หรือบล็อกได้ตามสมการที่ (12) และ (13)

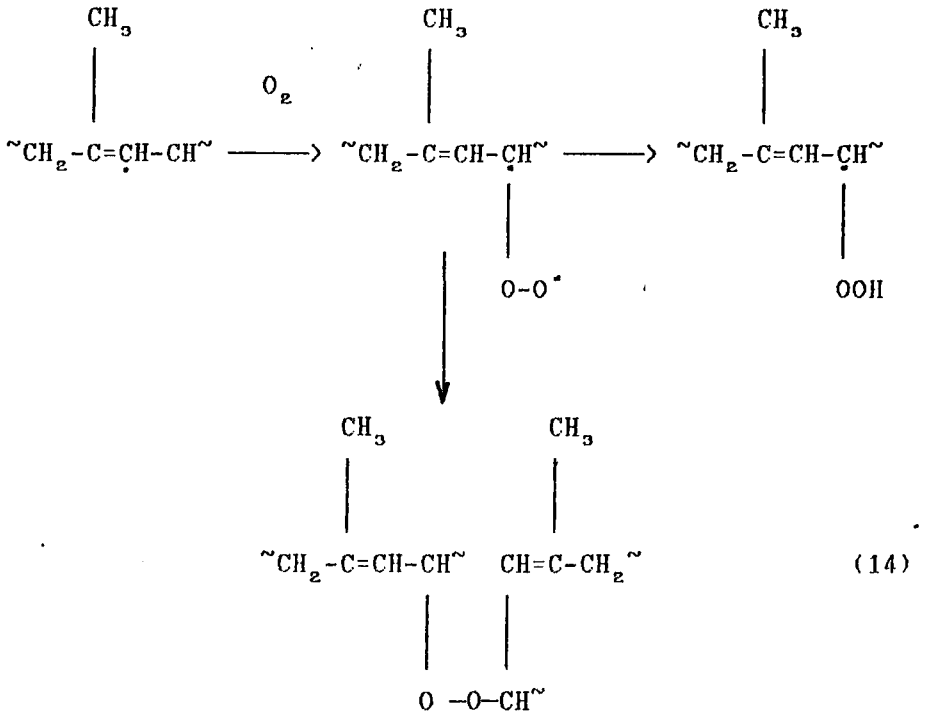


(12)

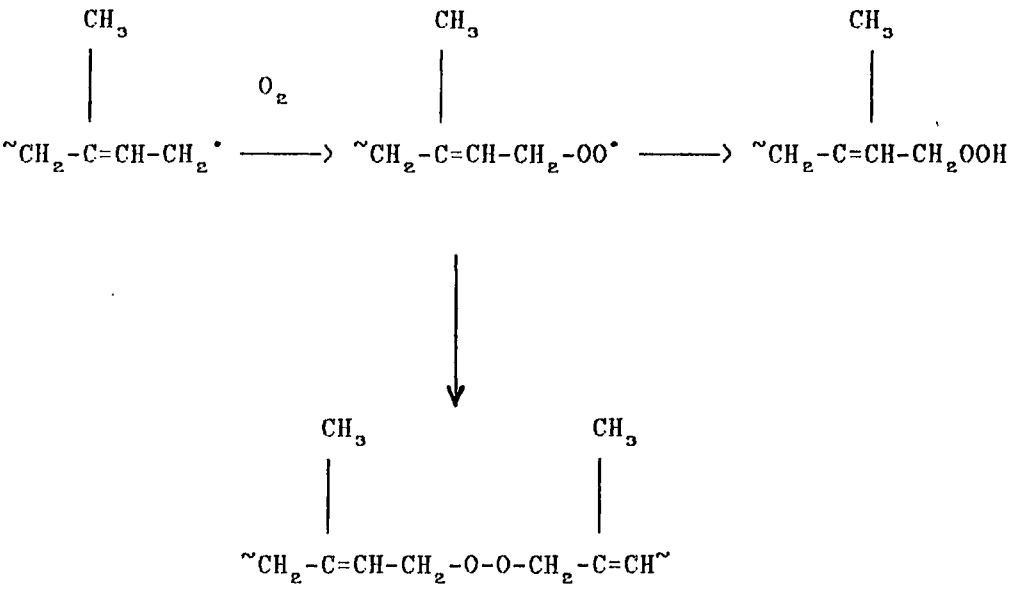


(13)

เมื่อฉายแสงในขณะที่มีออกซิเจน เปอร์ออกไซด์ และ ไฮโดรเปอร์ออกไซด์จะทำให้สารเหล่านั้นเกิดปฏิกิริยาบนพอลิเมอร์ตามสมการที่ (14) และ(15)



(14)



2.4 การแยกกราฟท์โคพอลิเมอร์

ในการสังเคราะห์กราฟท์โคพอลิเมอร์ จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีทั้งโฮโมพอลิเมอร์ปนอยู่กับกราฟท์โคพอลิเมอร์และมอนอเมอร์เสมอ ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการแยกกราฟท์โคพอลิเมอร์ออกจากระบบ ซึ่งสามารถทำด้วยเทคนิคต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. การสกัดแบบเลือกสกัด
2. การตกตะกอนแบบแยกส่วน
3. การตกตะกอนแบบเลือกตกตะกอน
4. การสกัดร่วมกับการตกตะกอน

การเลือกใช้เทคนิคใดนั้น จะพิจารณาโดยอาศัยหลักการพื้นฐานเกี่ยวกับความแตกต่างในการละลายระหว่างมอนอเมอร์ โฮโมพอลิเมอร์ และกราฟท์โคพอลิเมอร์ นั่นคือในสารผสมของพอลิเมอร์(A) พอลิเมอร์(B) และกราฟท์โคพอลิเมอร์ (AB) ถ้าตัวทำละลายที่ต้องการนั้นเป็นตัวทำละลายที่ดีสำหรับพอลิเมอร์(A) จะเป็นตัวทำละลายที่ไม่ดีสำหรับพอลิเมอร์(B) ในทางตรงกันข้าม ถ้าตัวทำละลายที่ดีสำหรับพอลิเมอร์ (B) จะเป็นตัวทำละลายที่ไม่ดีสำหรับพอลิเมอร์(A)

1.การสกัดแบบเลือกสกัด

วิธีนี้เป็นการเลือกตัวทำละลาย ที่สามารถละลายเฉพาะพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งเท่านั้น นิยมใช้กับพอลิเมอร์ที่เป็นของแข็ง โดยการสกัดเอาส่วนผสมบางส่วนที่ละลายได้ในตัวทำละลาย เวลาที่ใช้ในการสกัด อาจจะต้องใช้เวลานานกว่า 4-5 ชั่วโมง และเพื่อให้แน่ใจว่าได้สกัดสิ่งที่ต้องการออกหมดแล้ว ซึ่งสามารถตรวจสอบได้จากน้ำหนักของของแข็งเริ่มต้นว่าคงที่แล้วหรือไม่ อุปกรณ์ที่นิยมใช้คือ เครื่องสกัดแบบซอกห์เลต(Soxhlet) ทั้งนี้เพราะสามารถสกัดได้อย่างต่อเนื่องและใช้ตัวทำละลายในปริมาณไม่มากนัก การสกัดพอลิอะคริโลไนไทรย์ลนิยมใช้เมทิล-เอทิลคีโทน และถ้าทำในบรรยากาศไนโตรเจน จะทำให้เกิดการสลายตัวของพอลิเมอร์น้อยที่สุด ส่วนการสกัดยางธรรมชาตินิยมใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์ซึ่งมีจุดเดือดประมาณ 60-80°ซ.

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.การตกตะกอนแบบแยกส่วน

เทคนิคนี้ใช้ตัวทำละลายที่สามารถทำการสกัดพอลิเมอร์ และใช้ตัวทำละลาย ทำการตกตะกอนโฮโมพอลิเมอร์ทั้งสอง โดยเลือกใช้ตัวทำละลายที่ทำให้เกิดการตกตะกอนอย่างสมบูรณ์ ซึ่งมีช่วงการตกตะกอนของโฮโมพอลิเมอร์แต่ละชนิดห่างกันมากที่สุด ทั้งนี้เพราะการตกตะกอนของกราฟท์โคพอลิเมอร์จะอยู่ภายในช่วงการตกตะกอนของโฮโมพอลิเมอร์ทั้งสอง สำหรับการตกตะกอนกราฟท์โคพอลิเมอร์จะอยู่ในช่วงใดนั้น ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบภายในโมเลกุล เทคนิคนี้ตะกอนที่ตกออกมาอาจจะเป็นเม็ด ผง หรือเจล ขึ้นอยู่กับธรรมชาติของตัวทำละลายที่ใช้ในการตกตะกอนด้วย และจะใช้การกรองแยกระหว่างตะกอนกับของเหลวออกจากกันหรืออาจใช้การเหวี่ยงช่วยในการตกตะกอนด้วยก็ได้

3.การตกตะกอนแบบเลือกตกตะกอน

เทคนิคนี้ต่างจากการตกตะกอนแบบแยกส่วนตรงที่ไม่ใช้ช่วงการตกตะกอนเป็นหลัก แต่จะใช้การตกตะกอนของโฮโมพอลิเมอร์แต่ละชนิดด้วยระบบตัวทำละลาย และตัวทำละลายของพอลิเมอร์ชนิดนั้น ส่วนพอลิเมอร์อื่นนอกเหนือจากนั้นก็ยังอยู่ในสารละลาย เมื่อทำการตกตะกอนโฮโมพอลิเมอร์ที่มีอยู่ทั้งหมดออกแล้ว จึงทำการตกตะกอนกราฟท์โคพอลิเมอร์เป็นขั้นสุดท้าย แยกตะกอนกับของเหลวออกจากกันด้วยวิธีการกรอง

4.การสกัดร่วมกับการตกตะกอน

เทคนิคนี้เป็นการพัฒนา เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกพอลิเมอร์แต่ละชนิดออกจากกัน โดยใช้เทคนิคร่วมระหว่าง 1. และ 2. หรือ 3.

วิธีอื่นๆที่สามารถนำมาใช้ เพื่อที่จะแยกส่วนของโฮโมพอลิเมอร์จากกราฟท์โคพอลิเมอร์ ได้แก่ เทคนิคโครมาโตกราฟี การกรองและการกลั่นลำดับส่วน ฯลฯ

2.5 การผสมสูตร

ในการนำยางชนิดต่างๆเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆนั้น ต้องมีการผสมยางชนิดต่างๆและสารเคมีเพื่อเพิ่มหรือปรับปรุงสมบัติที่บกพร่องไป เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ยางที่มีคุณภาพและมีสมบัติสม่ำเสมอนั้น จำเป็นจะต้องทำให้วัฏภาคของยางและสารเคมีต่างๆกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งในการผสมยางธรรมชาติกราฟท์โคพอลิเมอร์นั้นมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องใช้กรรมวิธีการผสมที่เหมาะสม เนื่องจากเป็นยางที่มีสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ ซึ่งแตกต่างจากทั้งยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ต่างๆอยู่มาก

1. เครื่องมือสำหรับการผสมยาง

เครื่องมือในการผสมยางที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ได้แก่

1.1 เครื่องผสมยางชนิดสองลูกกลิ้ง (two-roll mill) เป็นเครื่องผสมยางอย่างง่าย ประกอบด้วย 2 ลูกกลิ้งวางขนานกันในแนวนอน ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งทั้งสองสามารถปรับได้ตามต้องการเมื่อทำการผสมยาง ลูกกลิ้งทั้งสองจะหมุนสวนทางกันด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน

1.2 เครื่องผสมยางระบบปิด (internal mixer) ประกอบด้วยกรวยเติมสาร (feed hopper) ซึ่งอยู่เหนือห้องผสม ภายในมีโรเตอร์สองตัวหมุนสวนทางกันด้วยความเร็วที่ต่างกันและมีตัวกด (ram piston) กดยางด้วยระบบไฮดรอลิก การนำยางผสมออกจากเครื่อง ทำได้โดยการเลื่อนแผ่นเปิดด้านล่าง เครื่องผสมชนิดนี้ให้การผสมที่ดีกว่าชนิดแรกเนื่องจากมีการปรับปรุงและออกแบบให้โรเตอร์มีลักษณะพิเศษโดยสามารถให้แรงเฉือนสูง ๆ โดยสามารถควบคุมอุณหภูมิในห้องผสมได้ตามต้องการ ทำให้สามารถทำการผสมยางได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ เมื่อลำดับการผสมแล้วทำให้สามารถควบคุมการผสมระหว่างยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ได้โดยไม่เกิดการเสื่อมสภาพก่อนในห้องผสม นอกจากนี้ยังลดการฟุ้งกระจายและการสูญเสียสารเคมีของยาง

บทที่ 3

ขั้นตอนการวิจัยและดำเนินงาน

สารเคมีที่ใช้

1. น้ำยางข้น 60% ชนิดปริมาณแอมโมเนียต่ำโดยความอนุเคราะห์จากบริษัทไทยรับเบอร์ลาเท็กซ์ คอร์ปอเรชัน (ประเทศไทย) จำกัด
2. สารละลายแอมโมเนีย 25% เกรดวิเคราะห์
3. เทอร์เทียรีบิวทิลไฮโดรเปอร์ออกไซด์
4. โมดิคอล เอส (Modical S) โดยความอนุเคราะห์จาก บริษัท ริชมอนด์ จำกัด
5. เตตราเอทิลีนเพนตามีน
6. กรดฟอร์มิก เกรดวิเคราะห์
7. กรดซัลฟิวริก 0.1 นอร์มอล
8. เมทิล เอทิล คีโทน เกรดวิเคราะห์
9. ปิโตรเลียมอีเทอร์ ช่วงจุดเดือด 60-80 องศาเซลเซียส เกรดวิเคราะห์
10. เมทิลเรด
11. ซิงค์ออกไซด์ชนิดว่องไว
12. ซิลิกา (Purosil UR)
13. ยางไนไทรยล์
14. ยางธรรมชาติ
15. ขี้ผึ้ง (WAX)
14. สตรัคตอล
16. สารป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน 22 CP 46
17. กำมะถัน

18.สารกระตุ้นตัวเร่ง CBS TMTM และ MBTS

19.น้ำกลั่น

20.อะดิโลไนไทรธล์มอนอเมอร์

21.น้ำมันเบรค

22.ก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ (High Purity Nitrogen Gas)

เครื่องมือที่ใช้

1.ขวดก้นกลมแบบสามคอ ขนาด 250 และ 500 มิลลิลิตร

2.ชุดปฏิกรณ์ปฏิกิริยาแบบสี่คอ ขนาด 2,000 มิลลิลิตร

3.เทอร์โมมิเตอร์ ช่วงอุณหภูมิระหว่าง 0 ถึง 100 องศาเซลเซียส

4.ชุดสกัดซอกห์เลต (Soxhlet) พร้อมไส้กรอง (Cellulose Extraction Thimber)

5.เตาให้ความร้อน

6.หอทำความเย็น (Cooling Tower)

7.มอเตอร์ปั่นกวนชนิดปรับรอบ รุ่น RW 20 บริษัท Kika จำกัด

8.ใบพัดเทปลอนและใบพัดแก้ว

9.เครื่องชั่งไฟฟ้า (Electric Balance)

10.เครื่องทดสอบความทนทานต่อแรงดึง (Tensile Testing Machine) Shimadsu รุ่น-100-C บริษัท Shimadsu จำกัด

11.เครื่องวัดความหนืดแบบ Mooney รุ่น SMV-201 บริษัท Shimadsu จำกัด

12.เครื่องทดสอบการสึกกร่อน (Abraser)

13.เครื่องทดสอบความแข็ง ชนิด Shore A

14.เครื่องวัดการคงรูปของยาง (Curelastomete)

15.เครื่องรีดยางแบบสองลูกกลิ้ง (Two Roll Mill) รุ่น LRM 110 บริษัท Labtech Engineering จำกัด

16.เครื่องอัดร้อน (Hot Compression)รุ่น LP20 บริษัท Labtech Engineering จำกัด

17.ตู้อบร้อนแบบ Hot Air บริษัท Memert จำกัด

18.แม่พิมพ์ตัดชิ้นงานรูปดัมพ์เบลล์และชิ้นงานสำหรับทดสอบความทนทานต่อการขัดถู

19.แม่พิมพ์สำหรับขึ้นรูปชิ้นงานด้วยความร้อน ขนาด 7นิ้วX7นิ้ว จำนวน 2 แผ่น พร้อมแผ่นกั้นหนา 2 มิลลิเมตร

การทดลองนี้สามารถแบ่งได้เป็น 6 ขั้นตอน คือ

1.การทดสอบน้ำยางข้น

- การหาปริมาณของแข็งทั้งหมด
- การหาปริมาณเนื้อยางแห้ง
- การหาความเป็นด่างในน้ำยาง

2.การสังเคราะห์ยางธรรมชาติกราฟท์โคพอลิเมอร์กับอะคริโลไนไทรยล์ในรูปลาเท็กซ์

3.การทดสอบสมบัติของยางกราฟท์โคพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้

- การหาเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของมอนอเมอร์อะคริโลไนไทรยล์
- การแยกกราฟท์โคพอลิเมอร์โดยเทคนิคการสกัด

4.การใช้ยางธรรมชาติกราฟท์โคพอลิเมอร์ในการผสมสูตรเพื่อผลิตยางแข็งและการทำให้คงรูป

4.1 การผสมสูตร

- การผสมสูตรยางธรรมชาติกราฟท์โคพอลิเมอร์กับอะคริโลไนไทรยล์
- การผสมสูตรยางธรรมชาติ
- การผสมสูตรยางไนไทรยล์

4.2 การทำให้ยางคงรูป

5.การทดสอบความสามารถในการแปรรูปและสมบัติในการคงรูป

- การทดสอบลักษณะการคงรูป
- การทดสอบความหนืดของยางผสมสูตร
- การทำให้ยางผสมสูตรคงรูป

6. การทดสอบสมบัติของยางคงรูป

- ความแข็ง
- สมบัติเชิงกล
- ความต้านทานต่อการฉีกขาด
- ความทนทานต่อการขัดถู
- ความทนทานต่อน้ำมัน

3.1 การทดสอบน้ำยางข้น

3.1.1 การหาปริมาณของแข็งทั้งหมด

ชั่งน้ำหนักยางประมาณ 2 $\pm$ 0.5 กรัม เทลงในจานเพาะเชื้อที่ชั่งน้ำหนักไว้ เอียงให้น้ำยางกระจายทั่วจาน นำไปอบที่อุณหภูมิ 100 $\pm$ 2 องศาเซียส ประมาณ 2 ชั่วโมง นำจานนี้ไปใส่ในเดซิเคเตอร์จนเย็น นำมาชั่งน้ำหนักแล้วอบอีกครั้งนาน 15 นาที นำไปใส่เดซิเคเตอร์จนเย็นอีกครั้งและชั่งน้ำหนัก ทำเช่นนี้จนกระทั่งน้ำหนักที่ชั่งต่างกันไม่เกิน 1 มิลลิกรัม คำนวณหาปริมาณของแข็งทั้งหมด ตามสมการ

$$\text{ปริมาณของแข็งทั้งหมด (TSC) \%} = \frac{\text{น้ำหนักของยางแห้ง}}{\text{น้ำหนักของน้ำยาง}} \times 100$$

3.1.2 การหาปริมาณเนื้อยางแห้ง

ชั่งน้ำหนักยาง 10 $\pm$ 0.01 กรัม ทำให้เจือจางโดยใช้น้ำกลั่น 20.0 มิลลิลิตร หยดกรดอะซิติก 2 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 80 มิลลิลิตร ลงไปช้าๆ นำไปวางในอ่างไอน้ำประมาณ 15 - 30 นาที นำชิ้นยางที่ได้ไปรีดความหนาไม่เกิน 2 มิลลิเมตร นำชิ้นยางไปอบที่อุณหภูมิ

70 $\pm$ 2 องศาเซลเซียส จนยางใสทั่วแผ่น และนำไปใส่สนเคชิเคเตอร์ ทำเช่นนี้จนน้ำหนักไม่แตกต่างกันเกิน 5 มิลลิกรัม คำนวณปริมาณเนื้อยางแห้งตามสมการ

$$\text{ปริมาณเนื้อยางแห้ง (DRC) \%} = \frac{\text{น้ำหนักของยางแห้ง}}{\text{น้ำหนักของน้ำยาง}} \times 100$$

3.1.3 การหาความเป็นด่างในน้ำยาง

ชั่งน้ำหนักยาง 10 กรัม เจือจางด้วยน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร และผสมสารลดแรงตึงผิวชนิดนอนไอออนิก (non-ionic) หยดเมทิลเรด 6 หยด ไตเตรตด้วยกรดซัลฟิวริก 0.1 นอร์มอล จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพู คำนวณความเป็นด่างในรูปจำนวนกรัมของแอมโมเนียต่อน้ำ 100.0 กรัม ในน้ำยางดังนี้

$$\text{ความเป็นด่าง (\%}NH_3\text{ ต่อหนักน้ำ)} = \frac{170 \times \text{ความเข้มข้นของกรด} \times \text{ปริมาณของกรด}}{\text{น้ำหนักเป็นกรัมของน้ำยาง} \times (100\text{-TSC})}$$

3.2 การสังเคราะห์ยางธรรมชาติกราฟท์โคพอลิเมอร์กับอะคริโลไนไทรยล์ในรูปลาเท็กซ์

ชั่งน้ำยางธรรมชาติที่มีเนื้อยางแห้ง 60 เปอร์เซ็นต์ 100 ส่วน ใส่ในขวดสามคอหรือหม้อปฏิกิริยา (Reactor) ขนาดที่เหมาะสม เติมสารละลายแอมโมเนียเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ 30 ส่วน ผ่านก๊าซไนโตรเจนอย่างน้อย 30 นาที พร้อมปั่นกวนตลอดเวลา ปรับอุณหภูมิให้ได้ประมาณ 25 องศาเซลเซียส จากนั้นลดอัตราของไนโตรเจนลงค่อยๆ เติมอะคริโลไนไทรยล์มอนอเมอร์และผสมโมดิคอล เอส (Modical S) ซึ่งเป็นสารเสริมเสถียรภาพของน้ำยาง 0.3 ส่วน กับ เทอร์เทียรีบิวทิลไฮโดรเปอร์ออกไซด์ 0.2 ส่วน ปั่นกวนด้วยความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นค่อยๆเติมเตตราเอทิลีนเพนตามีนเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ 4.44 เท่าของเทอร์เทียรีบิวทิลไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ปั่นกวนต่อด้วยความเร็วรอบ 150 รอบ

ต่อนาที เป็นเวลา 10-15 นาที หยุดปฏิกิริยาพร้อมปิดก๊าซไนโตรเจน ตั้งทิ้งไว้ให้ปฏิกิริยาเกิดอย่างสมบูรณ์ อย่างน้อย 24 ชั่วโมง นำไปตกตะกอนด้วยกรดฟอร์มิก เข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ ที่ต้มเดือด 3 ครั้ง จากนั้นนำไปแช่น้ำกลั่น 3 ครั้ง อย่างน้อย 24 ชั่วโมง กรอง และนำไปรีดให้บางประมาณ 2 มิลลิเมตร และนำไปตากให้แห้ง

3.3 การทดสอบสมบัติของยางกราฟท์โคพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้

3.3.1 การหาเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลง (Conversion) มอนอเมอร์อะคริโลไนไทรยล์ชั่งน้ำยางที่สังเคราะห์ได้ประมาณ 2.0 กรัม ในจานเพาะเชื้อที่ชั่งน้ำหนักละเอียดถึง 0.1 มิลลิกรัม นำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ (ประมาณ 24 ชั่วโมง) นำไปชั่งน้ำหนักหลังอบ คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของมอนอเมอร์อะคริโลไนไทรยล์ (%Conversion)

$$\%\text{Conversion} = \frac{\text{ปริมาณของแข็งทั้งหมด (TSC)}}{\text{ปริมาณของแข็งทั้งหมด (TSC) ที่คำนวณได้}} \times 100$$

3.3.2 การแยกกราฟท์โคพอลิเมอร์โดยเทคนิคการสกัด

นำผลิตภัณฑ์ที่ตกตะกอนด้วยกรดฟอร์มิกและอบจนแห้งสนิทแล้ว มาชั่งหาน้ำหนักที่แน่นอน จากนั้นนำไปสกัดหายางธรรมชาติที่ไม่เกิดกราฟท์ (Free Rubber) ด้วยปิโตรเลียมอีเทอร์ ช่วงอุณหภูมิ 60-80 องศาเซลเซียส โดยใช้ชุดสกัดแบบซอกห์เลต (Soxhlet Extract) จนแน่ใจว่ายางธรรมชาติถูกสกัดออกจนหมด นำไปอบให้แห้งและชั่งน้ำหนักของสารที่เหลืออยู่ นำผลิตภัณฑ์นี้ไปสกัดต่อด้วย เมทิลเอทิลคีโทน (Methyl Ethyl Ketone) เพื่อสกัดพอลิอะคริโลไนไทรยล์ที่ไม่เกิดกราฟท์ (Free Polymer) นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปอบแห้งและชั่งน้ำหนักของสารที่แน่นอน คำนวณเปอร์เซ็นต์ของยางธรรมชาติและพอลิอะคริโลไนไทรยล์ ที่ไม่เกิดกราฟท์ และเปอร์เซ็นต์กราฟท์โคพอลิเมอร์ (% Graft Copolymer) ที่ได้

$$\% \text{ Graft Copolymer} = \frac{\text{น้ำหนักที่เหลือจากการสกัด}}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น}} \times 100$$

3.4 การใช้ยางธรรมชาติกราฟท์โคพอลิเมอร์ในการผสมสูตรเพื่อผลิตยางแข็งและการทำให้ยางคงรูป

3.4.1 การผสมสูตร

3.4.1.1 การผสมสูตรยางธรรมชาติกราฟท์โคพอลิเมอร์

สามารถเตรียมผสมสูตรยางโดยใช้ส่วนประกอบต่างๆ ดังนี้

ยางธรรมชาติกราฟท์โคพอลิเมอร์	100.0	ส่วนโดยน้ำหนัก (phr)
ซิลิกา (Purosil UR)	45.0	ส่วนโดยน้ำหนัก
ซิงค์ออกไซด์ชนิดว่องไว	3.5	ส่วนโดยน้ำหนัก
กรดสเตียริก (Steric Acid)	0.5	ส่วนโดยน้ำหนัก
ขี้ผึ้ง (Wax)	0.5	ส่วนโดยน้ำหนัก
สตรัคตอล WB 212 (Strucktol WB 212)	1.0	ส่วนโดยน้ำหนัก
แอนติออกซิแดนท์ 22 CP 46	0.5	ส่วนโดยน้ำหนัก
พีอีจี 4000 (PEG 4000)	4.0	ส่วนโดยน้ำหนัก
ซีบีเอส (CBS)	1.0	ส่วนโดยน้ำหนัก
เอ็มบีทีเอส (MBTS)	0.5	ส่วนโดยน้ำหนัก
ทีเอ็มทีเอ็ม (TMTM)	0.2	ส่วนโดยน้ำหนัก
กำมะถัน (Sulphur)	1.5	ส่วนโดยน้ำหนัก

การผสมสูตรยางทำได้โดยใช้เครื่องบดแบบสองลูกกลิ้ง ขั้นตอนการผสมสูตรเป็นดังต่อไปนี้

1. นวดยางให้ยางพันลูกกลิ้ง 2 นาที
2. เติมซิลิกาและสารตัวเติมอื่นๆยกเว้นซิงค์ออกไซด์ สารตัวเร่งและสารกระตุ้นตัวเร่ง (PEG 4000,CBS,MBTS,TMTM และ กำมะถัน) โดยใช้เวลาผสม 8 นาที
3. เติมสารที่เหลือโดยใช้เวลาในการผสม 5 นาที

3.4.1.2 การผสมสูตรยางธรรมชาติ

สามารถทำการผสมสูตรได้ดัง 3.4.1.1 แต่เปลี่ยนส่วนผสมจากยางธรรมชาติกราฟท์โคพอลิเมอร์เป็นยางธรรมชาติ TTR 5L

3.4.1.3 การผสมสูตรยางไนไทรยล์

สามารถทำการผสมสูตรได้ดัง 3.4.1.1 แต่เปลี่ยนส่วนผสมจากยางธรรมชาติกราฟท์โคพอลิเมอร์เป็นยางไนไทรยล์ N 220 SH

3.4.2 การทำให้ยางผสมสูตรคงรูป

นำยางผสมสูตรที่ผ่านการผสมสูตรตามหัวข้อ 3.4.1.1 แล้ว บรรจุลงในแม่พิมพ์ขนาด 5 นิ้ว X 5 นิ้ว หนา 2 มม.แล้วทำการบ่ม (cure) ยางผสมสูตร ด้วยเครื่องอัดร้อนที่อุณหภูมิ 150°ซ. ความดันที่ใช้ในการอัด 100 กก.ต่อตร.ซม. ระยะเวลาในการอัดขึ้นรูปแตกต่างกันไป โดยขึ้นอยู่กับข้อมูลที่ได้จากการวัดสมบัติการคงรูปของยางผสมสูตรด้วยเครื่องวัดสมบัติการคงรูป (Curelastometer) โดยจะกล่าวรายละเอียดต่อไปในหัวข้อการทดสอบความสามารถในการแปรรูปและสมบัติในการคงรูป

3.5 การทดสอบความสามารถในการแปรรูปและสมบัติในการคงรูป

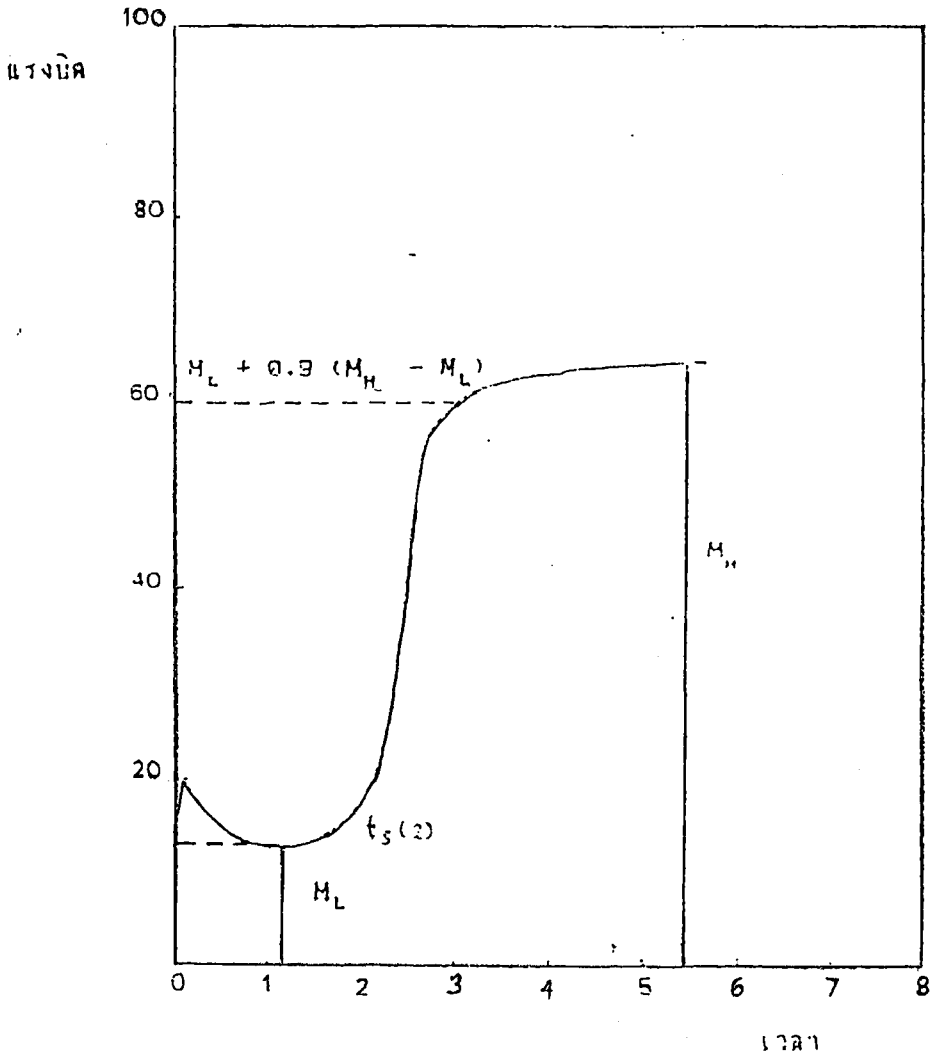
การทดสอบสมบัติของยางที่ยังไม่ผ่านการคงรูป มีวัตถุประสงค์เพื่อการควบคุมคุณภาพหรือเพื่อต้องการทราบเกี่ยวกับความสามารถในการแปรรูป (Processability) ยางที่นำมาทดสอบนี้จะไม่คำนึงว่าจะนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดใด สมบัติที่ใช้ในการทดสอบยางที่ไม่คงรูปได้แก่ สมบัติด้านความหนืด (Viscosity) หรือ สมบัติด้านพลาสติก (Plasticity) และการคงรูปของยาง (Cure Characteristics) ซึ่งจะทำให้ทราบถึงความสามารถในการแปรรูป กระบวนการที่ใช้ในการแปรรูป ระยะเวลาที่ใช้ในการแปรรูป ระยะเวลาที่ใช้ในการทำให้ยางคงรูป และระยะเวลาที่ยางเริ่มเกิดการคงรูป รวมทั้งอุณหภูมิที่ใช้ในการแปรรูป

3.5.1 การทดสอบลักษณะคงรูป

การทดสอบลักษณะการคงรูปของยางผสมสูตรสามารถทำได้โดยการเตรียมตัวอย่างที่ยังไม่ได้ผ่านการคงรูปขนาดประมาณ 4 ซม.X 4 ซม. หนา 2 มม. จำนวน 2 ชิ้น นำไปทดสอบลักษณะการคงรูปด้วยเครื่องเคียวอีลาสโตมิเตอร์ (Curelastometer) ที่อุณหภูมิ 150°ซ. จะได้กราฟของการคงรูป จากกราฟนำมาหาค่าแรงบิดสูงสุดเมื่อยางคงรูปเต็มที่ (M_H) แรงบิดต่ำสุด (M_L) ระยะเวลาที่ยางเริ่มเกิดการคงรูป หรือระยะเวลาที่แรงบิดเพิ่มขึ้นจากแรงบิดต่ำสุดอีก 2 หน่วย ($t_s(2)$) และเวลาที่ใช้ในการคงรูปที่เหมาะสม หรือระยะเวลาที่ทำให้องศาของการเชื่อมโยงเท่ากับ 90 % ($t_c(90)$)

การคำนวณ

จากกราฟของการคงรูปของยางผสมสูตร ซึ่งพลอตระหว่างแรงบิดกับเวลา สามารถหาค่าต่างๆได้ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงกราฟระหว่างแรงบิดกับเวลาที่ได้จากเครื่อง ODR (Curelastomer)

3.5.2 การทดสอบความหนืดของยางผสมสูตร

ทำการทดสอบโดยวิธีของ Mooney โดยนำยางตัวอย่างที่ยังไม่ผ่านการคงรูปขนาดประมาณ 4 ซม. X 4 ซม. หนา 1 มม. จำนวน 2 ชิ้น ไปใช้สำหรับการทดสอบหาค่าความหนืดแบบ Mooney โดยให้ยางตัวอย่างประกบลงบนแกนหมุนขนาดใหญ่ของเครื่อง อุณหภูมิของการทดสอบที่ 100°ซ. โดยให้ความร้อนก่อน (Preheat) ประมาณ 1 นาที แล้วทำการวัดค่าความหนืดที่ได้เมื่อเวลา 4 นาที บันทึกค่าความหนืดแบบ Mooney (ML1+4)

3.5.3 การทำให้ยางผสมสูตรคงรูป

นำยางผสมสูตรจากหัวข้อ 3.1.1.1 หรือ 3.1.1.2 หรือ 3.1.1.3 บรรจุในแม่พิมพ์ขนาด 5 นิ้ว X 5 นิ้ว หนา 2 มม. โดยจะต้องหาความถ่วงจำเพาะของยางผสมสูตร และน้ำหนักของยางผสมสูตรที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปจากปริมาตรแม่พิมพ์ในการอัดขึ้นรูป เพื่อให้ได้แผ่นยางเต็มแม่พิมพ์ และจะเผื่อน้ำหนักของยางผสมสูตรอีก 5-10 % ทำให้ยางคงรูปหรือสุกตัวด้วยเครื่องอัดร้อนที่อุณหภูมิ 150°ซ. ความดันในการอัด 100 กก.ต่อตร.ซม. เวลาในการอัดขึ้นรูปจะต่างกันไปตามข้อมูลที่วัดได้จากการวัดสมบัติการคงรูปตาม 3.5.1

3.6 การทดสอบสมบัติของยางผสมคงรูป

3.6.1 การทดสอบความแข็ง(Hardness)

ทดสอบความแข็งโดยเตรียมชิ้นตัวอย่างจากยางที่ผ่านการคงรูปซึ่งหนา 2 มม. นำมาซ้อนกัน 3 ชิ้น เพื่อให้ได้ชิ้นงานมีความหนาประมาณ 6 มม. ทำการวัดความแข็งแบบ Shore A บันทึกค่าที่ได้ ทำการวัดความแข็งที่จุดต่างๆอย่างน้อย 5 ค่า และหาค่าเฉลี่ย

3.6.2 การทดสอบสมบัติเชิงกล

การทดสอบสมบัติเชิงกลได้แก่ ความทนต่อแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืด ณ. จุดขาด มอดูลัส 300 โดยนำยางตัวอย่างจาก 3.5.3 มาตัดให้เป็นรูปดัมพ์เบลล์ด้วยหัวตัดแบบ C ตามมาตรฐาน ASTM D 412 จากนั้นนำมาวัดค่าความหนา ความกว้างของส่วนคอดของรูปดัมเบลล์ และทำเครื่องหมายกำหนดระยะของส่วนคอดเป็นระยะ 25 มม. นำมาทดสอบแรงดึง โดยใช้เครื่องทดสอบแรงดึง ใช้อัตราการดึง 400 มม.ต่อนาที ปรับแรงที่ใช้ดึงสูงสุดเป็น 100 กก.

คำนวณค่าความทนทานต่อแรงดึง จากสมการ

$$\text{ความทนทานต่อแรงดึง} = \frac{F}{A}$$

เมื่อ F = แรงที่อ่านได้ ณ.จุดขาด

A = พื้นที่หน้าตัดของชิ้นยางตัวอย่าง

คำนวณค่ามอดูลัส 300 จากสมการ

$$\text{มอดูลัส 300} = \frac{F_3}{A}$$

เมื่อ F_3 = แรงที่อ่านได้เมื่อดึงให้ชิ้นงานยืด 3 เท่าของความยาวเดิม

A = พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานตัวอย่างที่ทดสอบ

3.6.3 การทดสอบความต้านทานต่อการขัดถู (Abrasion Resistance)

ทำการทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบชนิด Croydon-Akron วิธีการคือ เตรียมชิ้นงานทดสอบเป็นแผ่นกลมหนา 0.5+0.02-0.00 นิ้ว และเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.50+0.02-0.00 นิ้ว ทดสอบโดย ปรับมุมระหว่างชิ้นงานทดสอบกับหินขัดให้มีค่า 15 องศา นำชิ้นงานไปใส่เข้ากับแกนปลดล็อกเพื่อให้ล้อสัมผัสกับชิ้นงาน ตั้งตัวนับให้เป็นศูนย์ และเปิดเครื่องให้หมุน 300 รอบ เพื่อเป็นการขัดผิวหน้าออก นำชิ้นงานไปชั่งน้ำหนัก และบันทึกไว้ จากนั้นนำไปใส่ในเครื่องมุมและ

ตำแหน่งเดียวกันอีก 6 ครั้ง ครั้งละ 500 รอบ พร้อมชั่งน้ำหนักทุกครั้ง พิจารณาน้ำหนักที่หายไปทุกครั้งว่าใกล้เคียงกันหรือไม่ บันทึกผลและคำนวณ

ความต้านทานการขัดถู = ปริมาตรที่หายไปต่อ 3000 รอบ (cm^3.)

3.6.4 การทดสอบสมบัติการทนทานต่อน้ำมัน (Oil Resistance)

การทดสอบความทนทานต่อน้ำมัน จะเป็นการทดสอบความสามารถของยางที่จุ่มลงในของเหลวคือน้ำมัน โดยนำชิ้นยางตัวอย่างขนาด 2 X 15 X 20 $มม^3$. ไปแช่ในน้ำมันเครื่องเป็นเวลา 15 วัน ที่อุณหภูมิห้อง แล้ววัดปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงไปของชิ้นยางตัวอย่าง

$$\text{ปริมาตรของชิ้นงานที่เปลี่ยนไป} = (V_f - V_o)/V_o$$
$$= (\rho_s M_s)/(\rho_r M_r)$$

เมื่อ V_o = ปริมาตรของชิ้นยางตัวอย่างก่อนแช่น้ำมันทดสอบ

V_f = ปริมาตรของชิ้นยางตัวอย่างหลังแช่น้ำมันทดสอบ

ρ_r = ความหนาแน่นของชิ้นยางตัวอย่าง

ρ_s = ความหนาแน่นของน้ำมันทดสอบ

M_r = น้ำหนักของยางตัวอย่างก่อนแช่น้ำมันทดสอบ

M_s = น้ำหนักของชิ้นยางตัวอย่างที่เปลี่ยนแปลงไป

= (น้ำหนักหลังแช่น้ำมัน - M_r)

3.6.5 การทดสอบความสามารถในการทนทานต่อการฉีกขาด (Tear Strength)

การทดสอบความทนทานต่อการฉีกขาดทำได้โดยนำยางจาก 3.5.3 มาขึ้นรูป และวัดความหนาของชิ้นงาน จากนั้นนำไปทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบแรงดึง ใช้อัตราการดึง 400 มม. ต่อนาที ปรับแรงที่ใช้ดึงสูงสุดเป็น 100 กก. คำนวณค่าความสามารถในการทนทานต่อฉีกขาด

จากสมการ

$$\text{Tear Strength} = \frac{F}{\text{ความหนาของชิ้นงาน (มม.)}}$$

F = ค่าแรงดึงสูงสุดที่ทำให้ชิ้นงานฉีกขาด (กก.)

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 การทดสอบสมบัติของน้ำยางข้น

สมบัติของน้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียต่ำที่ใช้ในการทดลองมีสมบัติดังนี้

- ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solid Content,TSC) = 61.66 %
- ปริมาณเนื้อยางแห้ง (Dry Rubber Content,DRC) = 59.97 %
- ปริมาณความเป็นด่าง (Ammonia(%) of Latex) = 0.38 %

4.2 การสังเคราะห์ยางธรรมชาติกราฟท์โคพอลิเมอร์กับอะคริโลไนไทรอล์ในรูปลาเท็กซ์

ขั้นเริ่มต้นของการศึกษาการสังเคราะห์ยางธรรมชาติกราฟท์โคพอลิเมอร์ กับ อะคริโลไนไทรอล์ในรูปลาเท็กซ์ โดยใช้สภาวะการทดลองคือ

- อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองคือ 25°ซ.
- ความเร็วในการปั่นกวนคือ 200 รอบต่อนาที
- ตัวริเริ่ม (Initiator)คือ เทอร์เทียรีบิวทิลไฮโดรเปอร์ออกไซด์ 0.2 ส่วน
- สารกระตุ้นตัวเร่ง คือเตตราเอทิลีนเพนตามีน (Tetraethylenepentamine) เข้มข้น 10 % ปริมาณ 4.44 เท่าของตัวริเริ่ม
- สารเสริมเสถียรภาพของน้ำยาง คือ โมดิคอล เอส (Modical s)ปริมาณ 3 ส่วน ผลการทดลองที่ได้คือ ได้ยางธรรมชาติกราฟท์โคพอลิเมอร์กับอะคริโลไนไทรอล์ในรูปลาเท็กซ์

4.3 การทดสอบสมบัติของยางกราฟท์โคพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้

4.3.1 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของอะคริโลไนไทรยล์

การสังเคราะห์ยางธรรมชาติกราฟท์โคพอลิเมอไรเซชันโดยการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนระหว่างน้ำยางธรรมชาติ (NR) กับมอนอเมอร์อะคริโลไนไทรยล์ (AN) ซึ่งให้ผลเป็นดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของอะคริโลไนไทรยล์มอนอเมอร์เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของน้ำยางธรรมชาติและอะคริโลไนไทรยล์มอนอเมอร์

อัตราส่วน NR:AN (mole %)	เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลง(%)
80:20	95.08
70:30	93.0
60:40	92.98
50:50	92.77

4.3.2 เปอร์เซ็นต์กราฟท์โคพอลิเมอร์ของยางกราฟท์โคพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้

เมื่อทำการทดลองโดยการนำยางกราฟท์โคพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้ไปทำการสกัดด้วยปิโตรเลียมอีเทอร์เพื่อสกัดเอายางธรรมชาติที่ไม่เกิดกราฟท์ และสกัดพอลิอะคริโลไนไทรยล์ที่ไม่เกิดกราฟท์ด้วยเมทิลเอทิลคีโทนจะให้ผลดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงเปอร์เซ็นต์กราฟท์โคพอลิเมอร์ของน้ำยางธรรมชาติกับอะคริโลไนไทรยล์มอนอเมอร์

อัตราส่วน NR:AN (mole %)	พอลิเมอร์ที่ไม่เกิดกราฟท์ (%)	ยางที่ไม่เกิดกราฟท์ (%)	กราฟท์โคพอลิเมอร์ (%)
80:20	3.15	9.39	87.46
70:30	9.23	7.62	83.15
60:40	14.53	6.65	78.82
50:50	19.19	5.23	75.67

จากผลที่ได้พบว่าเมื่อปฏิกิริยาดำเนินไปภายใต้สภาวะเดียวกัน เมื่อเพิ่มเปอร์เซ็นต์หรือความเข้มข้นของอะคริโลไนไทรยล์มอนอเมอร์ จะทำให้เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของมอนอเมอร์ลดลง เนื่องจากปริมาณตัวริเริ่มไม่เพียงพอต่อการเกิดปฏิกิริยา แต่ถ้าเพิ่มปริมาณของตัวริเริ่มก็จะมีผลต่อเสถียรภาพของยางคือ จะทำให้ยางไม่เสถียรต่อการปั่นกวนเพราะจะเกิดปฏิกิริยาอย่างรวดเร็ว ทำให้ยางจับตัวกันเป็นก้อน เปอร์เซ็นต์ของพอลิเมอร์ส่วนที่ไม่เกิดกราฟท์ (Free Polymer) จะเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีมอนอเมอร์ส่วนที่ไม่สามารถแพร่กระจายเข้าไปในอนุภาคของยาง และจะเกิดปฏิกิริยากันเองทำให้ไม่เกิดกราฟท์กับยางธรรมชาติ

4.4 ความสามารถในการแปรรูปและสมบัติในการคงรูป

การทดสอบสมบัติของยางผสมสูตร มีจุดประสงค์เพื่อวัดความสามารถในกระบวนการแปรรูป (Processibility)และทดสอบลักษณะของการสุกตัวของยางผสมสูตรเพื่อให้ทราบถึงสภาวะการผลิตที่เหมาะสม ซึ่งทำให้สามารถดำเนินการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ยางชนิดต่างๆได้จึงเกี่ยวข้องกับสมบัติในด้านความหนืด นั่นคือความหนืดเป็นสมบัติที่แสดงความสามารถในการต่อต้านการไหลตัวของยาง โดยสามารถวัดได้จากเครื่องวัดความหนืดแบบ Mooney หรือเครื่องวัดการไหลแบบพลาสติมิเตอร์ (Plastimeter) การทดสอบความหนืดทำได้ทั้งยางดิบ และยางผสมสูตร (Rubber Compounds) ที่ยังไม่ผ่านกระบวนการทำให้ยางคงรูป ในกรณีของยางดิบสมบัติด้านความหนืดจะเป็นตัวชี้ให้ทราบว่าจะต้องบดยางมากน้อยเพียงใด ยางที่มีความหนืดสูงหมายความว่าเป็นยางที่มีความแข็งมาก ดังนั้นผู้ใช้จะต้องบดยางให้นิ่มก่อนที่จะผสมสารเคมี นอกจากนี้สมบัติทางด้านความหนืด ยังเป็นตัวชี้ให้ทราบเกี่ยวกับสมบัติทางกายภาพขั้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ได้อีกด้วย กล่าวคือ ถ้ายางมีความหนืดต่ำมาก ผลิตภัณฑ์ยางที่ผลิตได้จะมีสมบัติทางกายภาพไม่ค่อยดี ส่วนในกรณีของยางที่ผสมสูตรแล้ว ค่าความหนืดที่ได้จะใช้เป็นตัวควบคุมความสม่ำเสมอของการผสมแต่ละครั้ง

4.4.1 การทดสอบความสามารถในกระบวนการผลิตโดยการวัดค่าความหนืดแบบ Mooney

นำยางธรรมชาติกราฟท์โคพอลิเมอร์ที่มีอัตราส่วนของน้ำยางธรรมชาติกับ อะคริโลไนไทรยล์ต่างๆที่ผ่านการผสมสูตรแล้วไปหาความหนืดแบบ Mooney ที่อุณหภูมิ 100 °ซ. เวลาในการให้ความร้อนก่อน 1 นาที และทำการวัดค่าความหนืดที่เวลา 4 นาที โดยใช้แกนหมุนขนาดใหญ่ ผลการทดลองดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าความหนืดแบบ Mooney ของยางธรรมชาติ ยางกราฟท์ และยางไนไทรยล์ หลังการผสมสูตร

ชนิดของยาง	ค่าความหนืดแบบ Mooney ML(1+4),100°ซ. หลังการผสมสูตร
ยางธรรมชาติ	66.5
ยางกราฟท์ 80:20	92.2
ยางกราฟท์ 70:30	98.7
ยางกราฟท์ 60:40	126.1
ยางกราฟท์ 50:50	132.8
ยางไนไทรยล์	188.2

จากตารางที่ 4.3 พบว่าเมื่อปริมาณอะคริโลไนไทรยล์ของยางธรรมชาติกราฟท์โคพอลิเมอร์เพิ่มมากขึ้น จะทำให้ยางผสมมีค่าความหนืดเพิ่มมากขึ้น เนื่องมาจากส่วนของพอลิอะคริโลไนไทรยล์แสดงสมบัติเทอร์โมพลาสติก คือมีความแข็งที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงสถานะคล้ายแก้ว (T_g) ดังเมื่อเพิ่มปริมาณของอะคริโลไนไทรยล์ในยางกราฟท์โคพอลิเมอร์ก็จะทำให้ยางผสมสูตรมีความหนืดเพิ่มมากขึ้น

4.4.2 การหาระยะเวลาในการคงรูปของยางผสมสูตร โดยใช้เครื่อง Curelastometer

สมบัติทางด้านการคงรูปเป็นเป็นการทดสอบสมบัติด้านการสุกตัว ซึ่งสามารถใช้ควบคุมคุณภาพ ในระหว่างกระบวนการผลิตและแสดงถึงเวลาที่เหมาะสมในระหว่างกระบวนการแปรรูป

และสามารถแสดงถึงสมบัติทางกายภาพบางประการของผลิตภัณฑ์ได้ สำหรับการทดลองได้นำยางธรรมชาติกราฟท์โคพอลิเมอร์ที่มีอัตราส่วนต่างๆของน้ำยางธรรมชาติ และอะคริโลไนไทรยล์มาทำการทดสอบได้ผลดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงระยะเวลาในการคงรูปของยางผสมสูตรของยางธรรมชาติ ยางกราฟท์และยางไนไทรยล์

ชนิดของยาง	CURELASTOMETER ที่ 150°ซ			
	ML(กก.·ซม.)	MH(กก.·ซม.)	$t_s(2)$(นาที)	$t_c(90)$(นาที)
ยางธรรมชาติ	5.5	21.0	2.3	3.4
ยางกราฟท์ 80:20	6.0	24.5	2.2	3.5
ยางกราฟท์ 70:30	7.0	26.0	2.8	3.5
ยางกราฟท์ 60:40	9.0	28.0	1.8	2.8
ยางกราฟท์ 50:50	11.0	32.0	1.8	2.8
ยางไนไทรยล์	9.0	25.0	3.6	4.8

– $t_s(2)$ คือเวลาเริ่มการสุกตัว,นาที

– $t_c(90)$ คือเวลาในการสุกตัว,นาที

ระยะเวลาเริ่มการสุกตัว (Scorch Time,$t_s(2)$) และ ระยะเวลาการสุกตัว (Cure time,$t_c(90)$ โดยทั่วไปจะขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของสารเร่งที่ใช้โดยตรง ซึ่งใน

การศึกษาครั้งนี้ได้ควบคุมชนิด และปริมาณสารตัวเร่ง ทำให้ระยะเวลาของการเริ่มสุกตัวและระยะเวลาในการสุกตัวที่ได้จากการทดลอง เป็นผลมาจากชนิดของยางที่ใช้ในยางผสมสูตรแต่ละชนิดที่ทำปฏิกิริยาการเชื่อมโยงกับระบบการสุกตัวที่ควบคุมไว้

จากผลการทดสอบดังตารางที่ 4.4 พบว่า เมื่อปริมาณของอะคริโลไนไทรยล์เพิ่มมากขึ้นในยางสังเคราะห์กราฟท์โคพอลิเมอร์ จะทำให้ระยะเวลาเริ่มการสุกตัว และ ระยะเวลาการสุกตัวจะมีค่าลดลง สามารถอธิบายได้ว่า เนื่องจาก ปริมาณพันธะคู่ในยางธรรมชาติกราฟท์โคพอลิเมอร์มีปริมาณน้อยลง เพราะว่าพันธะคู่บางส่วนในยางธรรมชาติได้ทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์อะคริโลไนไทรยล์ในระหว่างกระบวนการกราฟท์โคพอลิเมอไรเซชัน

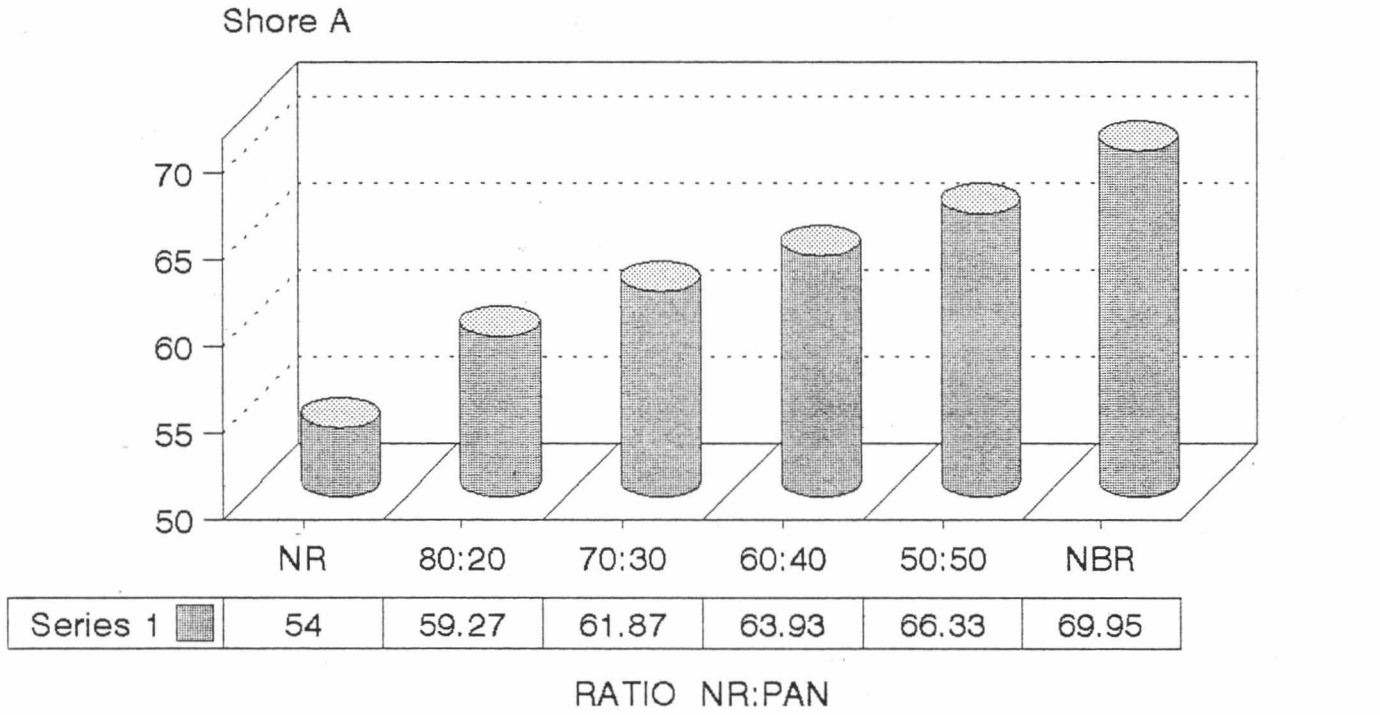
4.5 สมบัติต่างๆของยางธรรมชาติ

4.5.1 ความแข็ง (Hardness)

เมื่อนำยางผสมสูตรที่ผ่านการคงรูปแล้วไปวัดความแข็งโดยใช้ Durometer ชนิด shore Aได้ผลดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าความแข็งของยางธรรมชาติ ยางกราฟท์ และยางไนไทรยล์

ชนิดของยาง	ความแข็ง (Shore A)
ยางธรรมชาติ	54.0
ยางกราฟท์ 80:20	59.27
ยางกราฟท์ 70:30	61.87
ยางกราฟท์ 60:40	63.93
ยางกราฟท์ 50:50	66.33
ยางไนไทรยล์	69.95



รูปที่ 4.1 : แผนภูมิแท่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งของยางธรรมชาติ
และอะคริโลไนไทรยล์

จากผลการทดสอบ ตามตารางที่ 4.5 พบว่าความแข็งของยางกราฟท์โคพอลิเมอร์จะมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นตามปริมาณของอะคริโลไนไทรอล์ในยางธรรมชาติกราฟท์โคพอลิเมอร์ อัตราส่วนของอะคริโลไนไทรอล์มากขึ้น ก็จะมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้น ซึ่งหมายความว่า ยางผสมสูตรที่มีค่าความแข็งมาก ก็จะต้องใช้แรงมากในการทำให้ยางผสมสูตรนั้นเสียรูป โดยทั่วไปความแข็งจะขึ้นอยู่กับจำนวนการเชื่อมโยงในโมเลกุลของยาง หรือองศาการเชื่อมโยงของยาง ซึ่งจะไม่ขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางเคมีของโมเลกุลยาง และไม่ขึ้นอยู่กับชนิดของพันธะเคมีที่ใช้เชื่อมโยง แต่สำหรับในการทดสอบความแข็งของยางกราฟท์โคพอลิเมอร์ในโครงงานพิเศษฉบับนี้ที่เพิ่มขึ้นนั้นไม่ใช่ผลอันเนื่องมาจากองศาของการเชื่อมโยง แต่เป็นผลอันเนื่องมาจากความแข็งของยางกราฟท์โคพอลิเมอร์เองซึ่งเป็นพอลิเมอร์ร่วมระหว่างน้ำยางธรรมชาติกับพอลิอะคริโลไนไทรอล์ซึ่งมีค่าความแข็งสูง

4.5.2 สมบัติเชิงกล (Mechanical Property)

- ความแข็งแรงดึง (Tensile Strength)

  เมื่อนำยางที่ผ่านการทำให้คงรูปแล้วมาทดสอบสมบัติเชิงกลจะได้ผลดังตารางที่ 4.6

- มอดูลัส 300 (Modulus 300)

  เมื่อนำยางที่ผ่านการทำให้คงรูปแล้วมาทดสอบสมบัติเชิงกลจะได้ผลดังตารางที่ 4.6

- เปอร์เซ็นต์การยืด ณ.จุดขาด (% Elongation at Break)

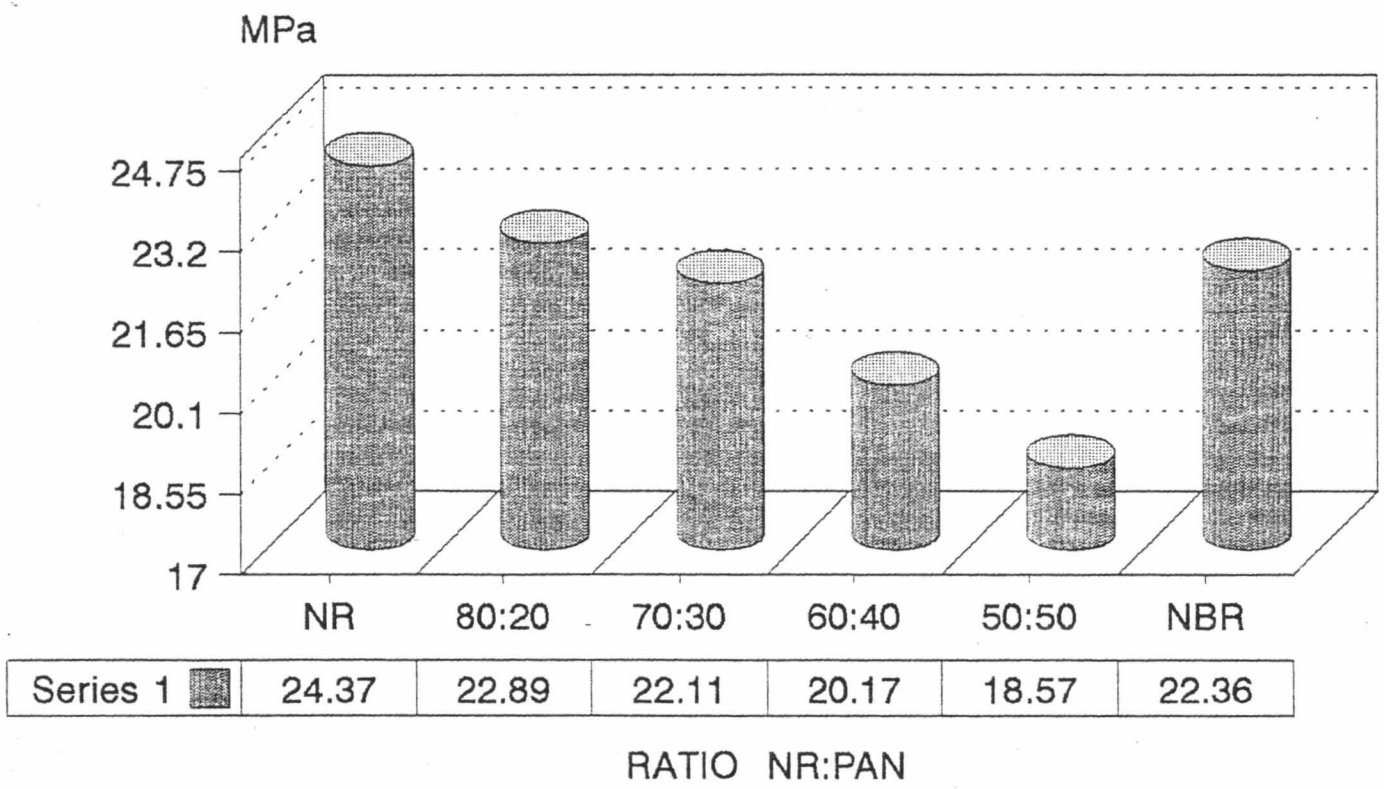
  เมื่อนำยางที่ผ่านการทำให้คงรูปแล้วมาทดสอบสมบัติเชิงกลจะได้ผลดังตารางที่ 4.6

- ความทนทานต่อการฉีกขาด (Tear Resistance)

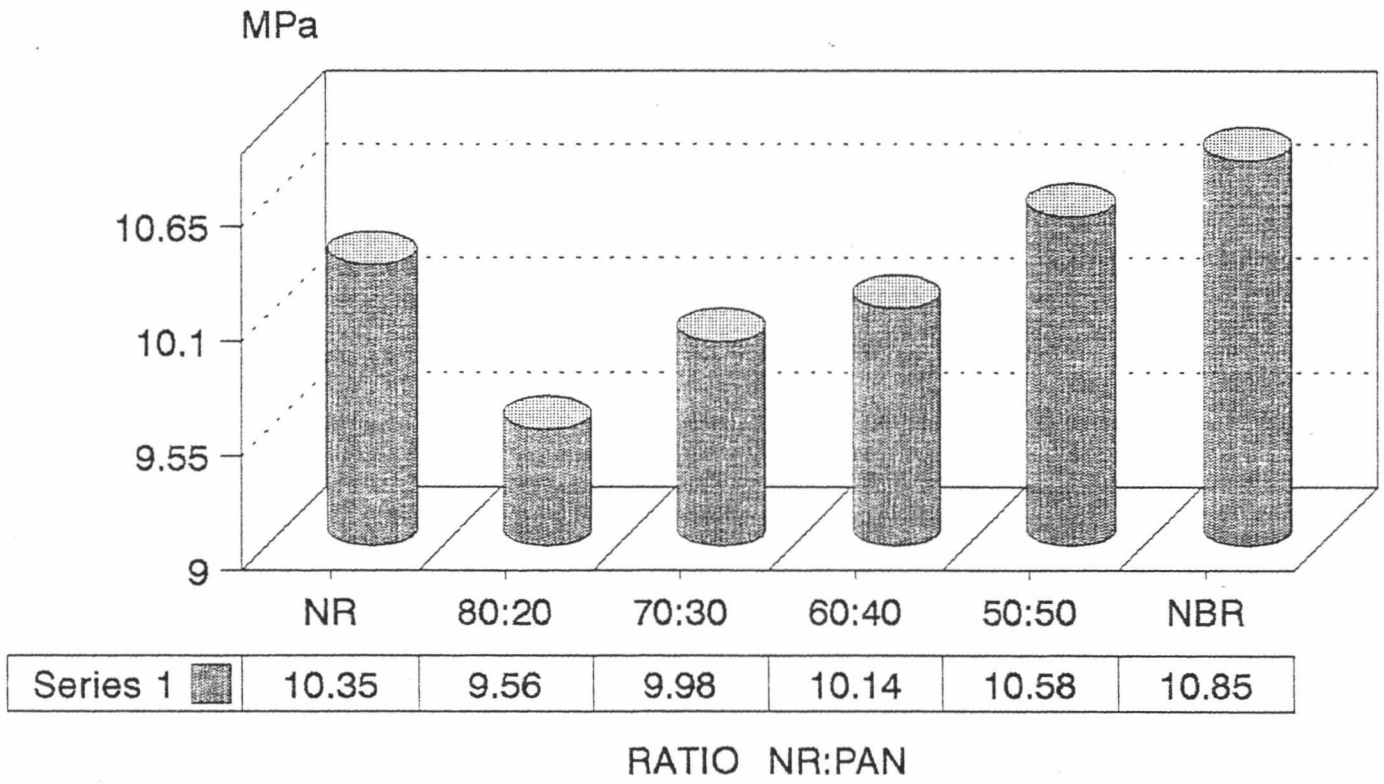
  นำยางผสมสูตรที่ผ่านการทำให้คงรูปแล้ว มาขึ้นรูปสำหรับการทดสอบ จากนั้นนำมาทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแรงดึง ผลได้แสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงสมบัติของยางธรรมชาติ ยางกราฟท์โคพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้ และยางไนไทรยล์ เมื่อทดสอบความแข็งแรงดึง มอดูลัส 300 เปอร์เซ็นต์การยืด ณ.จุดขาด และ ความทนทานต่อการฉีกขาด

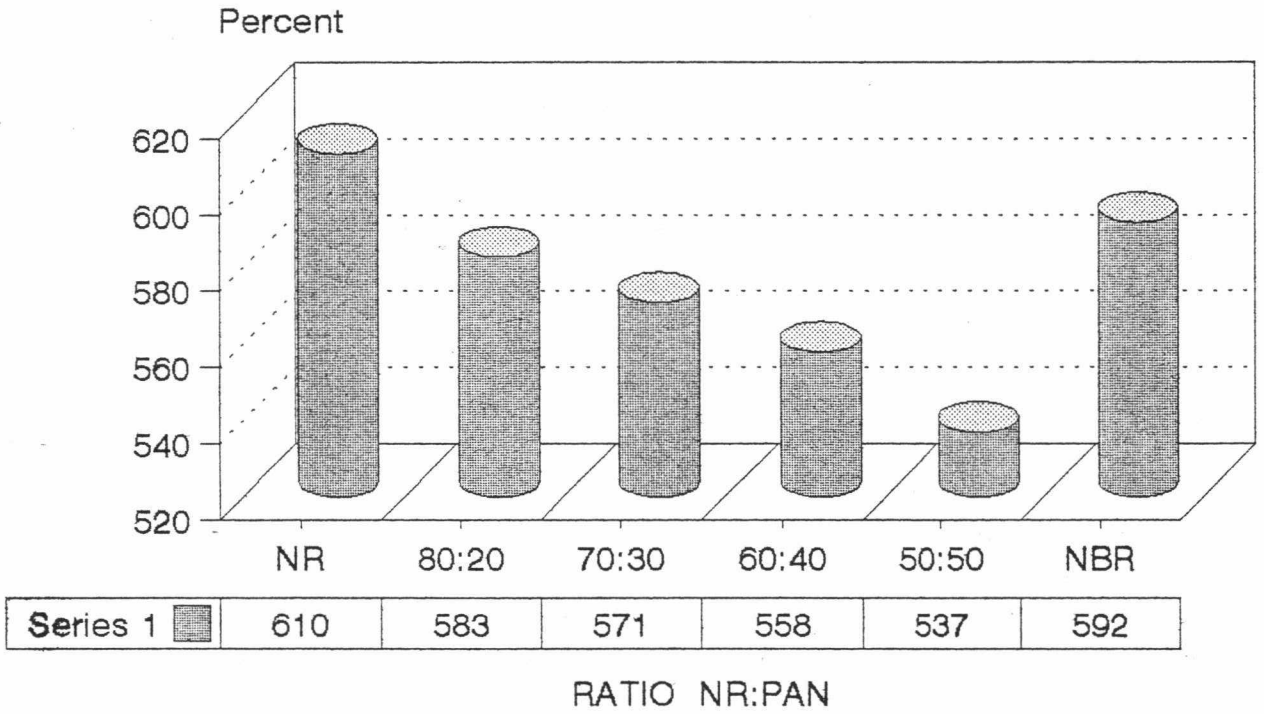
ชนิดของยาง	ความแข็งแรงดึง (MPa)	มอดูลัส 300 (MPa)	เปอร์เซ็นต์การยืด ณ.จุดขาด (%)	ความทนทานต่อการฉีกขาด (kN/m)
ยางธรรมชาติ	24.37	10.35	610	43.1
ยางกราฟท์ 80:20	22.89	9.56	583	38.5
ยางกราฟท์ 70:30	22.11	9.98	571	36.9
ยางกราฟท์ 60:40	20.17	10.14	558	37.4
ยางกราฟท์ 50:50	18.57	10.58	537	35.7
ยางไนไทรยล์	22.36	10.85	592	41.3



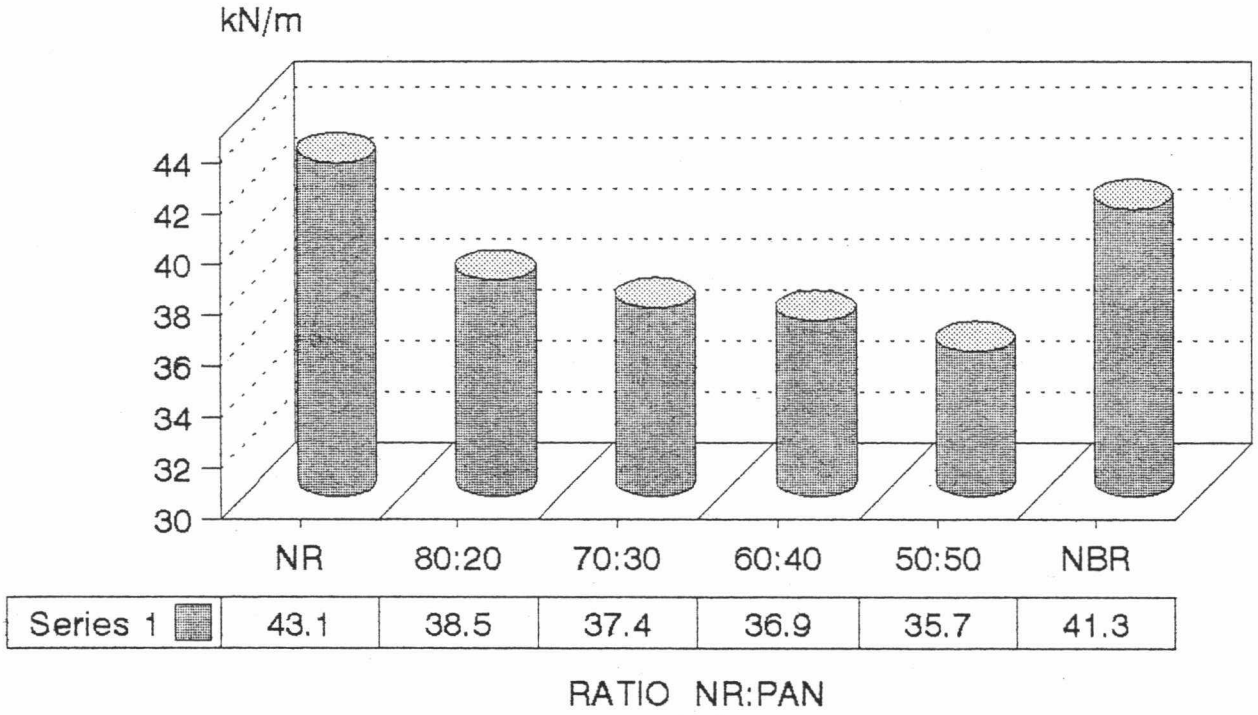
รูปที่ 4.2 : แผนภูมิแท่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึง ของยางธรรมชาติ ยางกราฟท์ และยางไนไทรยล์



รูปที่ 4.3 : แผนภูมิแท่งแสดงความสัมพันธ์ ระหว่างมอดูลัส 300 ของยางธรรมชาติ ยางกราฟท์ และยางไนไทรยล์



รูปที่ 4.4 : แผนภูมิแท่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยืด ณ. จุดขาด ของยางธรรมชาติ ยางกราฟท์ และยางไนไทรยล์



รูปที่ 4.5 : แผนภูมิแท่งแสดงความสัมพันธ์ ระหว่างความทนทานต่อการฉีกขาด
ของยางธรรมชาติ ยางกราฟท์ และยางไนไทรยล์

จากผลการทดสอบดังตารางที่ 4.6 พบว่า

1. ค่าความแข็งแรงดึงของยางกราฟท์โคพอลิเมอร์มีค่าลดลงจากยางธรรมชาติ เนื่องมาจากสายโซ่ของพอลิอะคริโลไนไทรยล์ที่เป็นโซ่สาขาของยางธรรมชาติมีมากขึ้น ซึ่งทำให้ขัดขวางวัฏภาคของยางธรรมชาติ ทำให้สายโซ่โมเลกุลของยางธรรมชาติไม่สามารถเคลื่อนโซ่โมเลกุลเข้าหากันได้ จึงทำให้สายโซ่โมเลกุลของยางธรรมชาติไม่สามารถเกิดผลึกได้อย่างเต็มที่ จึงทำให้ความแข็งลดลง

2. ค่ามอดูลัส 300 มีค่ามากขึ้นตามลำดับอัตราส่วน โดยปกติแล้วค่าโมดูลัส ณ.จุดที่ยืดยางออกจุดหนึ่งๆจะไม่ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบทางเคมีของโมเลกุลในยาง และไม่ขึ้นอยู่กับชนิดของพันธะเคมีที่เชื่อมโยง แต่จะขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุลของยางในบริเวณระหว่างจุดเชื่อมโยงโมเลกุล 2 จุด นั่นคือ จุดเชื่อมโยงโมเลกุลยิ่งใกล้กันสายโซ่โมเลกุลที่ถูกเชื่อมยิ่งสั้น น้ำหนักโมเลกุลบริเวณนี้ก็ยิ่งน้อย ค่าโมดูลัสที่การยืดยางออกจุดๆหนึ่งก็จะยิ่งสูงขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงกล่าวได้ว่ายางกราฟท์โคพอลิเมอร์ที่อัตราส่วนของอะคริโลไนไทรยล์สูงขึ้น จะมีการเชื่อมโยงกันมาก จึงเป็นผลทำให้ที่อัตราส่วนสูงๆมีค่ามอดูลัสสูงขึ้น

3.เปอร์เซ็นต์การยืด ณ.จุดขาด จะมีค่าลดลง เมื่ออัตราส่วนของอะคริโลไนไทรยล์ในยางกราฟท์มีค่าสูงขึ้น เนื่องมาจากยางมีองศาการเชื่อมโยงสูงขึ้น เมื่อเป็นเช่นนี้จึงจะใช้ยางที่มีค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ.จุดขาดต่ำในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความคงรูปสูง

4.ความทนทานต่อการฉีกขาด มีค่าลดลง เนื่องจากปริมาณพันธะคู่ในยางธรรมชาติมีน้อยลงเมื่อมีการทำปฏิกิริยากราฟท์โคพอลิเมอไรเซชันมากขึ้น จึงเหลือพันธะคู่ในการทำวัลคาไนซ์ (หรือการคงตัว) น้อยลง จึงเป็นเหตุให้ยางกราฟท์มีความทนทานต่อการฉีกขาดลดลง

- ความต้านทานการขัดถู (Abrasion Resistance)

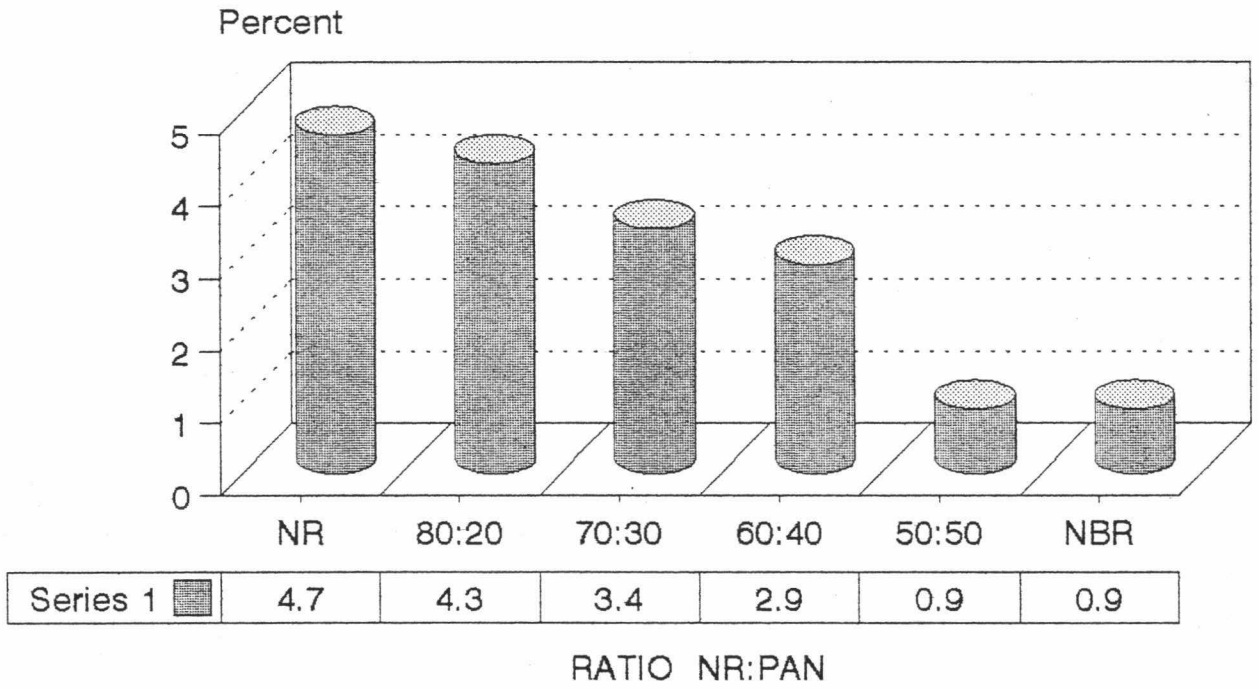
นำยางผสมสูตรที่ผ่านการทำให้คงรูปแล้วมาขึ้นรูปแบบ Akron แล้วนำไปทดสอบความต้านทานการขัดถูด้วยเครื่อง Croydon-Akron แล้วชั่งน้ำหนักที่สูญหายไปที่ความเร็ว3000 รอบต่อนาที จากนั้นนำไปคำนวณหาค่าปริมาตรที่หายไปต่อ 3000 รอบ ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.7

– ความทนทานต่อน้ำมัน (Oil Resistance)

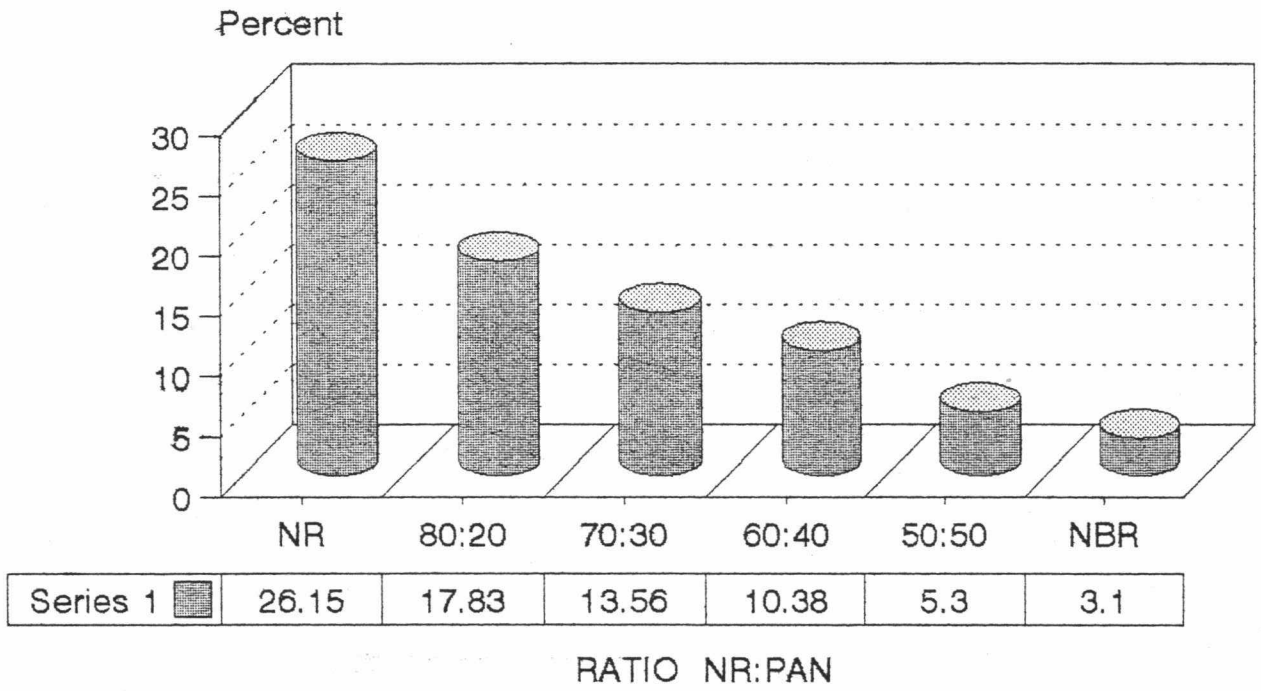
เมื่อนำยางผสมสูตรที่ผ่านการทำให้คงรูปแล้ว มาตัดเป็นสี่เหลี่ยมที่มีขนาดแน่นอนเพื่อวัดปริมาตร จากนั้นนำยางไปแช่ในน้ำมัน 15 วัน แล้วทำการวัดปริมาตรที่เปลี่ยนไปเพื่อหาค่าความทนทานต่อน้ำมันในรูปของปริมาตรที่เปลี่ยนไป ซึ่งได้ผลดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงสมบัติความต้านทานต่อการขัดถู และความทนทานต่อน้ำมันของยางธรรมชาติ ยางกราฟท์ และยางไนไทรยล์

ชนิดของยาง	เปอร์เซ็นต์ปริมาตรที่สูญหาย (% volume loss)	ความทนทานต่อน้ำมัน (%ปริมาตรที่เปลี่ยนไป)
ยางธรรมชาติ	4.7	26.15
ยางกราฟท์ 80:20	4.3	17.83
ยางกราฟท์ 70:30	3.4	13.56
ยางกราฟท์ 60:40	2.9	10.38
ยางกราฟท์ 50:50	0.9	5.30
ยางไนไทรยล์	0.9	3.10



รูปที่ 4.6 : แผนภูมิแท่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ปริมาตรที่สูญหาย
ของยางธรรมชาติ ยางกราฟท์ และยางไนไทรยล์



รูปที่ 4.7 : แผนภูมิแท่งแสดงความสัมพันธ์ ระหว่างเปอร์เซ็นต์ปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงไป ของยางธรรมชาติ ยางกราฟท์ และยางไนไทรยล์

จากผลการทดสอบดังตารางที่ 4.7 จะพบว่า

1. เปอร์เซ็นต์ปริมาตรที่สูญหาย มีค่าลดลง แสดงว่ายางธรรมชาติถูกขัดถูออกไปมากกว่ายางกราฟท์ที่สังเคราะห์ได้ เนื่องมาจาก ยางกราฟท์ที่สังเคราะห์ได้มีความเป็นเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์มากขึ้น

2. ความทนทานต่อน้ำมันมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องมาจาก โมเลกุลของอะคริโลไนไทรยล์มีหมู่ไซยาไนด์ (Cyanide,-CN) ซึ่งทำให้โครงสร้างของยางกราฟท์มีความเป็นขั้วสูงขึ้น ดังนั้นเมื่อนำยางธรรมชาติกราฟท์โคพอลิเมอร์ไปแช่ในน้ำมันซึ่งไม่มีความเป็นขั้ว จึงทำให้ยางกราฟท์โคพอลิเมอร์มีความสามารถในการทนน้ำมันสูง

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการสังเคราะห์ ทดสอบสมบัติ และการผสมสูตรของยางธรรมชาติกราฟท์โคพอลิเมอร์กับอะคริโลไนไทรยล์ซึ่งเป็นเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ชนิดหนึ่ง สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. ขั้นตอนการสังเคราะห์กราฟท์โคพอลิเมอร์ สามารถสรุปได้ดังนี้

สภาวะที่ใช้ในการสังเคราะห์คือ

- อุณหภูมิ : 23°ซ.-25°ซ.
- ตัวริเริ่มปฏิกิริยา : สารผสมระหว่าง เทอร์เทียรีบิวทิลไฮโดรเปอร์ออกไซด์กับเตตราเอทิลีนเพนทามีน
- สารเสริมเสถียรภาพ : โมดิคอล เอส (Modical S)
- เวลาในการปั่นกวน : 1 ชั่วโมง
- บรรยากาศ : ไนโตรเจน
- มอนอเมอร์ : อะคริโลไนไทรยล์

เมื่อทำการสังเคราะห์ยางธรรมชาติกราฟท์โคพอลิเมอร์ โดยใช้สภาวะดังข้างต้น โดยการสังเคราะห์ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำยางธรรมชาติต่ออะคริโลไนไทรยล์ เป็นดังนี้

- 80:20 (ส่วนโดยโมล)
- 70:30 (ส่วนโดยโมล)
- 60:40 (ส่วนโดยโมล)
- 50:50 (ส่วนโดยโมล)

ปรากฏว่าได้เปอร์เซ็นต์ยางกราฟท์โคพอลิเมอร์สูงสุดที่อัตราส่วน 80:20 คือ 87.46 % และ เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงมอนอเมอร์อะคริโลไนไทรยล์สูงสุดที่อัตราส่วน

80:20 คือ 95.08 %

2.ขั้นตอนการนำยางกราฟท์โคพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้ไปผสมสูตร สามารถสรุปได้ดังนี้

2.1 สมบัติด้านความหนืด ซึ่งสามารถใช้เป็นตัวตรวจสอบสภาพการแปรรูปได้คือ ถ้ายางผสมสูตรมีค่าความหนืดมาก แสดงให้เห็นว่าสภาพในการผสมหรือแปรรูปจะไม่ดีเท่ากับยางผสมสูตรที่มีค่าความหนืดต่ำ สำหรับอัตราส่วนของยางผสมสูตรที่สามารถแปรรูปได้ดีที่สุดคือ อัตราส่วน 80:20 คือมีค่าความหนืดเท่ากับ 92.2 จากผลการทดลองพบว่า ยางกราฟท์โคพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้มีค่าความหนืดสูงกว่ายางธรรมชาติแต่ต่ำกว่ายางไนไทรยล์ ดังตารางที่ 5.1

2.2 สมบัติด้านการคงรูป ที่พิจารณามี 2 ประการ คือ

2.2.1 เวลาเริ่มการสุกตัว $t_s(2)$ คือเวลาก่อนการคงรูป ถ้ายางผสมสูตรใดมีเวลาเริ่มการสุกตัวสูง แสดงว่ายางชนิดนั้นสามารถนำไปผลิตผลิตภัณฑ์ยางที่มีรูปร่างซับซ้อนได้ดีกว่ายางที่มีค่าเวลาเริ่มการคงรูปต่ำ จากผลการทดลอง ยางกราฟท์โคพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้จะมีค่าเวลานี้อยู่ระหว่างเวลาของยางธรรมชาติและยางไนไทรยล์ อัตราส่วนที่มีค่าเวลานี้สูงที่สุดคือ อัตราส่วน 70:30 ดังตารางที่ 5.1

2.2.2 เวลาในการสุกตัว $t_c(90)$ คือเวลาที่ยางใช้ในการคงรูปถ้าหากใช้เวลาในการบ่ม (Cure) น้อยกว่าค่าเวลานี้ผลิตภัณฑ์ยางจะยังไม่คงรูป ซึ่งจะมีผลทำให้สมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ยางไม่ดี จากผลการทดลองค่าเวลาของยางธรรมชาติกราฟท์โคพอลิ-เมอร์ที่สังเคราะห์ได้มีค่าอยู่ระหว่างยางธรรมชาติกับยางไนไทรยล์ อัตราส่วนที่มีค่าเวลานี้สูงที่สุดคือ อัตราส่วน 80:20 และ 70:30 ดังตารางที่ 5.1

2.3 สมบัติต่างๆของยางผสมสูตร ได้แก่

2.3.1 ความแข็ง ยางธรรมชาติกราฟท์โคพอลิเมอร์จะมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นจากยางธรรมชาติแต่มีค่าน้อยกว่ายางไนไทรยล์ แสดงว่าต้องใช้แรงมากในการทำให้ยางที่

สังเคราะห์ได้เสียรูป ดังตารางที่ 5.1

2.3.2 ความแข็งแรงดึง ยางธรรมชาติกราฟท์โคพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้มีค่าลดลงจากยางธรรมชาติและยางไนไทรยล์ ดังตารางที่ 5.1

2.3.3 มอดูลัส 300 ยางธรรมชาติกราฟท์โคพอลิเมอร์มีค่าสูงขึ้นจากยางธรรมชาติ ตามลำดับ แต่ต่ำกว่ายางไนไทรยล์ ดังตารางที่ 5.1

2.3.4 เปอร์เซ็นต์การยืด ณ.จุดขาดจะมีค่าลดลงเหมาะสำหรับนำไปผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความคงรูป เพราะมีค่าการยืดน้อยลง ดังตารางที่ 5.1

2.3.5 ความทนทานต่อการฉีกขาดลดลง ดังตารางที่ 5.1

2.3.6 ความทนทานต่อการขัดถู มีค่าเพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 5.1

2.3.7 ความทนทานต่อน้ำมัน ยางธรรมชาติกราฟท์โคพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้จะมีค่าความทนต่อน้ำมันสูง เหมาะในการนำไปผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องการการทนน้ำมัน เช่น ท่อส่งน้ำมัน หรือสารเคมี เป็นต้น ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 แสดงสมบัติต่างๆของยางธรรมชาติ ยางกราฟท์โคพอลิเมอร์ และยางไนไทรยล์

สมบัติที่ทดสอบ	ชนิดของยาง					
	NR	NR-PAN 80:20	NR-PAN 70:30	NR-PAN 60:30	NR-PAN 50:50	NBR
ความหนืดแบบ Mooney	66.5	92.2	98.7	126.1	132.8	188.2
เวลาเริ่มการสุกตัว (นาที)	2.3	2.2	2.8	1.8	1.8	3.6
เวลาสุกตัว (นาที)	3.4	3.5	3.5	2.8	2.8	2.8
ความแข็ง(Shore A)	54.0	59.27	61.87	63.93	66.33	69.9
ความแข็งแรงดึง(MPa)	24.37	22.89	22.11	20.17	18.57	23.36
มอดูลัส 300 (MPa)	10.35	9.56	9.98	10.14	10.58	10.85
เปอร์เซ็นต์การยืดณ.จุดขาด	610.0	583.0	571.0	558.0	537.0	592.0
ความทนทานต่อการฉีกขาด (kN/m)	43.1	38.5	36.9	37.4	35.7	41.3
ความทนทานต่อการขัดถู (%Volume Loss)	4.7	4.3	3.4	2.9	0.9	0.9
ความทนทานต่อน้ำมัน (%ปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงไป)	26.15	17.83	13.56	10.38	5.30	3.1

ข้อเสนอแนะ

1. จากผลการทดลองจะพบว่า ยางธรรมชาติกราฟท์โคพอลิเมอร์มีเปอร์เซ็นต์กราฟท์สูงไม่ค่อยมาก ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงชนิดและปริมาณของตัวริเริ่ม สารเสริม-เสถียรภาพ และตัวเร่งตัวริเริ่ม

2. ควรทำการศึกษาถึงสภาวะในการสังเคราะห์ยางธรรมชาติกราฟท์โคพอลิเมอร์ โดยการขยายขนาดของการผลิตเพื่อใช้เป็นแนวทางในการผลิตในเชิงอุตสาหกรรม

3. ควรทำการศึกษาการเพิ่มสมบัติเชิงกลของยาง โดยการนำยางธรรมชาติกราฟท์โค-พอลิเมอร์ไปเป็นวัตถุดิบในการผสมร่วมกับยางชนิดอื่นๆ

4. การใช้ยางธรรมชาติกราฟท์โคพอลิเมอร์ในการผสมสูตรเพื่อให้ได้ยางแข็งพบว่าสมบัติเชิงกลไม่ค่อยดี ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาถึงการพัฒนาสูตรยางผสม โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารทำให้ยางสุกตัว หรือการเชื่อมโยง

5. ควรทำการศึกษาถึงการพัฒนาสมบัติของยางในด้านอื่นๆ เช่น การทนทานต่อความร้อน ความทนทานต่อการซึมของก๊าซ ความต้านทานต่อโอโซน ความทนไฟ เป็นต้น

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการคำนวณพอลิเมอร์ที่ไม่เกิดกราฟท์ (Pure Polymer) ยางที่ไม่เกิดกราฟท์ (Pure Rubber) และเปอร์เซ็นต์กราฟท์โคพอลิเมอร์ เมื่อสกัดด้วย เมทิล เอทิลคีโทน และปิโตรเลียมอีเทอร์ ของยางธรรมชาติกราฟท์โคพอลิเมอร์ที่มีอะคริโลไนไทรยล์ 20% โดยโมล จากตารางที่ 4.2

น้ำหนักยางเริ่มต้น = 1.9973 g.

น้ำหนักยางที่หายไปจากการสกัดด้วย MEK = 0.0629 g.

น้ำหนักยางที่หายไปจากการสกัดด้วยปิโตรเลียมอีเทอร์ = 0.1875 g.

น้ำหนักยางที่เหลือ = 1.7469 g.

พอลิเมอร์ที่ไม่เกิดกราฟท์ (Pure Polymer) $= \frac{0.0629}{1.9973} \times 100$

$= 3.15\ \%$

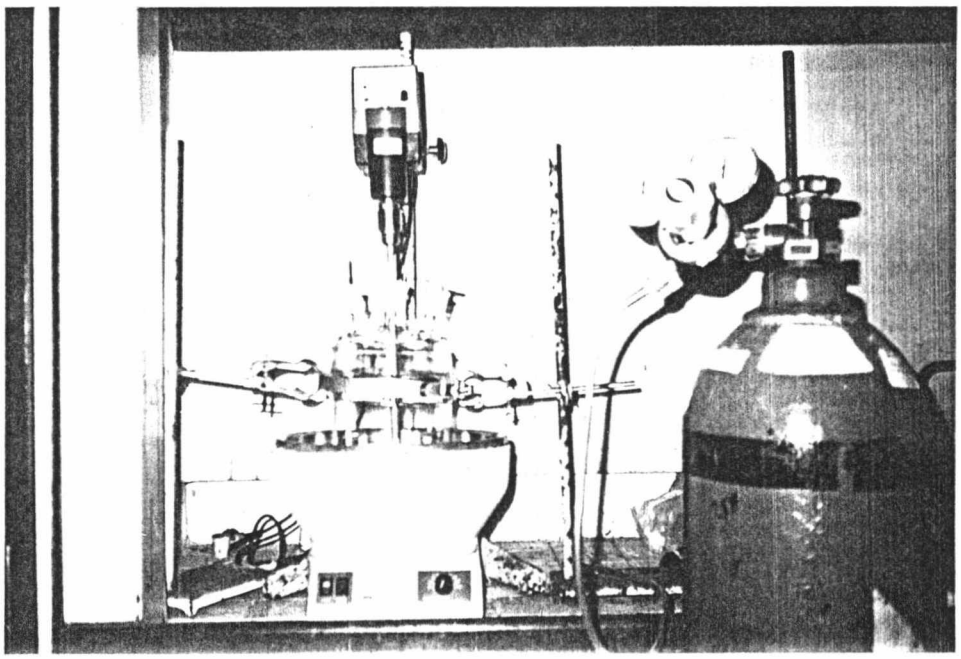
ยางที่ไม่เกิดกราฟท์ (Pure Rubber) $= \frac{0.1875}{1.9973} \times 100$

$= 9.39\ \%$

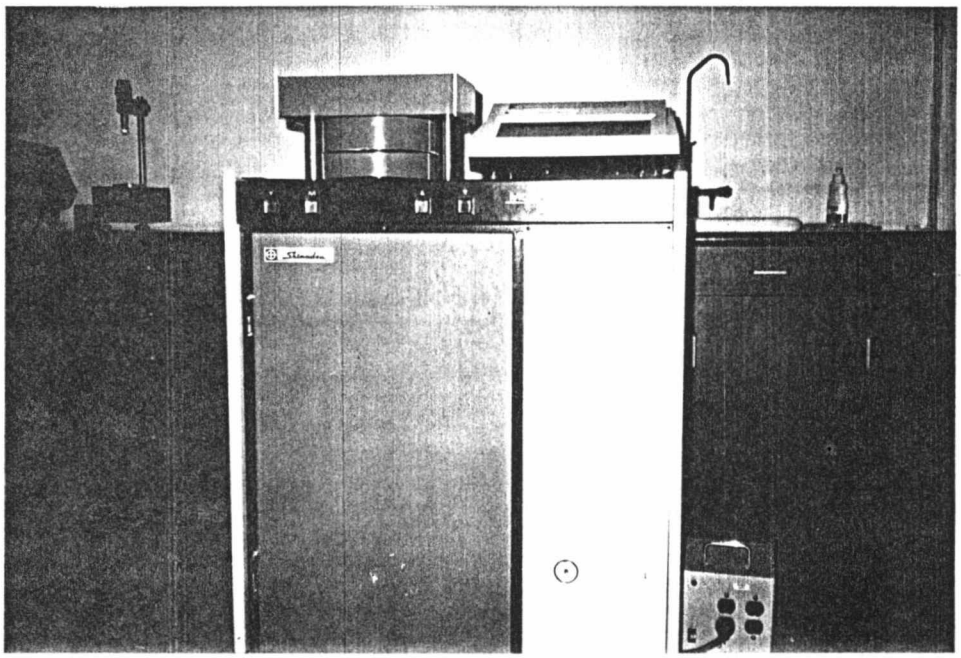
เปอร์เซ็นต์ของกราฟท์โคพอลิเมอร์ $= \frac{1.7469}{1.9973} \times 100$

$= 87.46\ \%$

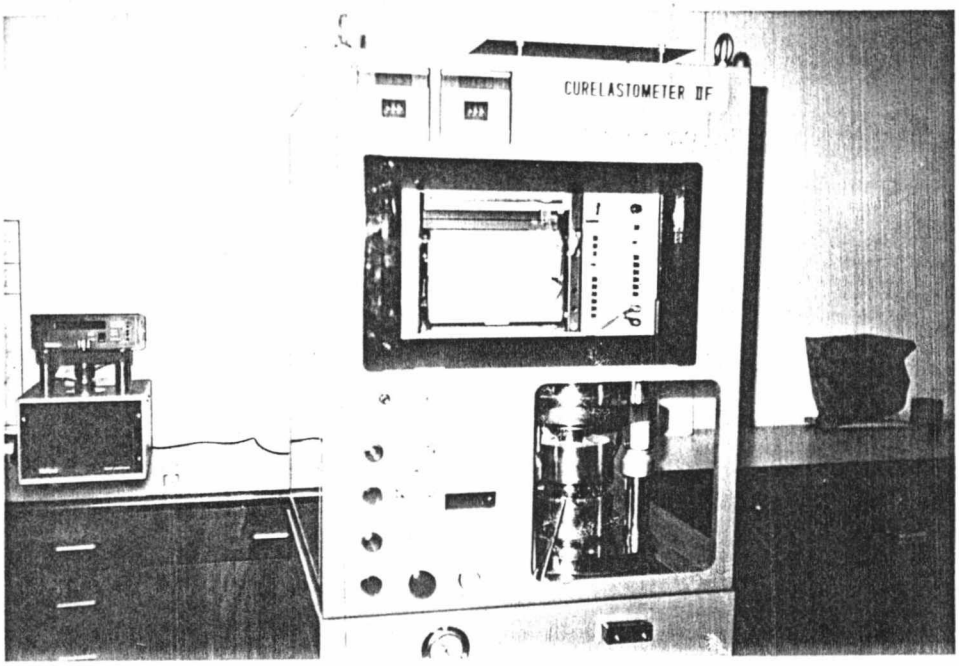
ภาคผนวก ฆ



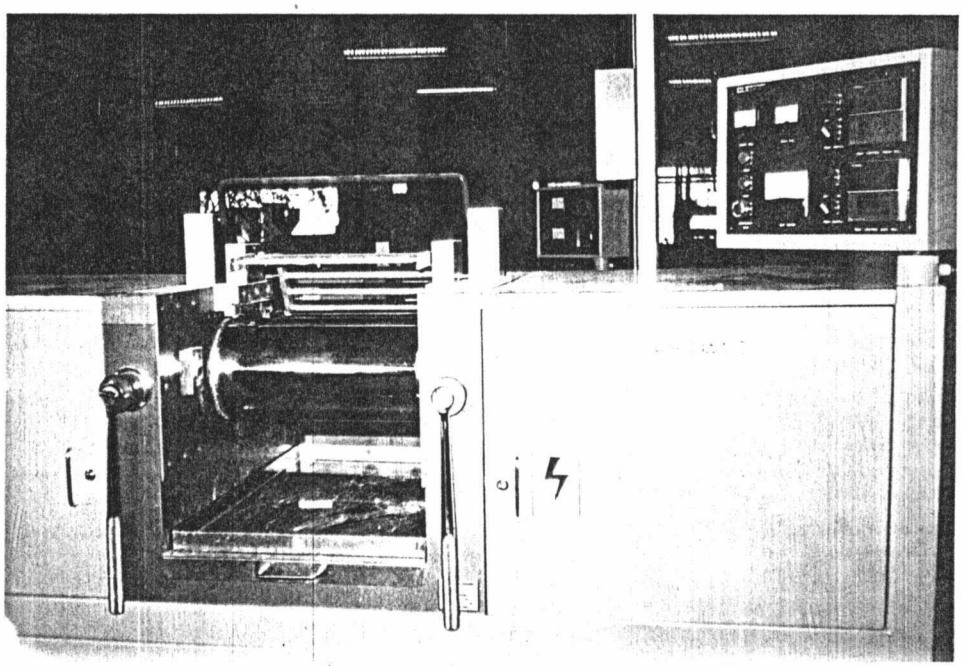
รูปที่ 1 แสดงการจัดเครื่องมือการสังเคราะห์ยางกราฟท์โคพอลิเมอร์



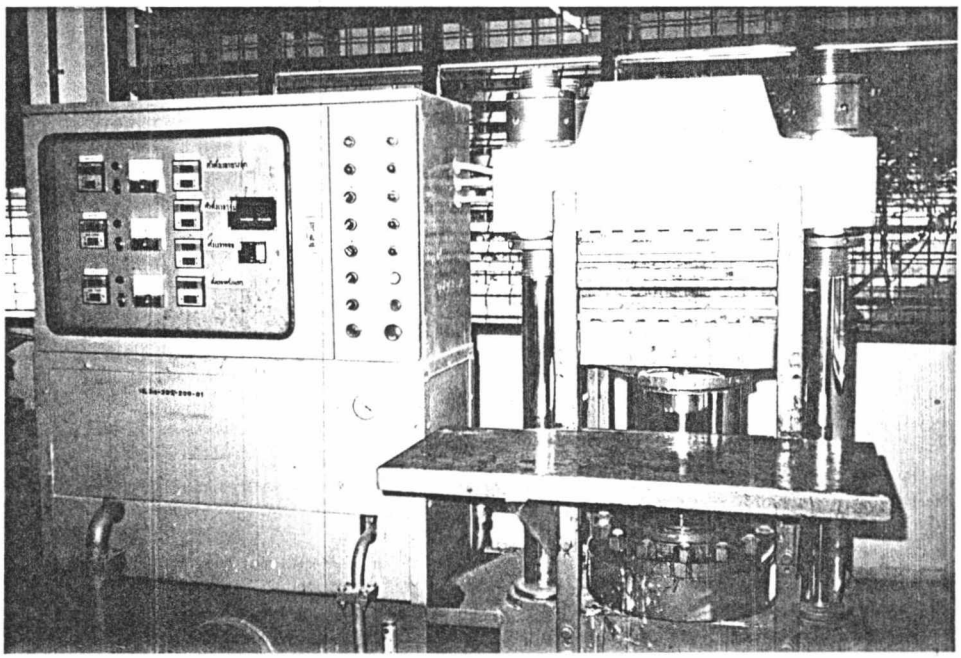
รูปที่ 2 แสดงเครื่องวัดความหนืดแบบ Mooney รุ่น SMV-201 บริษัท Shimadsu จำกัด



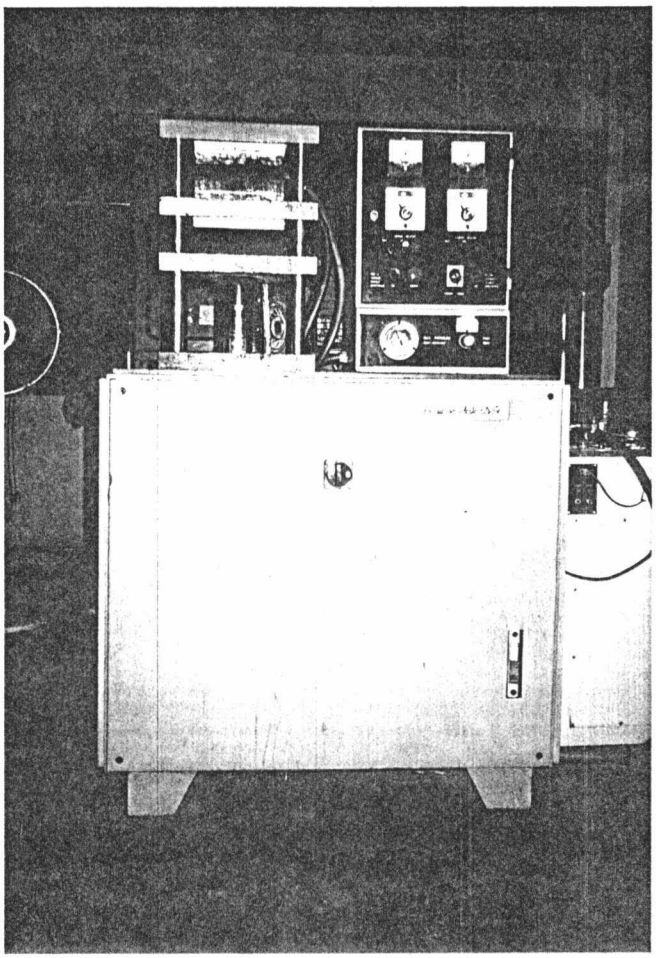
รูปที่ 3 แสดงเครื่องวัดการคงรูปของยาง (Curelastometer)



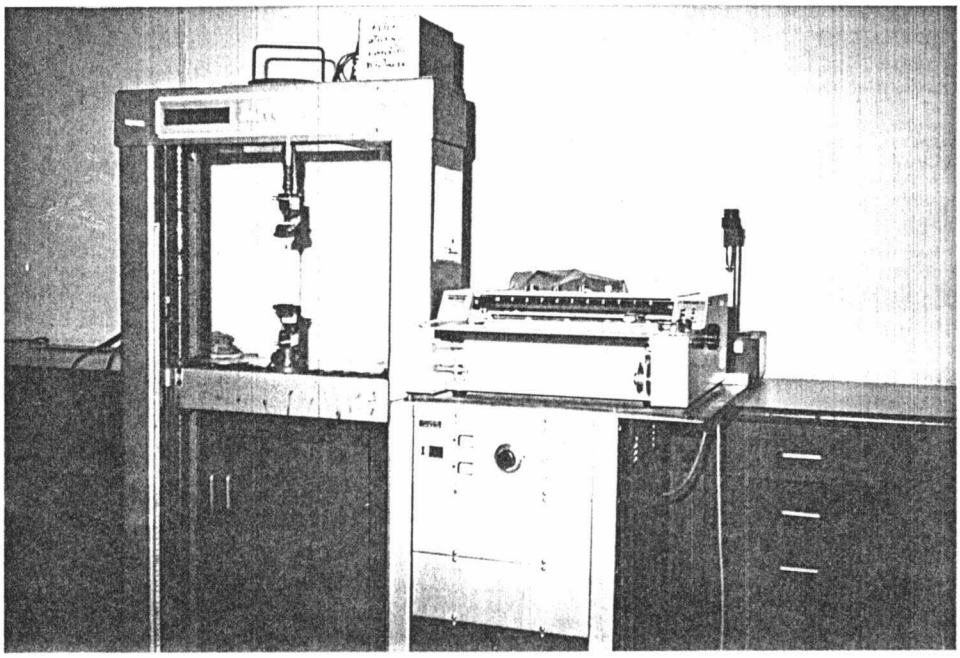
รูปที่ 4 แสดงเครื่องรีดยางแบบ 2 ลูกกลิ้ง



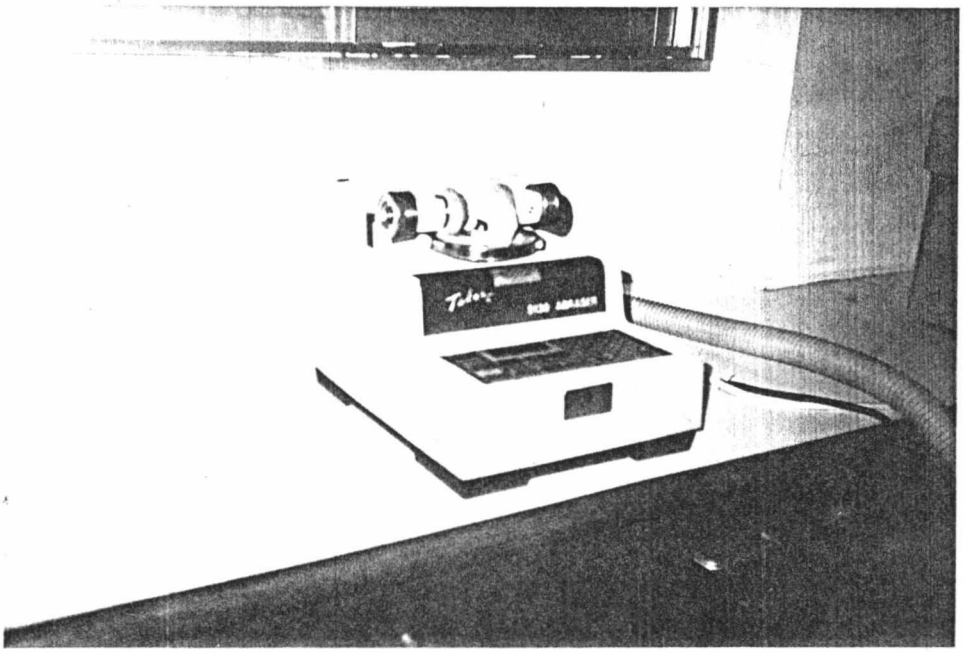
รูปที่ 5 แสดงเครื่องอัดร้อน รุ่น LP20 บริษัท Labtech Engineering จำกัด



รูปที่ 6 เครื่องอัดเย็น บริษัท Labtech Engineering จำกัด



รูปที่ 7 แสดงเครื่องทดสอบความแข็งแรงดึง รุ่น 100-C บริษัท Shimadsu จำกัด



รูปที่ 8 แสดงเครื่องทดสอบความทนทานต่อการสึกกร่อน

บรรณานุกรม

1. Ceresa,R.J. Block and Graft Copolymerisation,Wiley & Son ; London, p.47-82,1973.
2. Bottaerd,H.A.J. and Tregear,G.W.Graft Copolymer Wiley Interscience; New York , 1962.
3. Hourston,D.J. and Romaine,J. "Modification of Natural Rubber Latex -I. Natural Rubber-Polystyrene Composite Latices Synthesized using an Amine-Activated" Eur. Poly. J. 25(7-8),695-700.,1989.
4. Erbil,H.Y. " Graft Copolymerisation of some Hydrophilic Vinyl Monomer in natural Rubber " J. Nat. Rubber Res." 1(4),p.83-94,1986.
5. Blow,C.M. , Rubber Technology and Manufacture ,2nd ed.,Butterwarth, 1982.
6. Morton, M. , Rubber technology, Van Nostrand Reinhold Company.,New York, 1973.
7. Palmgren , H."Processing Conditions in the Batch-Operated Internal Mixer". Rubber Chem. Technol. , 48(3), 471-472.,1975.
8. American Society of Testing Materials.(1988)," Rubber Viscosity and Vulcanisation Characteristics (Mooney Viscometer)" , ASTM.D-1646-87.
9. American Society of Testing Materials (1988)," Rubber Properties VULCANISATION using oscillating disk cure meter", ASTM. D-2084-87.
10. American Society of testing Materials (1988),"Rubber Properties Effected of Liquid" , ASTM. D-471-79.

11. บุญธรรม นิธิอุทัย และคณะ ,สารเคมีสำหรับยางและเทคนิคการออกสูตรยาง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ , 2530.

12. วราภรณ์ ขจรไชยกุล , พรรษาช่วยปล้อง,"การตรวจสอบคุณภาพยาง" วารสารยางพารา, ฉบับที่ 3 , 2525. หน้า 150-155.

13. ผศ.ดร.นิพนธ์ วงศ์วิเศษสิริกุล และคณะ , "การศึกษาการใช้เครื่องวัดการคงรูปของยางและเครื่องวัดความหนืดสำหรับการควบคุมกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมยาง" ปฏิบัติการเทคโนโลยีพอลิเมอร์ ,2536, หน้า 91-106.

ประวัติผู้เขียน

นายเทวัญ ผาณิตรัตน์ เกิดเมื่อวันที่ 8 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2514 ที่ จังหวัดกรุงเทพฯ สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมต้น และ ชั้นมัธยมปลาย จาก โรงเรียนเทพศิรินทร์ เมื่อ พ.ศ. 2533 ปัจจุบันกำลังศึกษาอยู่ชั้นปีที่ 4 ภาควิชา เคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

นางสาวบุศรินทร์ เฉลียวศิลป์ เกิดเมื่อวันที่ 14 พฤษภาคม พ.ศ.2515 ที่ จังหวัด สมุทรปราการ สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นและมัธยมศึกษาตอนปลายจาก โรงเรียนสตรีวิทยา เมื่อ พ.ศ. 2533 ปัจจุบันกำลังศึกษาอยู่ชั้นปีที่ 4 ภาควิชา เคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง