

การศึกษาสารเติมแต่งในยางจากน้ำมันหอมระเหย:
น้ำมันมะนาว น้ำมันส้ม น้ำมันมะกรูด

STUDY OF RUBBER ADDITIVES FROM ESSENTIAL OILS:
LEMON, ORANGE AND KAFFIR LIME OILS

วีรนุช ศรีระแก้ว
VEERANUCH SRAKAEW

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2546

ISBN 974-324-742-4

การศึกษารubberเติมแต่งในยางจากน้ำมันหอมระเหย:
น้ำมันมะนาว น้ำมันส้ม น้ำมันมะกรูด

STUDY OF RUBBER ADDITIVES FROM ESSENTIAL OILS:
LEMON, ORANGE AND KAFFIR LIME OILS



วีรนุช สระแก้ว

VEERANUCH SRAKAEW

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2546

ISBN 974-324-742-4



เลขหมู่
เลขทะเบียน 48385
วัน, เดือน, ปี 24 ต.ค. 2546

STUDY OF RUBBER ADDITIVES FROM ESSENTIAL OILS:
LEMON, ORANGE AND KAFFIR LIME OILS

VEERANUCH SRAKAEW

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN POLYMER TECHNOLOGY
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2003

ISBN 974-324-742-4

COPYRIGHT 2003

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การศึกษาศาสตร์เติมแต่งในยางจากน้ำมันหอมระเหย : น้ำมันมะนาว น้ำมันส้ม และน้ำมันมะกรูด

STUDY OF RUBBER ADDITIVES FROM ESSENTIAL OILS : LEMON, ORANGE, AND KAFFIR LIME OILS

ชื่อนักศึกษา

นางสาววีรณัฐ สระแก้ว

รหัสประจำตัว

43065602

ปริญญา

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต





สาขาวิชา

เทคโนโลยีพอลิเมอร์

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

ผศ.ดร.อิทธิพล

แจ่มชัด

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ดร.สุภาวรัตน์ รักษวลี	
ผศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด	
ดร.ชวลิตดา ฤตวิรุพห์	
ผศ.ดร.ชาคริต สิริสิงห	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 26 พฤษภาคม 2546 เวลา 9.30-12.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคารจุฬาภรณ์วลัยลักษณ์ 1 ชั้น 6 ห้อง 602

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รศ.ดร.บุญวัฒน์ อัคร)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่...../.....เดือน.....พ.ศ.....

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาสารเติมแต่งในยางจากน้ำมันหอมระเหย : น้ำมันมะนาว น้ำมันส้ม และน้ำมันมะกรูด
นักศึกษา	นางสาววีรณัฐ สระแก้ว
รหัสประจำตัว	43065602
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีพอลิเมอร์
พ.ศ.	2546
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร. อธิพิณ แจ่มชัด

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสารเติมแต่งในยางธรรมชาติจากน้ำมันหอมระเหย ได้แก่ น้ำมันมะนาว น้ำมันส้ม และน้ำมันมะกรูด เพื่อทำหน้าที่เป็นสารเติมแต่งหลายหน้าที่ (Multifunctional additives) ได้แก่ สารหล่อลื่น สารช่วยกระบวนการผลิต และสารให้กลิ่น โดยศึกษาในแนวเปรียบเทียบกับน้ำมันจากปิโตรเลียมที่ใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ น้ำมันอะโรมาติก น้ำมันแนฟทาติก น้ำมันพาราฟิน รวมทั้งศึกษาผลของชนิดน้ำมันที่มีต่อสมบัติของยาง และผลของปริมาณน้ำมัน (1 3 5 10 และ 20 phr) สมบัติที่ทำการศึกษา คือ ลักษณะการเชื่อมโยง สมบัติการไหล สมบัติเชิงกล และการกระจายตัวของเซมาดำ จากการทดลองพบว่า น้ำมันหอมระเหยสามารถทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่นและสารให้กลิ่นช่วยลดกลิ่นเหม็นของยางที่เชื่อมโยงด้วยกำมะถัน ยางผสมสูตรที่ไม่ใส่น้ำมันจะมีค่าความหนืดมูนิ และค่าความแข็งกดมากกว่ายางผสมสูตรที่ใส่น้ำมัน และเมื่อพิจารณาถึงผลของลักษณะการเชื่อมโยง สมบัติเชิงกล สมบัติการไหล โดยเปรียบเทียบกันระหว่างยางผสมสูตรที่ใส่น้ำมันจากปิโตรเลียมและใส่น้ำมันหอมระเหย พบว่าให้ผลการทดลองใกล้เคียงกัน สามารถใช้แทนได้ จากการศึกษาเมื่อผลของปริมาณน้ำมันที่มีต่อสมบัติของยางพบว่า น้ำมันหอมระเหยสามารถทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่นได้เช่นเดียวกับน้ำมันจากปิโตรเลียม ทั้งนี้เนื่องมาจากผลของค่าความหนืดมูนิ ร้อยละการดัดตัว และความหนาแน่นเชื่อมโยง มีแนวโน้มลดลงเช่นเดียวกับน้ำมันจากปิโตรเลียม ร้อยละการยืด ณ จุดขาด มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า เวลาเชื่อมโยง และเวลาเริ่มเชื่อมโยง มีค่าใกล้เคียงกัน จากการสุ่มตัวอย่างกลุ่มผู้บริโภคด้วยแบบสอบถามเรื่องกลิ่นของน้ำมันหอมระเหยในยางผสมสูตรพบว่า ผู้บริโภคมีความพึงพอใจในกลิ่นของยางผสมสูตรที่ใส่น้ำมันหอมระเหยมากกว่าน้ำมันจากปิโตรเลียม โดยเรียงลำดับความพึงพอใจจากมากไปน้อย คือ น้ำมันมะกรูด น้ำมันส้ม น้ำมันมะนาว และน้ำมันแนฟทาติก นอกจากนี้กลุ่มผู้บริโภคยังสนับสนุนให้ใช้ในอุตสาหกรรมถึง 90 %

Thesis Title	Study of Rubber Additives from Essential Oils : Lemon, Orange, and Kaffir Lime Oils
Student	Miss Veeranuch Srakaew
Student ID.	43065602
Degree	Master of Science
Program	Polymer Technology
Year	2003
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Ittipol Jangchud

ABSTRACT

This research work involved a study of additives in natural rubber from essential oils, i.e., lemon, orange and kaffir lime oils. These oils have possibility to function as multifunctional additives, i.e., lubricants, processing aids, and odorants. Comparative study between rubber compounds with conventional oils (aromatic, naphthanic and paraffinic) and those with essential oils was carried out. Some factors affecting rubber properties were studied including oil types and amount of oil loading (1, 3, 5, 10 and 20 phr). Rubber compounds were then characterized for rubber properties including cure characteristics, rheological properties, mechanical properties and carbon black dispersion. It was found that the essential oils can be used as lubricants and had less undesirable odors from sulfur-cured rubber compounds when the oils were mixed. The non-oil filled rubber compounds had higher mooney viscosity and hardness than those of the oil-filled rubber compounds. Comparatively, properties of the essential oil-filled rubbers were similar to those of the conventional oil-filled rubbers with insignificant difference in properties, such as cure characteristics, mechanical and rheological properties. In other words, the conventional oils could be replaced by the essential oils as multifunctional additives of rubbers. As the amount of the oils loading was increased (0-20 phr), it was found that the essential oils acted as lubricants since mooney viscosity % resilience and crosslink densities had a trend to decrease, however; % elongation at break was increased with increasing the oil loading. Similar trends were observed when adding the conventional oils in the rubbers. However, the amount of the oil loading had trivial effects on cure characteristics of the rubber compounds. In order to study to

odorizing effects, questionnaires filled by random customers were carried out. It was revealed that the consumers preferred scent of the essential oil-filled rubbers compared to that of the conventional oil-filled rubbers. The order of the preference was the kiffir lime > orange > lemon > naphthanic oils. Moreover, 90 % of the consumers supported to apply the essential oil-filled rubbers in industrial applications.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์จะสำเร็จไม่ได้ถ้าขาดคำแนะนำที่ดีและการแก้ปัญหาที่ถูกทิศทางจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด ซึ่งทั้งหมดนี้ผู้ทำวิจัยได้รับคำแนะนำจากอาจารย์ที่ปรึกษาที่มีความเชี่ยวชาญเกี่ยวกับยางธรรมชาติโดยเฉพาะจึงทำให้งานวิจัยเป็นงานวิจัยที่มีความสมบูรณ์จึงขอกราบขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ ดร.สุภาวรัตน์ รักชลธิ และ ดร.ชลลดา ฤตวิรุฬห์ เป็นอย่างสูง ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับงานวิจัยและมาเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.ชาคริต สิริสิงห เป็นอย่างสูง ที่มาเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้รวมทั้งให้คำแนะนำและช่วยในเรื่องของการใช้เครื่องมือที่มหาวิทยาลัยมหิดล

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.อนุวัตร แจ่มชัด เป็นอย่างสูง ที่เอื้อเฟื้อน้ำมันหอมระเหย รวมทั้งให้คำแนะนำเกี่ยวกับการทำแบบสอบถามให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ นักศึกษาทุกคนที่ช่วยเหลือและให้คำแนะนำต่าง ๆ อีกทั้งคอยให้กำลังใจให้แก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด นอกจากนี้ขอขอบคุณครอบครัวของผู้วิจัยที่คอยเป็นกำลังใจและสนับสนุนช่วยเหลือด้วยดีมาตลอด

สุดท้ายขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน ให้เจริญด้วยอายุ สุขชะ พละ

นางสาววีรณัฐ สระแก้ว

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ.....	I
Abstract.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	IV
สารบัญ.....	V
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญรูป.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของงานวิจัยและแรงจูงใจในการทำวิจัย.....	1
1.2 จุดประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ยางแผ่นรมควัน.....	4
2.2 พลาสติกไฮเซอรั.....	7
2.2.1 สารหล่อลื่น.....	7
2.2.2 การตรวจสอบสมบัติของน้ำมัน.....	9
2.2.3 ผลของน้ำมันต่อสมบัติของยาง.....	12
2.2.3.1 ผลของน้ำมันที่มีต่อยางที่ไม่เชื่อมโยง.....	12
2.2.3.1 ผลต่อค่าความหนืดมูนี้.....	12
2.2.3.2 ผลต่อการแปรรูป.....	12
2.2.3.2 ผลต่อยางที่เชื่อมโยง.....	13
2.2.3.2.1 ปริมาณของน้ำมัน.....	13
2.2.3.2.2 ความหนืดของน้ำมัน.....	13
2.2.3.2.3 ส่วนประกอบของน้ำมัน.....	13
2.3 น้ำมันหอมระเหย.....	14
2.3.1 น้ำมันมะนาว.....	16
2.3.2 น้ำมันส้ม.....	19

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.3.3 น้ำมันมะกรูด.....	21
2.4 การผสมยาง.....	21
2.5 การทดสอบสมบัติของยาง.....	25
2.5.1 เครื่องวัดการเชื่อมโยงของยาง (Moving Die Rheometer, MDR).....	25
2.5.2 เครื่องวัดความหนืดมูนี่ (Mooney viscometer).....	28
2.5.3 เครื่องทดสอบการไหลคาปิลลารีโอมิเตอร์ (Capillary rheometer).....	29
2.5.4 การทดสอบสมบัติเชิงกล.....	31
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	32
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	35
3.1 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย.....	35
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	36
3.3 วิธีการทดลอง.....	37
3.3.1 การวิเคราะห์น้ำมัน.....	37
3.3.2 ยางผสมสูตร.....	39
3.3.3 การทดสอบยางผสมสูตร.....	41
3.3.3.1 การทดสอบความหนืดมูนี่.....	41
3.3.3.2 การทดสอบสมบัติในการเชื่อมโยงของยางผสมสูตร.....	41
3.3.3.3 การหาความหนาแน่นเชื่อมโยงยาง.....	41
3.3.3.3.1 การหาอัตราส่วนการบวมตัวของยาง.....	41
3.3.3.3.2 เทคนิคการวัดความต้านทานแรงดึง.....	42
3.3.3.4 การทดสอบสมบัติการไหลของยางผสมสูตร.....	42
3.3.3.5 การเชื่อมโยงยาง.....	43
3.3.3.6 การหาค่าความแข็งกต.....	43
3.3.3.7 การทดสอบสมบัติเชิงกล.....	43
3.3.3.8 การทดสอบการดึงตัว.....	43
3.3.3.9 การศึกษาการกระจายตัวของเขม่าดำ.....	44

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	45
4.1 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบและสมบัติบางประการของน้ำมัน.....	46
4.1.1 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบ.....	46
4.1.2 การศึกษาสมบัติบางประการของน้ำมันหอมระเหย.....	48
4.2 ผลของน้ำมันที่มีต่อลักษณะการเชื่อมโยง.....	49
4.2.1 ผลของชนิดน้ำมันที่มีต่อลักษณะการเชื่อมโยง.....	49
4.2.2 ผลของปริมาณน้ำมันที่มีต่อลักษณะการเชื่อมโยง.....	51
4.3 ผลของน้ำมันที่มีต่ออัตราส่วนการบวมตัวและความหนาแน่นเชื่อมโยงยาง.....	52
4.3.1 ผลของน้ำมันที่มีต่ออัตราส่วนการบวมตัวของยาง.....	52
4.3.1.1 ผลของชนิดน้ำมันที่มีต่ออัตราส่วนการบวมตัว.....	52
4.3.1.2 ผลของปริมาณน้ำมันที่มีต่ออัตราส่วนการบวมตัว.....	53
4.3.2 ผลของน้ำมันที่มีต่อความหนาแน่นเชื่อมโยงยาง.....	54
4.3.2.1 ผลของชนิดน้ำมันที่มีต่อความหนาแน่นเชื่อมโยงยาง.....	54
4.3.2.2 ผลของปริมาณน้ำมันที่มีต่อความหนาแน่นเชื่อมโยงยาง.....	55
4.4 ผลของน้ำมันที่มีต่อสมบัติการไหล.....	56
4.4.1 ค่าความหนืดมูนี่.....	56
4.4.1.1 ผลของชนิดน้ำมันที่มีต่อค่าความหนืดมูนี่.....	56
4.4.1.2 ผลของปริมาณน้ำมันที่มีต่อค่าความหนืดมูนี่.....	57
4.4.2 สมบัติการไหลด้วยเครื่องคาปิลลารีโอมิเตอร์.....	58
4.4.2.1 ผลของชนิดน้ำมันที่มีต่อสมบัติการไหล ด้วยเครื่องคาปิลลารีโอมิเตอร์.....	58
4.4.2.2 ผลของปริมาณน้ำมันที่มีต่อสมบัติการไหล ด้วยเครื่องคาปิลลารีโอมิเตอร์.....	61
4.5 ผลของน้ำมันที่มีต่อสมบัติทางเชิงกล.....	64
4.5.1 ค่าความแข็งแรงดึง.....	64
4.5.1.1 ผลของชนิดน้ำมันที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงดึง.....	64
4.5.1.2 ผลของปริมาณน้ำมันที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงดึง.....	65
4.5.2 ค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาด.....	66
4.5.2.1 ผลของชนิดน้ำมันที่มีผลต่อค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาด.....	66

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.5.2.2 ผลของปริมาณน้ำมันที่มีผลต่อค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาด..	67
4.5.3 ค่ามอดูลัสของยัง ค่ามอดูลัส 100% ค่ามอดูลัส 300% และค่าความแข็งแรง.....	68
4.5.3.1 ผลของชนิดน้ำมันที่มีต่อค่ามอดูลัสของยัง มอดูลัสที่ 100 % มอดูลัสที่ 300 % และค่าความแข็งแรง.....	68
4.5.3.2 ผลของปริมาณน้ำมันที่มีต่อค่ามอดูลัสของยัง มอดูลัสที่ 100 % มอดูลัสที่ 300 % และค่าความแข็งแรง.....	71
4.5.4 ผลของการดึงตัวของยางผสมสูตร.....	74
4.5.4.1 ผลของชนิดน้ำมันที่มีต่อการดึงตัวของยางผสมสูตร.....	74
4.5.4.2 ผลของปริมาณน้ำมันที่มีต่อการดึงตัวของยางผสมสูตร.....	75
4.6 ผลของน้ำมันที่มีต่อการกระจายตัวของเขม่าดำในยางผสมสูตร.....	76
4.6.1 ผลของชนิดน้ำมันที่มีผลต่อการกระจายตัวของเขม่าดำในยาง.....	76
4.6.2 ผลของปริมาณน้ำมันที่มีผลต่อการกระจายตัวของเขม่าดำ.....	77
4.7 ผลของน้ำมันที่มีต่อกลิ่นของยางผสมสูตร.....	79
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	84
เอกสารอ้างอิง.....	85
ภาคผนวก.....	88
ประวัติผู้เขียน	

สารบัญญัตราสาร

หน้า

ตารางที่

1.1 การผลิต การส่งออก การใช้ยางธรรมชาติของประเทศไทยปี 2540-2545.....	1
2.1 สมบัติบางประการของน้ำมันที่ใช้กับยาง.....	11
2.2 สมบัติบางประการของน้ำมันมะนาวที่สกัดด้วยวิธีการบีบ (Cold-pressed).....	17
2.3 ตัวอย่างส่วนประกอบของน้ำมันมะนาวที่สกัดจากผิวของมะนาวพันธุ์ต่างๆ.....	18
2.4 องค์ประกอบของน้ำมันส้มในฤดูกาลต่างๆในฟลอริดา.....	20
2.5 สมบัติบางประการของน้ำมันส้มที่ใช้ทางการค้าในสหรัฐอเมริกา.....	20
3.1 สมบัติบางประการของยางแผ่นรมควันชั้น 2 ที่ใช้ในงานวิจัย.....	35
3.2 สมบัติบางประการของน้ำมันหอมระเหยที่ใช้ในงานวิจัย.....	36
3.3 สูตรหลักของยางผสมสูตรที่ใช้ในงานวิจัย.....	39
3.4 สูตรการศึกษาผลของชนิดน้ำมันที่มีต่อสมบัติของยางผสมสูตร.....	39
3.5 สูตรการศึกษาผลของปริมาณน้ำมันที่มีต่อสมบัติของยางผสมสูตร.....	40
3.6 มาตรฐานของสมบัติที่ใช้ทดสอบยางผสมสูตร.....	41
4.1 ผลการวิเคราะห์น้ำมันด้วยเทคนิค IR.....	47
4.2 ผลการวิเคราะห์น้ำมันหอมระเหยด้วยเทคนิค GC-MS.....	47
4.3 สมบัติบางประการของน้ำมันที่ใช้ในงานวิจัยนี้.....	49
4.4 การประยุกต์ใช้งานของยางที่ใส่น้ำมันหอมระเหย.....	83

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่

2.1 สูตรโครงสร้างของยางธรรมชาติ cis 1,4 polyisoprene.....	6
2.2 น้ำมันจากปิโตรเลียมที่ใช้ในยางแบ่งตามความมีขี้ผึ้งและขนาดของโมเลกุล.....	9
2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะโรมาติกในน้ำมันกับดัชนีหักเหแสงของน้ำมัน.....	11
2.4 ค่าความแข็งต่อแรงดึงกับปริมาณอะโรมาติกในน้ำมัน.....	14
2.5 ผลมะนาว.....	16
2.6 ผลมะกรูด.....	21
2.7 แผนผังแสดงขั้นตอนการผลิตผลิตภัณฑ์ยาง.....	24
2.8 กราฟการเชื่อมโยงของยาง.....	25
2.9 เครื่องวัดการเชื่อมโยงยาง (Moving Die Rheometer, MDR).....	27
2.10 เครื่องวัดความหนืดมูนนี่ (Mooney viscometer).....	29
2.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับอัตราเฉือนของพอลิเมออร์.....	30
3.1 เครื่อง Dispergrader 1000 NT.....	44
4.1 โครงสร้าง d-limonene.....	47
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาเริ่มเชื่อมโยงกับยางผสมสูตรที่ใช้น้ำมันต่างชนิดกัน.....	50
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาเชื่อมโยงกับยางผสมสูตรที่ใช้น้ำมันต่างชนิดกัน.....	50
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาเริ่มเชื่อมโยงกับปริมาณของน้ำมัน.....	51
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาเชื่อมโยงกับปริมาณของน้ำมัน.....	52
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนบวมตัวกับยางผสมสูตรที่ใช้น้ำมันต่างชนิดกัน.....	53
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนบวมตัวกับปริมาณของน้ำมัน.....	54
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นเชื่อมโยงกับยางผสมสูตรที่ใช้น้ำมันต่างชนิดกัน.....	55
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นเชื่อมโยงกับปริมาณของน้ำมัน.....	56
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดมูนนี่กับยางผสมสูตรที่ใช้น้ำมันต่างชนิดกัน.....	57
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดมูนนี่กับปริมาณน้ำมัน.....	58
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดกับยางผสมสูตรที่ใช้น้ำมันต่างชนิดกัน โดยใช้เทคนิค Two-die correction (Die ยาว 0 และ 32 mm).....	59
4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Die swell กับ Log shear rate ยางผสมสูตร ที่ใช้น้ำมันต่างชนิดกัน.....	60

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่

4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า P_0 กับ Log shear rate ยางผสมสูตร ที่ใช้น้ำมันต่างชนิดกัน.....	61
4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดกับปริมาณน้ำมัน โดยใช้ Die ยาว 32 mm.....	62
4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Die swell กับ Log shear rate ของยางผสมสูตร ที่ใส่น้ำมันปริมาณต่างกัน.....	63
4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า P_0 กับ Log shear rate ของยางผสมสูตร ที่ใส่น้ำมันปริมาณต่างกัน.....	64
4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึงกับยางผสมสูตรที่ใช้น้ำมันต่างชนิดกัน.....	65
4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึงกับปริมาณน้ำมัน.....	66
4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดกับยางผสมสูตร ที่ใช้น้ำมันต่างชนิดกัน.....	67
4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดกับปริมาณของน้ำมัน.....	68
4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสของยังกับยางผสมสูตรที่ใช้น้ำมันต่างชนิดกัน.....	69
4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสที่ 100 % กับยางผสมสูตรที่ใช้น้ำมันต่างชนิดกัน.....	70
4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสที่ 300 % กับยางผสมสูตร ที่ใช้น้ำมันต่างชนิดกัน.....	70
4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกดกับยางผสมสูตรที่ใช้น้ำมันต่างชนิดกัน.....	71
4.26 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสของยังกับปริมาณของน้ำมัน.....	72
4.27 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสที่ 100% กับปริมาณน้ำมัน.....	72
4.28 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสที่ 300% กับปริมาณของน้ำมัน.....	73
4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกดกับปริมาณของน้ำมัน.....	73
4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการดึงตัวกับยางผสมสูตรที่ใช้น้ำมันต่างชนิดกัน.....	75
4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการดึงตัวกับปริมาณของน้ำมัน.....	76
4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่ของเขม่าดำที่พบในยางผสมสูตรกับขนาดเขม่าดำ ที่ใส่ชนิดน้ำมันต่างกัน.....	77
4.33 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่ของเขม่าดำที่พบในยางผสมสูตรที่ใส่น้ำมันเนฟทานิก ปริมาณต่างกับกับขนาดเขม่าดำ.....	77

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่

4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่ของเขม่าดำที่พบในยางผสมสูตรที่ใส่น้ำมันมะนาว ปริมาณน้ำมันต่างกับกับขนาดเขม่าดำ.....	78
4.35 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่ของเขม่าดำที่พบในยางผสมสูตรที่ใส่น้ำมันส้ม ปริมาณน้ำมันต่างกับกับขนาดเขม่าดำ.....	78
4.36 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่ของเขม่าดำที่พบในยางผสมสูตรที่ใส่น้ำมันมะกรูด ปริมาณน้ำมันต่างกับกับขนาดเขม่าดำ.....	79
4.37 ผลจากแบบสอบถามเรื่องความแรงของกลิ่นที่ชนิดน้ำมันต่าง ๆ ที่ปริมาณ 5 phr.....	80
4.38 ผลการทดสอบเรื่องความชอบกลิ่นของน้ำมันชนิดต่าง ๆ ที่ปริมาณน้ำมัน 5 phr.....	80
4.39 สรุปผลการทดสอบกลิ่นของยางผสมสูตรที่ใส่น้ำมันมะกรูดปริมาณต่างกัน จากแบบสอบถาม.....	81
4.40 สรุปผลการทดลองกลิ่นของยางผสมสูตรที่ใส่ชนิดของน้ำมันหอมระเหยต่างกัน จากแบบสอบถาม.....	82
4.41 ความสัมพันธ์ระหว่าง % ความเห็นของความต้องการยางผสมสูตรที่ใส่น้ำมันหอมระเหย ไปใช้ในอุตสาหกรรม.....	82

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของงานวิจัยและแรงจูงใจในการทำวิจัย

การผลิตยางธรรมชาติ (Natural Rubber, NR) ของทุกประเทศทั่วโลกเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 10 หรือเฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.5 ต่อปี [1] ประเทศไทยผลิตมากเป็นอันดับหนึ่งของโลก โดยในปี 2544 ผลิตได้ 2.35 ล้านตันหรือคิดเป็นร้อยละ 33 ของปริมาณการผลิตทั้งโลก มีอัตราการเพิ่มเฉลี่ยร้อยละ 3.81 ต่อปี มีปริมาณการผลิต การส่งออกและการใช้เพิ่มมากขึ้นทุกปี การส่งออกมีประมาณ 2.0 ล้านตัน (ร้อยละ 89) ที่เหลืออีกประมาณ 0.25 ล้านตันใช้ภายในประเทศ ส่วนมูลค่าการส่งออกผลิตภัณฑ์ยางในขณะนี้ปีละ 48,000 ล้านบาท [1]

ตารางที่ 1.1 การผลิต การส่งออก การใช้อย่างธรรมชาติของประเทศไทย ปี 2540-2545 [1]

ปี	การผลิต (ตัน)	การส่งออก (ตัน)	ใช้ในประเทศ (ตัน)	สต็อก (ตัน)
2540	2,032,714	1,837,148	182,020	159,374
2541	2,075,950	1,839,396	186,379	209,546
2542	2,154,560	1,886,339	226,917	250,850
2543	2,346,487	2,166,153	242,549	188,635
2544	2,319,549	2,042,079	253,105	213,000
2545	2,320,000	2,212,900	260,000	2,129,590

จากปริมาณการใช้อย่างธรรมชาติในประเทศไทย ดังแสดงในตารางที่ 1.1 แสดงให้เห็นว่ามี การแปรรูปจากยางธรรมชาติให้เป็นผลิตภัณฑ์ยาง เช่น ยางรถยนต์ ฯลฯ เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับยาง น้อยมาก ต่างประเทศจะรับยางดิบจากประเทศไทยซึ่งประเทศไทยจะขายให้ต่างประเทศในราคา ถูกเนื่องจากยังไม่ได้แปรรูป แต่ต่างประเทศส่งยางที่แปรรูปแล้วมาขายให้ประเทศไทยในราคาแพง ซึ่งเห็นได้ว่าเป็นการขาดดุลอย่างชัดเจน ดังนั้นประเทศไทยจึงควรจะเป็นผู้นำทางการผลิตและ แปรรูปผลิตภัณฑ์ยางเพื่อลดการขาดดุลทางการค้าและเพิ่มรายได้ให้กับประเทศ

ขั้นตอนการแปรรูปยางที่สำคัญคือ การผสมยาง (Rubber compounding) ซึ่งเป็นขั้นตอน ที่มีความสำคัญยิ่งต่อกระบวนการผลิตและสมบัติของผลิตภัณฑ์ยาง เนื่องจากในกระบวนการผลิต ผลิตภัณฑ์ยางจำเป็นต้องมีการออกสูตรยาง (Rubber formulation) ซึ่งเป็นการกำหนดชนิดและ

ปริมาณของสารเติมแต่ง (Additives) ต่างๆ ที่จะผสมเข้ากับยาง เช่น สารหล่อลื่น (Lubricants) สารป้องกันการเกิดออกซิเดชัน (Antioxidants) สารหน่วงการติดไฟ (Flame retardant) สารเชื่อมโยง (Vulcanizing agents) สารเร่งการเชื่อมโยง (Accelerators) สารกระตุ้น (Activators) สารเพิ่มเนื้อแบบเสริมแรง (Reinforcing fillers) สารเพิ่มความนิ่มหรือพลาสติกไซเซอร์ (Plasticizers) เป็นต้น วิธีผสมและสูตรยาง รวมทั้งชนิดและปริมาณของสารเติมแต่งเหล่านี้จะมีผลโดยตรงต่อสมบัติต่างๆ ของยางผสมสูตร [2]

สารหล่อลื่นที่ใช้กันทั่วไปในปัจจุบันเป็นสารจำพวกน้ำมัน ได้แก่ น้ำมันที่ได้จากน้ำมันปิโตรเลียม เช่น น้ำมันแนฟทาติก (Naphthanic oil) น้ำมันอะโรมาติก (Aromatic oil) และน้ำมันพาราฟิน (Paraffinic oil) น้ำมันเหล่านี้มีหน้าที่ในการช่วยลดแรงเสียดทานระหว่างผนังของเครื่องจักรเมื่อสัมผัสกับผลิตภัณฑ์ยาง ช่วยไม่ใหยางติดกับผิวหน้าของเครื่องจักรและช่วยให้สารเติมแต่งที่ผสมในยางเข้ากันได้ดีขึ้น [2]

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม มีการปลูกพืชผักสวนครัวกันมาก ทั้งบริเวณเองภายในครัวเรือนรวมทั้งมีการปลูกเพื่อจำหน่าย พืชที่นิยมปลูก ได้แก่ มะนาว มะกรูด ตะไคร้ ฯลฯ เนื่องจากพืชเหล่านี้เป็นพืชที่ใช้กันมาก เป็นพืชเศรษฐกิจที่ปลูกกันทั่วไปได้ทุกฤดูกาล หาง่าย ราคาถูก ที่สำคัญคือ มีกลิ่นหอมอีกด้วยจึงมีการปลูกกันมาก บ่อยครั้งที่เกษตรกรไทย ประสบปัญหาผลิตผลทางการเกษตรล้นตลาด มีปริมาณเกินความต้องการ รวมทั้งมีราคาตกต่ำ เช่น มะนาวในปี 2542 [3] ดังนั้นจึงเป็นการสมควรที่จะทำการศึกษาเพื่อใช้ประโยชน์ผลิตผล และ/หรือสิ่งที่เหลือจากอุตสาหกรรมเกษตร เพื่อช่วยเหลือและเพิ่มมูลค่าให้กับสินค้าเกษตร น้ำมันหอมระเหย (Essential oils) จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มราคาผลผลิตทางการเกษตร น้ำมันหอมระเหยได้จากการสกัดหรือสังเคราะห์จากพืชหรือสัตว์ สามารถใช้เป็นสารเติมแต่งกลิ่นในอุตสาหกรรมอาหาร สินค้าอุปโภค

ในงานวิจัยนี้ได้นำน้ำมันหอมระเหยมาใช้เป็นสารเติมแต่งสำหรับยางธรรมชาติทดแทนน้ำมันจากปิโตรเลียม ได้แก่ น้ำมันแนฟทาติก น้ำมันอะโรมาติก และน้ำมันพาราฟิน โดยจะใช้น้ำมันหอมระเหยเป็นสารเติมแต่งชนิดหลายหน้าที่ (Multifunctional additives) อาจทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่น สารช่วยกระบวนการผลิต (Processing aids) และสารให้กลิ่น (Deodorants) ช่วยดับกลิ่นของยางโดยไม่ทำให้สมบัติต่างๆ ของยางผสมสูตรเปลี่ยนไปและลดการนำเข้าน้ำมันจากปิโตรเลียมเหล่านี้ น้ำมันหอมระเหยที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้แก่ น้ำมันมะนาว (Lemon oil) น้ำมันส้ม (Orange oil) และน้ำมันมะกรูด (Kaffir lime oil) ยางที่ใช้คือ ยางธรรมชาติชนิดยางแผ่นรมควัน (RSS) เนื่องจากประเทศไทยมีการผลิตยางประเภทนี้จำนวนมาก นอกจากนี้ได้มีการศึกษาสมบัติของน้ำมันที่ใช้ในงานวิจัยด้วยเครื่องต่างๆ เช่น อินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Infrared Spectrophotometer, IR) เพื่อศึกษาถึงหมู่ฟังก์ชันสำคัญในน้ำมัน แก๊สโครมาโทกราฟี-แมส

สเปกโทรมิเตอร์ (Gas Chromatograph-Mass Spectrometer, GC-MS) เพื่อหาองค์ประกอบหลักและปริมาณองค์ประกอบในน้ำมัน นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาสมบัติของยางผสมสูตร ได้แก่ ลักษณะการเชื่อมโยง (Cure characteristics) เช่น เวลาเริ่มเชื่อมโยงหรือเวลาสกอร์ช (Scorch time) เวลาเชื่อมโยง (Cure time) อัตราส่วนการบวมตัว (Swollen ratio) และความหนาแน่นเชื่อมโยง (Crosslink density) สมบัติการไหล (Rheological properties) เช่น ความหนืดมูนนี่ (Mooney viscosity) ความหนืดจาก Capillary rheometer สมบัติเชิงกล (Mechanical properties) เช่น ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ร้อยละการยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) มอดุลัสของยัง (Young's modulus) และศึกษาการกระจายตัวของเขม่าดำ โดยศึกษาสมบัติต่างๆ ในแนวเปรียบเทียบระหว่างยางผสมสูตรที่ใช้ น้ำมันหอมระเหยกับน้ำมันจากปิโตรเลียม ได้แก่ น้ำมันแนฟทานิก น้ำมันอะโรมาติก และน้ำมันพาราฟิน ศึกษาผลของชนิดน้ำมันและปริมาณน้ำมัน

1.2 จุดประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้น้ำมันหอมระเหย ได้แก่ น้ำมันมะนาว น้ำมันส้ม และน้ำมันมะกรูด เพื่อใช้เป็นสารเติมแต่งชนิดหลายหน้าที่ในยางผสมสูตรคือ สารหล่อลื่น พลาสติไซเซอร์ และสารให้กลิ่น
2. เพื่อศึกษาถึงผลของปัจจัยต่างๆ เช่น ชนิดน้ำมัน และปริมาณการเติมที่มีผลต่อสมบัติต่างๆ ของยางผสมสูตร

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1. ศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อสมบัติของยางผสมสูตร ได้แก่ ชนิดน้ำมัน และปริมาณ
2. ศึกษาสมบัติต่างๆ ของยางที่เตรียมได้ เช่น สมบัติเชิงกล สมบัติการไหล ลักษณะการเชื่อมโยง ฯลฯ โดยศึกษาในแนวเปรียบเทียบกับน้ำมันที่ใช้เป็นสารหล่อลื่นในการผสมยางในปัจจุบัน ได้แก่ น้ำมันแนฟทานิก น้ำมันพาราฟิน และน้ำมันอะโรมาติก

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถใช้น้ำมันหอมระเหยเป็นสารเติมแต่งในยางผสมสูตรได้และไม่ทำให้สมบัติของยางลดลงเมื่อเทียบกับน้ำมันที่ใช้ในปัจจุบัน ทั้งนี้อาจทำให้สมบัติบางประการดีขึ้น เช่น เพิ่มสมบัติเชิงกลบางชนิดและให้กลิ่นหอม
2. ส่งเสริมให้เกิดอุตสาหกรรมน้ำมันหอมระเหยในประเทศที่เป็นผลพลอยได้หรือของเหลือทิ้งจากผลิตผลทางการเกษตร เพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกรและช่วยในการพัฒนาประเทศ

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ยางแผ่นรมควัน [2]

การทำยางแผ่นเป็นวิธีแปรรูปยางที่นิยมที่สุดโดยเฉพาะสวนยางขนาดเล็กเนื่องจากเป็นวิธีที่ง่าย สะดวก และไม่ต้องใช้เครื่องจักรราคาแพง ขั้นตอนการผลิตยางแผ่นเริ่มจากการรวบรวมน้ำยางจากสวนยาง แล้วทำให้น้ำยางเจือจางด้วยน้ำสะอาดประมาณ 2 เท่า ให้มีปริมาณเนื้อยางแห้ง (Dry Rubber Content, DRC) ประมาณ 12-15% เพื่อลดความหนืด (Viscosity) ของน้ำยางทำให้ง่ายในการกรอง เมื่อใส่กรดจะทำให้ได้ยางเป็นเจลที่นิ่มกว่าทำเป็นแผ่นง่ายกว่า จากนั้นจะทำการกรองน้ำยางโดยใช้ตะแกรง ขนาด 40 50 และ 60 เมช (Mesh) เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกและสิ่งแปลกปลอม (Foreign matters) อื่นๆ ทำให้น้ำยางสะอาดขึ้น ขั้นตอนต่อไปคือ การทำให้น้ำยางจับตัวเป็นก้อนแข็ง (Coagulation) โดยการเทน้ำยางใส่ภาชนะที่ให้น้ำแข็งตัวเป็นก้อนซึ่งมีหลายขนาด สารเคมีที่ทำให้น้ำยางจับตัวเป็นก้อนแข็งหรือโคแอกคูแลนต์ (Coagulant) คือ กรดฟอร์มิก (Formic acid) เจือจาง 0.5-2 % (น้ำหนักต่อปริมาตร) ในปริมาณที่ทำให้น้ำยางมีความเป็นกรดต่าง (pH) ประมาณ 4.6-5.1 หลังจากการช้อนตักกำจัดฟองบนผิวหน้า แล้วทิ้งไว้ 1-18 ชั่วโมง (ระยะเวลาขึ้นอยู่กับปริมาณกรดที่ใส่) ให้น้ำยางจับตัวเป็นก้อนจะได้ของแข็งนิ่มสีขาว จากนั้นก้อนยางจะถูกผ่านในลูกกลิ้ง (Rollers) 3-6 คู่ (อาจหมุนอัตโนมัติด้วยเครื่องจักรหรือใช้มือหมุนสำหรับการผลิตอุตสาหกรรมขนาดเล็ก) บีบให้น้ำออกจากรยางและทำให้แผ่นยางมีความหนาสุดท้ายประมาณ 2-3 มิลลิเมตร ในลูกกลิ้งคู่สุดท้ายจะใช้ลูกกลิ้งที่ร่องตามแนวทแยงทำให้แผ่นยางแห้งที่ได้เป็นลายปุ่มคล้ายซี่โครงไขว้กัน (Criss-cross rib markings) เพื่อช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวของแผ่นยาง ช่วยทำให้แผ่นยางแห้งง่ายขึ้นและรมควันด้วยควันไฟจะช่วยให้ยางแห้งและป้องกันการเกิดเชื้อรา ช่วยยืดอายุการเก็บรักษา เนื่องจากควันไฟมีสารจำพวกฟีนอล (Phenol) ซึ่งเป็นสารต่อต้านการเกิดเชื้อราตามธรรมชาติ (Natural fungicides) การรมควันให้น้ำยางแห้งนี้ได้กระทำกันมาตั้งแต่สมัยอินเดียนแดงเมื่อเริ่มมีการใช้ประโยชน์ยางธรรมชาติ สามารถทำได้โดยการตากยางแผ่นในโรงรมควัน (Smoke houses) ที่มีการเผาฟืนไม้ให้ควันด้านล่าง โรงรมควันจะมีอุณหภูมิ 60 °C ทำให้น้ำยางแห้งภายใน 4-7 วัน ยางแผ่นรมควันที่แห้งจะใส สีน้ำตาลเข้มอันเนื่องจากควันไฟ

ยางแผ่นรมควันที่แห้งสนิทจะนำมาพิจารณาจัดแยกเกรดหรือชั้น เป็นชั้น 1 ถึง 7 ตามลักษณะ ความสม่ำเสมอของสี ความแห้ง ความสะอาด ปริมาณฟองอากาศและสิ่งสกปรกเจือปนเมื่อแยกชั้นแล้ว ยางแผ่นจะถูกอัดเป็นก้อน (Bale) ก้อนละ 100 กิโลกรัมหรือ 113 กิโลกรัม (250 ปอนด์) โดยมีการเคลือบก้อนยางด้วยแป้ง (Talc) เพื่อป้องกันการติดกันของยาง

ข้อบังคับสากลว่าด้วยมาตรฐานของคุณภาพและการบรรจุหีบห่ออย่างธรรมชาติ จัดแบ่งอย่างแผนรรมควันเป็น 7 ชั้น ดังนี้ [4]

1. ยางแผ่นรมควันชั้น 1 พิเศษ (No. 1X RSS) ต้องมีลักษณะเป็นอันหนึ่งอันเดียวโดยตลอดไม่มีราในแผ่นยาง ไม่มีลายพาดเป็นทาง ไม่มีลักษณะรมควันมากหรือน้อยเกินไป ไม่อ่อนหรือถูกความร้อน ไม่ทึบแสงหรือเป็นรอยไหม้ ต้องแห้งสะอาด แข็งแรง ไม่มีรอยเปราะเปื้อน

2. ยางแผ่นรมควันชั้น 1 (No. 1 RSS) ต้องไม่มีรา (ยกเว้นแผ่นยางที่ห่อหุ้ม) ไม่มีริ้วรอย ไม่อ่อนหรือถูกความร้อน ไม่รมควันมากหรือน้อยเกินไป ไม่ทึบแสงหรือเป็นรอยไหม้ ไม่มีราสนิมหรือทราย ยางต้องแห้ง สะอาด แข็งแรง

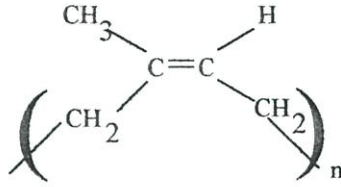
3. ยางแผ่นรมควันชั้น 2 (No. 2 RSS) มีราสนิมและราแห้งไม่เกินร้อยละ 5 ของจำนวนมัดยาง มีฟองอากาศและเปลือกจากต้นยางเป็นชั้นเล็กๆ กระจายเพียงเล็กน้อย ไม่มีลายเป็นทาง ไม่อ่อนหรือถูกความร้อน ไม่รมควันมากหรือน้อยเกินไป ไม่มัวหรือมีรอยไหม้ ต้องแห้งสะอาด แข็งแรง ไม่เป็นแผลพุพอง ไม่มีสิ่งเจือปนอื่นๆ

4. ยางแผ่นรมควันชั้น 3 (No. 3 RSS) มีราสนิมและราแห้งไม่เกินร้อยละ 10 ของจำนวนมัดยาง สีของแผ่นยางมีลักษณะไม่ดีเล็กน้อย มีฟองอากาศและเปลือกต้นยางอยู่เล็กน้อย ไม่อ่อนหรือถูกความร้อน ไม่รมควันมากหรือน้อยเกินไป ยางต้องแห้ง แข็งแรง ไม่มีรอยเปราะเปื้อนเป็นแผลพุพองหรือมีทรายหรือวัสดุอื่น

5. ยางแผ่นรมควันชั้น 4 (No. 4 RSS) มีราสนิมและราแห้งไม่เกินร้อยละ 20 ของจำนวนมัดยาง มีเปลือกยางขนาดปานกลาง มีฟองอากาศและรอยต่าง เหนียวเหนอะหนะเล็กน้อย มีการรมควันมากหรือน้อยเกินไปเพียงเล็กน้อย ไม่มัวหรือไหม้ ยางต้องแห้ง แข็งแรงปานกลาง มีรอยเปื้อน เป็นแผลพุพอง ไม่มีทรายและวัสดุอื่นเจือปน

6. ยางแผ่นรมควันชั้น 5 (No. 5 RSS) มีราสนิมหรือราแห้งได้ไม่เกินร้อยละ 30 ของจำนวนมัดยาง มีเปลือกยางขนาดใหญ่ มีฟองอากาศ แผลพุพอง รอยเปื้อน รมควันมากหรือน้อยเกินไป เหนียวเหนอะหนะเล็กน้อย ไม่อ่อนหรือถูกความร้อนหรือเป็นรอยไหม้ หรือมีรอยพาดเป็นทาง ไม่มีวัสดุอื่นเจือปน

7. ยางแผ่นรมควันชั้น 6 (No. 6 RSS) มีราสนิมหรือราแห้งได้ไม่เกินร้อยละ 35 ของจำนวนมัดยาง มีเปลือกยางขนาดใหญ่มาก มีฟองอากาศ แผลพุพอง รอยเปื้อน รมควันมากหรือน้อยเกินไป เหนียวเหนอะหนะเล็กน้อย มีรอยพาดเป็นทางเล็กน้อย ไม่มีลักษณะอ่อนหรือถูกความร้อนหรือรอยไหม้ ยางแห้ง แข็งแรงปานกลาง ไม่มีวัสดุอื่นปน



รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างของยางธรรมชาติ cis-1,4 polyisoprene [2]

ยางธรรมชาติ เป็นวัสดุที่นิยมใช้และมีการประยุกต์ใช้อย่างมากเนื่องจากยางมีสมบัติที่เด่นคือ มีสมบัติการยืดหด (Elastic) ยืดหยุ่น (Flexible) เหนียว (Tough) แข็งแรง มีการซึมผ่านของน้ำและก๊าซต่ำ มีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุล (MWD) กว้าง น้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง $30K-10^7$ g/mol มีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature, T_g) = -73 °C สามารถรับแรงดึงหรือแรงกดอัดได้อย่างมาก [2]

เนื่องจากในผลิตภัณฑ์ยางจะมีองค์ประกอบหรือสูตรยาง (Compound formula) แตกต่างกันไป เช่น สารเชื่อมโยง สารเร่งการเชื่อมโยง สารกระตุ้น สารตัวเติม (Fillers) สารป้องกันการเสื่อมสภาพ (Antidegradants) ฯลฯ ชนิดและปริมาณของสารเหล่านี้จะมีผลโดยตรงต่อสมบัติของยาง นอกจากนี้วิธีและสภาวะการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง เช่น อุณหภูมิและเวลาในการขึ้นรูป มีความสำคัญและมีผลต่อสมบัติของยางเช่นกัน [2]

ยางสามารถกลับคืนสู่รูปร่างและขนาดเดิมได้อย่างสมบูรณ์เมื่อปล่อยแรงโมเลกุลจะต้องมีการเชื่อมโยง (Crosslinking) เป็นโครงสร้างร่างแห โดยมีพันธะเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่ทุก 100 หน่วยโดยประมาณ เพื่อป้องกันการเคลื่อนที่ผ่านที่ไม่กลับคืนสู่ตำแหน่งเดิม (Irreversible sliding) การเชื่อมโยงในยางสามารถทำได้ 2 วิธี คือ [2]

1. การเชื่อมโยงด้วยพันธะเคมี (Chemical bonding) เช่น การวัลคาไนเซชัน (Vulcanization) ด้วยกำมะถัน (Sulfur) หรือเปอร์ออกไซด์ (Peroxide) ทำให้เกิดพันธะโควาเลนต์ (Covalent bonding) เชื่อมโยงระหว่างสายโซ่โมเลกุลของยาง
2. การเชื่อมโยงเชิงกล บางส่วนของสายโซ่เกิดการรวมเป็นกลุ่มก้อน (Physical aggregates) หรือการยึดติดด้วยแรงเชิงกล เช่น การเกิดผลึกขนาดเล็กหรือก้อนของแข็งคล้ายแก้ว (Glassy domains) ในโครงสร้างของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ (Thermoplastic elastomers, TPEs)

2.2 พลาสติไซเซอร์

พลาสติไซเซอร์ (Plasticizers) เป็นสารเคมีที่เติมลงในพอลิเมอร์เพื่อทำให้อ่อนตัวและดัดโค้งได้ทำให้ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์ที่อุณหภูมิต่ำกว่าเดิม สารเคมีที่ใช้เป็นพลาสติไซเซอร์ต้องมีสมบัติ คือ เป็นสารประกอบอินทรีย์ ควรมีค่าบ่งชี้การละลาย (Solubility parameter) ใกล้เคียงกับพอลิเมอร์ที่จะผสม ถ้าพอลิเมอร์มีแนวโน้มที่ตกผลึกได้สารเคมีที่จะเป็นพลาสติไซเซอร์นั้นควรมีแรงกระทำจำเพาะกับพอลิเมอร์นั้นได้ พลาสติไซเซอร์ไม่ควรตกผลึกที่อุณหภูมิขณะใช้งาน หน้าที่เริ่มต้นของพลาสติไซเซอร์คือ ช่วยให้เกิดช่องว่างระหว่างโมเลกุล พลังงานในการหมุนพันธะ (Bond rotation) จึงลดลง ทำให้พอลิเมอร์ไหลได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิการสลายตัว (Decomposition temperature) ทั้งนี้เพราะสารประเภทนี้เมื่อผสมกับพอลิเมอร์จะแทรกอยู่ระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์จึงเท่ากับลดความแข็งของพอลิเมอร์ สรุปหน้าที่สำคัญของ พลาสติไซเซอร์ ได้แก่ ลดความหนืดโดยทำตัวคล้ายตัวทำละลายและสารหล่อลื่นซึ่งช่วยลดแรงวันเดอวาลล์ (Van der Waals) ระหว่างโซ่พอลิเมอร์ นอกจากนี้ต้องทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ เช่น เพิ่มความอ่อนตัวทำให้สามารถดัดโค้งง่าย ลด Cold flex temperature นั่นคือ ส่งผลต่อ T_g ของพอลิเมอร์ นอกจากนี้เมื่อปริมาณของพลาสติไซเซอร์เพิ่มขึ้น ทำให้ความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์ลดลง แต่ร้อยละการยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์จะเพิ่มขึ้น รวมทั้งความทนแรงกระแทกดีขึ้นด้วย

ในระยะแรกน้ำมันทุกชนิดและขี้ผึ้งนำมาใช้ในอุตสาหกรรมยางเป็นสารทำให้นิ่ม สารที่นิยมใช้มาก คือ ยางมะตอย (Asphalt) น้ำมันลินซีด (Linseed oil) และสเตียรีน (Stearine) ในปลายศตวรรษที่ 19 ขี้ผึ้งพาราฟินและแฟคตัส (Factice) จึงถูกนำมาใช้ สารเหล่านี้คุณสมบัติหลักคือ เพื่อให้การผสมยางกับสารอื่นๆ ทำได้ง่ายขึ้นและเพื่อลดความแข็งของยาง [5]

ในยุคแรกๆของอุตสาหกรรมยางน้ำมันจากปิโตรเลียมถือกันว่าเป็นน้ำมันผสมยางที่ไม่ดี น้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์มีสมบัติดีกว่า ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะน้ำมันในสมัยนั้นมีคุณภาพไม่สม่ำเสมอ อย่างไรก็ตามเมื่อคุณภาพของน้ำมันจากปิโตรเลียมได้มีการพัฒนา มีการแยกน้ำมันออกเป็นชนิดต่างๆ ทำให้สามารถเลือกใช้น้ำมันให้เหมาะสมกับยางหนึ่งๆ จากนั้นพบว่าน้ำมันจากปิโตรเลียมนี้ไม่เพียงแต่ช่วยในการแปรรูปยางเท่านั้น แต่ยังช่วยปรับปรุงสมบัติของยาง [5]

2.2.1 สารหล่อลื่น [6]

สารหล่อลื่น (Lubricants) ใช้ผสมกับพอลิเมอร์มีหลายชนิดและทำหน้าที่ต่างกัน หน้าที่หลัก 3 ประการของสารหล่อลื่นคือ

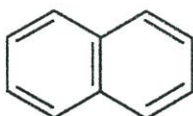
1. วัสดุลดความเสียดทานระหว่างผนังของเครื่องมือเมื่อสัมผัสกับพอลิเมอร์

2. วัสดุที่แพร่ออกมาจากส่วนผสมของพอลิเมอร์ในขณะขึ้นรูปผลิตภัณฑ์และอยู่ระหว่างชั้นของพอลิเมอร์ห่อหุ้มเหลวกับพื้นผิวของโลหะที่ใช้เป็นเครื่องมือในการผลิตขึ้นรูปพลาสติกฟิล์มบางๆ ของสารหล่อลื่นนี้จะช่วยไม่ให้พอลิเมอร์ติดกับผิวหน้าของเครื่องจักรในขณะรีด นั่นคือ การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ทำได้ง่ายขึ้น สารหล่อลื่นประเภทนี้ เรียกว่า สารหล่อลื่นภายนอก (External lubricants) สารหล่อลื่นประเภทนี้ผสมกับพอลิเมอร์ไม่มากนัก ส่วนมากมีหมู่มะขี้ผึ้งและเกิดเป็นฟิล์มบางระหว่างพอลิเมอร์กับผิวเครื่องจักร การเลือกใช้สารหล่อลื่นนอกจากต้องคำนึงถึงชนิดของพอลิเมอร์แล้ว ต้องคำนึงถึงอุณหภูมิในขณะขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ด้วย สารหล่อลื่นควรเป็นของไหลที่อุณหภูมิขณะขึ้นรูปผลิตภัณฑ์และมีค่าบ่งชี้การละลาย (Solubility parameter) แตกต่างจากพอลิเมอร์อย่างน้อย 3 MPa¹²

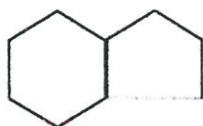
3. สารหล่อลื่นที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำๆ ทำหน้าที่คล้ายอิมัลซิไฟเออร์ ทำให้ส่วนผสมอื่นๆ เข้ากันได้และละลายได้ดีในพอลิเมอร์ ช่วยให้พอลิเมอร์ห่อหุ้มไหลได้สะดวกขึ้น ทำหน้าที่ลดความหนืด ต่างจากพลาสติกไซเซอร์ตรงที่มีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์น้อยมากเมื่อเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป สารหล่อลื่นประเภทนี้ เรียกว่า สารหล่อลื่นภายใน (Internal lubricants)

น้ำมันที่ใช้กับยางในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นส่วนใหญ่ แต่มีกำมะถัน ออกซิเจนและไนโตรเจนปนอยู่บ้างเล็กน้อย โครงสร้างของคาร์บอนและไฮโดรเจนในน้ำมันแตกต่างกัน ซึ่งสามารถจำแนกออกเป็นพวกใหญ่ๆ ได้ 3 พวก คือ [5]

1. น้ำมันอะโรมาติก (Aromatic oil)



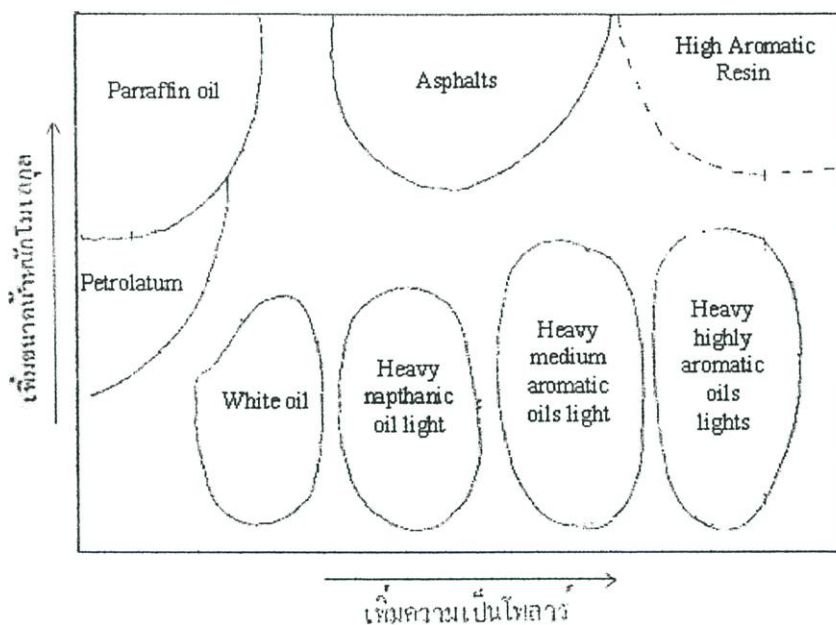
2. น้ำมันแนฟทานิก (Naphthanic oil)



3. น้ำมันพาราฟิน (Paraffinic oil)



น้ำมันอะโรมาติกจะมีโครงสร้างที่เป็นวงอะโรมาติกมาก ถ้าเป็นแนฟทาติกหรือพาราฟินจะมีส่วนของแนฟทาติกหรือพาราฟินมากเช่นเดียวกัน น้ำมันประเภทอะโรมาติกจะแสดงความมีขั้ว (Polar) มากกว่าน้ำมันประเภทพาราฟิน รูปที่ 2.2 แสดงถึงน้ำมันชนิดต่างๆ ที่แบ่งตามความมีขั้วและขนาดน้ำหนักโมเลกุล จากรูปดังกล่าวจะเห็นได้ว่า พวกรพาราฟินแข็ง จะมีน้ำหนักโมเลกุลสูงและมีขั้วน้อย ส่วน White oil จะมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำและมีขั้วน้อยเช่นเดียวกันและในทางตรงข้ามพาราฟินเป็นอะโรมาติกเรซิน (Aromatic resin) ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลสูงและมีขั้วมากเช่นกัน



รูปที่ 2.2 น้ำมันจากปิโตรเลียมที่ใช้ในยางแบ่งตามความมีขั้วและขนาดของโมเลกุล [6]

2.2.2 การตรวจสอบสมบัติของน้ำมัน [5]

วิธีการตรวจสอบสมบัติของน้ำมันและส่วนประกอบทางเคมีอย่างคร่าวๆ สามารถทำได้ด้วยวิธีดังต่อไปนี้

1. การหาจุดอะนิลีน (Aniline point)

Aniline point หมายถึง อุณหภูมิที่น้ำมันกับอะนิลีนที่มีปริมาตรเท่ากัน รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้ เนื่องจากอะโรมาติกนั้นเข้ากันได้ดีกับอะนิลีนมากกว่าน้ำมันแนฟทาติก ดังนั้นน้ำมันอะโรมาติกจึงมีจุดอะนิลีนต่ำกว่าน้ำมันพาราฟิน จุดอะนิลีนเป็นเครื่องชี้ถึงความเป็นอะโรมาติกโดยประมาณเท่านั้น เพราะจุดอะนิลีนนี้ไม่เพียงแต่ขึ้นกับส่วนประกอบทางเคมีของน้ำมันเท่านั้น ยังขึ้นกับน้ำหนักโมเลกุลของน้ำมันอีกด้วย การหาจุดอะนิลีนสามารถทดสอบได้ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D 611

2. ความหนืด (Viscosity)

ความหนืดของน้ำมันขึ้นกับน้ำหนักโมเลกุลของน้ำมันแต่ถ้าน้ำหนักโมเลกุลเท่ากันแล้วน้ำมันที่มีอะโรมาติกสูงกว่าจะมีความหนืดสูงกว่าด้วย

3. ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)

ความถ่วงจำเพาะเป็นเครื่องชี้สมบัติของน้ำมันได้อย่างหนึ่งคือ เนื่องจากความถ่วงจำเพาะของน้ำมันจะสูงตามขนาดโมเลกุลและความเป็นอะโรมาติกของน้ำมัน การหาความถ่วงจำเพาะสามารถทดสอบได้ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D 1298

4. Pour point

Pour point คือ อุณหภูมิของน้ำมันที่เมื่อน้ำมันมีอุณหภูมิต่ำกว่านี้แล้วน้ำมันจะไม่เหลวและเทไม่ได้ สมบัตินี้สำคัญต่อน้ำมันมากโดยเฉพาะในประเทศหนาว เนื่องจากน้ำมันจะขนถ่ายได้มากถ้าน้ำมันเหลว การมี Pour point สูงแสดงให้เห็นถึงน้ำมันเป็นอะโรมาติกที่มีขนาดโมเลกุลสูงและมีปริมาณไข (Wax) มากซึ่งไขนี้เองจะก่อให้เกิดโครงสร้างพนักกันหนาแน่นเมื่อเย็นทำให้น้ำมันไม่เหลว การหา Pour point สามารถทดสอบได้ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D 97

5. ดัชนีการหักเหของแสง (Refractive index)

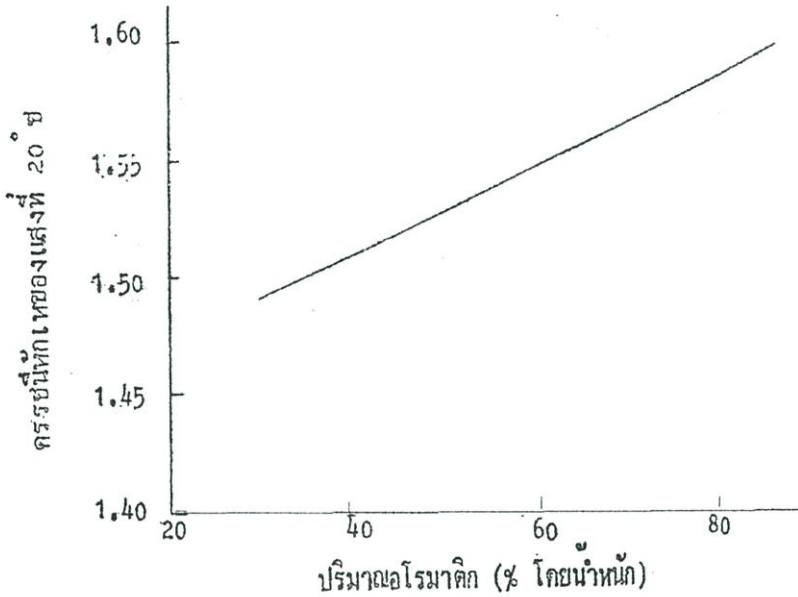
ขึ้นอยู่กับความเป็นอะโรมาติกของน้ำมัน ยิ่งมีความเป็นอะโรมาติกสูงดัชนีการหักเหจะสูงไปด้วย การหาดัชนีการหักเหของแสงสามารถทดสอบได้ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D 1218

6. จุดวาบไฟ (Flash point)

เป็นอุณหภูมิที่เกิดประกายไฟเริ่มแรกที่สังเกตเห็นเมื่อมีการนำเอาไฟเคลื่อนที่ผ่านน้ำมันจะเกิดประกายไฟ การหาจุดวาบไฟเป็นการทดสอบที่สำคัญมากตามการหาจุดวาบไฟสามารถทดสอบได้ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D 92 อุณหภูมิที่ทำให้น้ำมันเกิดประกายไฟเป็นการบ่งบอกถึงจุดเดือดที่ต่ำที่สุดของส่วนประกอบในน้ำมัน การทดสอบนั้นนอกจากจะใช้กับน้ำมันแล้วยังใช้กับตัวทำละลาย น้ำมันเชื้อเพลิง น้ำมันหล่อลื่นและผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม

การตรวจสอบสมบัติของน้ำมัน ขึ้นกับส่วนประกอบทางเคมี ถ้าหากรู้สูตรโครงสร้างทางเคมีของน้ำมันได้แน่นอนแล้วจะสามารถทำนายสมบัติได้ง่ายขึ้น สามารถบอกปริมาณอย่างคร่าวๆ ว่ามีอะโรมาติกมากหรือน้อยจะบอกได้ว่าน้ำมันเป็นอะโรมาติก อะลิฟาติกหรือแนฟทาติก และตามตารางข้างบนจะเห็นได้ว่าน้ำมันหนึ่งๆมีส่วนประกอบต่างๆ กัน การจำแนกน้ำมันสามารถแบ่งตามปริมาณส่วนอะโรมาติกได้ดังนี้

- น้ำมันพาราฟิน มีส่วนอะโรมาติก น้อยกว่าร้อยละ 30
- น้ำมันแนฟทาติก มีส่วนอะโรมาติก อยู่ร้อยละ 30-60
- น้ำมันอะโรมาติก มีส่วนอะโรมาติก อยู่มากกว่าร้อยละ 60



รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะโรมาติกในน้ำมันกับดัชนีหักเหแสงของน้ำมัน [6]

ตารางที่ 2.1 สมบัติบางประการของน้ำมันที่ใช้กับยาง [6]

สมบัติ	พาราฟิน	แนฟทาติก	อะโรมาติก
ความหนืด (Centistokes)			
ที่ 40 °C	19.7	110.2	763.5
ที่ 100 °C	4.0	8.0	17.0
ความถ่วงจำเพาะที่ 15 °C	0.861	0.932	1.018
Viscosity-Gravity Constant (V.G.C.)	0.809	0.885	0.980
ดัชนีการหักเห	1.4751	1.5167	1.5804
ปริมาณร้อยละของคาร์บอนที่เป็น			
อะโรมาติก	3.5	21	45
แนฟทาติก	31	37	18
พาราฟิน	65.5	42	37
จุดอะนิติน (°C)	96.0	75.0	38.2

2.2.3 ผลของน้ำมันต่อสมบัติของยาง [6]

2.2.3.1 ผลของน้ำมันที่มีต่อยางที่ไม่เชื่อมโยง

โดยทั่วไปน้ำมันใส่เข้าไปในยางเพื่อทำให้ยางนิ่มและช่วยในการแปรรูปในการผสมสารตัวเติมเข้าไปในยางจะทำให้ยางแข็งขึ้น ดังนั้นเครื่องที่ใช้ในการผสมจะต้องการกำลังสูงขึ้นด้วย การเพิ่มน้ำมันเข้าไปในยางจะช่วยลดความแข็งของยางลง จนทำให้ผสมได้ง่ายขึ้นและลดกำลังเครื่องจักรที่ใช้ในการผสมลงได้และจะทำให้ลดความร้อนที่เกิดขึ้นในขณะที่ผสมลงได้ด้วย

2.2.3.1.1 ผลต่อค่าความหนืดมูนนี่

น้ำมันชนิดต่างๆ มีผลต่อการลดค่าความหนืดมูนนี่ของยาง เอส.บี.อาร์ ต่างกันถ้าหากว่าใช้น้ำมันในปริมาณเท่ากันแล้ว น้ำมันอะโรมาติกจะทำให้ค่าความหนืดมูนนี่ของยางเอส.บี.อาร์ ต่ำที่สุด เมื่อเทียบกับน้ำมันแนฟทานิกหรือพาราฟิน

2.2.3.1.2 ผลต่อการแปรรูป

การแปรรูปของยางมีความหมายครอบคลุมตั้งแต่การนำยางมาบดใส่สารเคมีจนถึงการเชื่อมโยงยาง ซึ่งจะรวมทั้งการผสมในเครื่องบดสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) ในเครื่องผสมแบบปิด (Internal mixer) การรีดเป็นแผ่น (Calender) และการอัดรีด (Extrusion) การผสมน้ำมันในยางขณะผสมจะทำให้ความหนืดของยางลดลงจนถึงเกณฑ์ทำงานได้ ในกรณีที่ต้องใส่สารตัวเติม (Fillers) ปริมาณมากเข้าไปในยาง ยางจะแห้ง แข็ง ทำให้ต้องใช้พลังงานในการผสมมาก แต่ถ้าใส่น้ำมันเข้าไปช่วยลดความหนืดและความแข็งของยางลง พลังงานในการผสมจะลดลงและความร้อนที่เกิดในขณะที่ผสมก็จะลดลงด้วยทำให้การผสมสารตัวเติมทำได้ง่ายและลดเวลาในการผสมลงไป การผสมสารตัวเติมลงในยางจำเป็นต้องให้สารตัวเติมกระจายได้ทั่วถึงในยางและการกระจายของสารตัวเติม นั้นขึ้นอยู่กับปริมาณของน้ำมันที่ใช้ ลำดับของน้ำมัน ชนิดของสารตัวเติมที่ใส่ลงในยางและส่วนประกอบของน้ำมัน ถ้าใช้น้ำมันมากเกินไปยางจะนิ่มเกินไป การกระจายของสารตัวเติมจะไม่ดี ถ้าใส่น้ำมันตั้งแต่เริ่มต้นก่อนใส่สารตัวเติมจะทำให้ยางนิ่มเกินไป การกระจายของสารตัวเติมจะไม่ดี ดังนั้นในการผสมสารตัวเติมที่เหมาะสมนั้น ควรจะใส่สารตัวเติม และน้ำมันสลับกันไปอย่าให้ยางแข็งเกินไปหรือนิ่มเกินไป ถ้ากำหนดให้ปริมาณของน้ำมันที่ใช้ในยางคงที่แล้ว การกระจายของสารตัวเติมชนิดเขม่าดำ (Carbon black) ในยางจะขึ้นกับชนิดของน้ำมัน น้ำมันอะโรมาติกจะทำให้การกระจายของสารตัวเติมในยางดีที่สุด รองลงมาเป็นแนฟทานิก และพาราฟิน เนื่องจากน้ำมันอะโรมาติกสามารถแทรกเข้าไปในเขม่าดำได้ดี ทำให้เขม่าดำไม่รวมตัวกันทำให้การกระจายของเขม่าดำในยางเป็นไปได้ดี

หลังผสมสารเคมีในยางแล้ว น้ำมันจะเป็นตัวช่วยให้การอัดรีดเป็นไป得更เร็วขึ้นและให้ยางที่มีผิวเรียบ ทำให้สามารถควบคุมการพองตัวของยางเมื่อออกจากแม่พิมพ์และทำให้ยางไหลเต็มแม่พิมพ์ได้ดีเมื่ออัดเข้าไปในแม่พิมพ์ ยางที่ใช้น้ำมันอะโรมาติกจะเชื่อมโยงเร็วกว่ายาง

ที่ใช้ น้ำมัน แนฟทาติกหรือพาราฟิน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะสารที่ไม่ใช่ไฮโดรคาร์บอน กำมะถันหรือไนโตรเจนที่ปะปนอยู่ในน้ำมันได้หรืออาจเป็นเพราะความมีตัวของอะโรมาติกจึงทำให้การเชื่อมโยงของยางต่างกัน แต่เหตุผลนี้ยังไม่มีการยืนยัน

2.2.3.2 ผลต่อยางที่เชื่อมโยง

สมบัติของยางที่เชื่อมโยงมีผลขึ้นกับปริมาณของน้ำมันที่ใส่เข้าไปในยาง ความหนืดของน้ำมันส่วนประกอบของน้ำมันและความเสถียรของน้ำมัน

2.2.3.2.1 ปริมาณของน้ำมัน

การใส่น้ำมันเข้าไปในยางจะทำให้ความแข็งของยางและมอดุลัสของยางลดลง ในกรณีที่ใส่น้ำมันเข้าไปมากๆ จะทำให้ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) และร้อยละการยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break, EB) ลดลง ในกรณีที่ใส่น้ำมันเข้าไปในยางปริมาณมากๆ จนถึงขั้นเรียกว่าเป็นสารเพิ่มเนื้อ (Extender) นั้นจะทำให้ค่าความแข็งแรงดึงและร้อยละการยืด ณ จุดขาดลดลงอย่างมาก โดยทั่วไปน้ำมันจะมีความถ่วงจำเพาะต่ำ ดังนั้นยิ่งใส่น้ำมันมากจะทำให้ความถ่วงจำเพาะของยางลดลงได้ด้วย สมบัตินี้ช่วยให้สามารถควบคุมความถ่วงจำเพาะของยางได้ดี

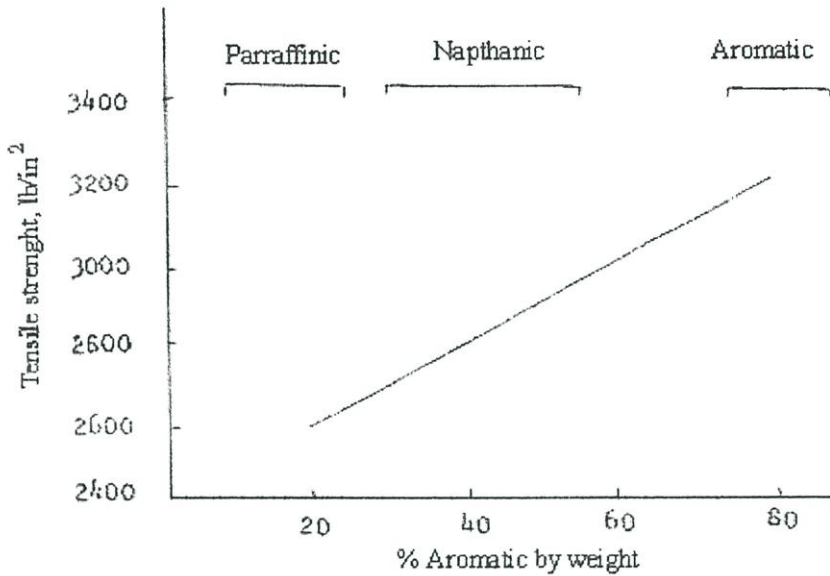
2.2.3.2.2 ความหนืดของน้ำมัน

ความหนืดของน้ำมันขึ้นอยู่กับขนาดโมเลกุลของน้ำมัน ยิ่งน้ำมันมีน้ำหนักโมเลกุลสูงความหนืดสูงตามไปด้วย

2.2.3.2.3 ส่วนประกอบของน้ำมัน

นอกจากความหนืดของน้ำมันจะมีผลต่อความแข็งแรงดึงของยาง ส่วนประกอบของน้ำมันมีผลต่อความแข็งแรงดึงด้วย พบว่ายางเมื่อใช้เคมีดำและน้ำมันผสมเข้าไป น้ำมันอะโรมาติกจะทำให้ยางมีค่าความแข็งแรงดึงสูงกว่าน้ำมันแนฟทาติก และทำนองเดียวกัน น้ำมันแนฟทาติกจะให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงกว่าน้ำมันพาราฟิน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเคมีดำกระจายได้ดีโดยการใช้ น้ำมันอะโรมาติก แต่ถ้าหากให้เวลาในการผสมนานขึ้นแล้วพบว่าน้ำมันพาราฟินจะให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงขึ้นไปเช่นกัน

ค่ามอดุลัส ความแข็ง และความยืดของยางไม่ค่อยมีผลอันเนื่องมาจากการใช้ส่วนประกอบของน้ำมันที่แตกต่างกันนัก แต่กรณีของความแข็งแรงฉีกขาดจะพบว่ายิ่งน้ำมันมีความเป็นอะโรมาติกสูงจะทำให้ความแข็งแรงฉีกขาดสูงและความแข็งต่อการขยายรอยแตกสูงด้วย ทั้งนี้อาจเป็นเพราะความสามารถในการกระจายของเคมีดำในยาง เช่นเดียวกันในกรณีของความยืดหยุ่นและความร้อนสะสม (Heat build up) พบว่าน้ำมันที่มีความเป็นพาราฟินสูงจะให้ความยืดหยุ่นสูงและความร้อนสะสมต่ำ



รูปที่ 2.4 ค่าความแข็งแรงดิ่งกับปริมาณอะโรมาติกในน้ำมัน [5]

2.3 น้ำมันหอมระเหย

เป็นที่ทราบกันดีว่า ดอกไม้ ผล ใบ และราก ของพืช ประกอบด้วย "สารระเหย" (Volatile substances) มักเป็นสารให้กลิ่นหอม (Odoriferous substances) ซึ่งเรียกว่า น้ำมันหอมระเหย (Essential oils) หนึ่งในน้ำมันหอมระเหยที่รู้จักกันดี คือ น้ำมันสน (Turpentine) มีใช้กันตั้งแต่สมัยกรีกโบราณและเป็นเวลามากกว่าสองพันปีแล้วที่มีการสกัดสารให้กลิ่นหอมจากพืช สมัยโบราณเป็นอาชีพที่สำคัญมากและได้มีการพัฒนาจนถึงปัจจุบันนี้ ซึ่งกลายเป็นอุตสาหกรรมใหญ่ น้ำมันที่พบในสัตว์ ได้แก่ น้ำมันตับปลา

กรรมวิธีการผลิตน้ำมันหอมระเหย สามารถผลิตได้ 3 วิธี คือ [7]

1. กรรมวิธีสกัดด้วยตัวทำละลาย โดยการนำตัวทำละลาย (Solvent) เช่น เฮกเซน เป็นต้น มาละลายวัตถุดิบที่ต้องการ เช่น โสม ด้วยการกวนแล้วจึงนำสารละลายที่ได้ผ่านกระบวนการกลั่นในระบบสุญญากาศออกมาเป็นของเหลว

2. กรรมวิธีสกัดด้วยไอน้ำ โดยการใช้ไอน้ำผ่านเข้าวัตถุดิบ เช่น โหระพา กะเพรา ใบมะกรูด ที่หั่น/บดแล้ว ก่อนนำเข้าผ่านกระบวนการควบแน่น จะได้ของเหลวที่เป็นน้ำและน้ำมัน จากนั้นแยกส่วนที่เป็นน้ำมันออกมา แล้วนำไปผ่านการกลั่นแยกอีกครั้ง

3. กรรมวิธีสังเคราะห์ โดยการนำสารเคมีชนิดต่างๆ มาทำปฏิกิริยากัน แล้วนำไปกลั่นให้บริสุทธิ์

องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยมีส่วนประกอบทางเคมีที่ซับซ้อน สามารถจำแนกประเภทได้ 4 กลุ่มหลัก ดังนี้ [8]

1. สารสายโซ่ยาว (Aliphatic compounds)
2. สารเทอร์พีนและสารอนุพันธ์ของเทอร์พีน (Terpene derivatives)
3. สารอนุพันธ์ของเบนซีน (Benzene derivatives)
4. สารประกอบอื่นๆ

วิธีการที่ใช้โดยทั่วไปในการแยกสารในส่วนผสมในการวิเคราะห์น้ำมันหอมระเหย ได้แก่ Capillary gas chromatography โดยการทำให้ตัวอย่างน้ำมันปริมาณเล็กน้อยเกิดการระเหยผ่านโอไรเซอเยไปตามท่อขนาดเล็กมากโดยใช้ก๊าซเฉื่อย เช่น ก๊าซไนโตรเจน โดยมีการควบคุมอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจากวัสดุเฉื่อย เช่น ซิลิกา เคลือบด้วยสารดูดซับชนิดพิเศษบางๆ ซึ่งจะละลายสารที่ระเหยผ่านมา การแยกสารอาศัยหลักความแตกต่างในการละลายในสารดูดซับมีผลต่อความเร็วในการเคลื่อนที่ผ่านท่อ เครื่องตรวจวัดที่ติดตั้งอยู่ในส่วนปลายของหลอดบันทึกคุณลักษณะของสารแต่ละตัวที่ผ่านออกมาจากหลอด มีการรายงานผลเป็นภาพโครมาโตแกรม ซึ่งสามารถนำไปจำแนกชนิดและคำนวณปริมาณที่มีอยู่ได้ ตามปกติ Capillary gas chromatograph จะเชื่อมต่อกับ Mass spectrometer และ Infrared spectrometer สารที่แยกออกมาจากส่วนผสมเข้าสู่ Spectrometer ที่ละชนิดทำให้สามารถวิเคราะห์สารแต่ละชนิดได้ [8]

ในเทคนิค Gas phased spectrometry แสงอินฟราเรดส่องผ่านไปยังตัวอย่างที่ระเหยกลายเป็นไอและทำการตรวจวัดการดูดซับแสง ปริมาณการดูดซับขึ้นอยู่กับธรรมชาติของแสงและความยาวคลื่นแสง ผลการวิเคราะห์ได้ Absorb spectrum ที่เป็นลักษณะเฉพาะของสารที่ทดสอบ การจำแนกชนิดของสารโดยการเปรียบเทียบกับผลที่ได้ในสารมาตรฐาน [8]

ใน Mass spectrometer มีการยิงลำแสงพลังงานสูง (High-energy electrons) ไปยังสารที่นำมาทดสอบ ทำให้เกิดการแตกตัวของโมเลกุลบางส่วนและมีการแตกเป็นไอออน (Ionized) ของโมเลกุลทั้งหมดและชิ้นส่วนของโมเลกุล ทำการบันทึกมวลและประจุ (Electric charge) ของไอออน (Ions) ที่เกิดขึ้นนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลอ้างอิงในคอมพิวเตอร์เพื่อทราบต้นกำเนิดของโมเลกุล ในกรณีที่ไม่สามารถระบุชนิดของสารโดยตรงจากข้อมูลอ้างอิงก็สามารถวินิจฉัยโดยการรวบรวมข้อมูลจากชิ้นส่วนของโมเลกุลต่างๆ ที่แตกตัวมา [8]

การพัฒนา Capillary gas chromatography/mass spectrometry (GC-MS) สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการเพิ่มพูนความรู้ด้านองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยอย่างมาก ปัจจุบันสามารถตรวจสอบและจำแนกชนิดของสารในความเข้มข้นต่ำถึง 1 ppb (part per billion) ทำให้สามารถจำแนกน้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์จากธรรมชาติและน้ำมันที่ซึ่งมีการปรุงแต่ง จากการที่ขั้นตอนของการสังเคราะห์สารประกอบและผลพลอยได้จากกระบวนการนี้เป็นที่รู้จักกว้างขวาง การตรวจพบสารเหล่านี้ในน้ำมันหอมสามารถนำมาใช้ในการตรวจสอบการปลอมปนได้ [8]

2.3.1 น้ำมันมะนาว



รูปที่ 2.5 ผลมะนาว [9]

มะนาว (Lemon) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Citrus aurantifolia* Swingle อยู่ในวงศ์ Rutaceae มีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า *Citrus limonum* เป็นไม้ผลยืนต้นขนาดเล็ก ลักษณะต้นสูงประมาณ 5 เมตร ลำต้นงอ เปลือกสีเทาปนน้ำตาล ใบยาวหรือเป็นรูปไข่ สีเขียวอ่อน กว้าง 3-6 ซม. และยาว 6-12 ซม. ผลมีความยาวประมาณ 7-12 ซม. ผิวเมื่อสุกจะออกสีเหลืองหรือสีทอง มีต่อมน้ำมันที่ผิวเปลือกเห็นได้ชัด ผิวเปลือกมีลักษณะขรุขระ พันธุ์มะนาวที่นิยมปลูก ได้แก่ มะนาวหนัง มะนาวไข่ มะนาวหวาน มะนาวโมพี มะนาวพม่า มะนาวเตี้ย มะนาวทะวาย มะนาวพันธุ์ตาสีติ และมะนาวปีนัง [10]

น้ำมันมะนาว (Lemon oil) จากผิวมันได้มา 2 วิธี [11] คือ การบีบที่อุณหภูมิห้อง (Cold-pressed) และ การกลั่น (Distillation) ซึ่งได้มาจากผิว วิธีการสกัดต่างกันจะทำให้ได้ลักษณะน้ำมันที่แตกต่างกัน รวมถึงกลิ่น น้ำมันที่ได้จากการบีบจะได้ปริมาณน้ำมันที่สูงประมาณ 0.5-0.6 % ของน้ำหนักผล ส่วนน้ำมันที่ได้จากการกลั่นจะได้ปริมาณน้ำมันประมาณ 0.05-0.1 % น้ำมันที่ได้จากการบีบจะมีสีเขียวออกเหลืองซีด มีกลิ่นสดชื่น หวาน มีส่วนประกอบประมาณ 70 องค์ประกอบ จากผิวของมะนาว ส่วนประกอบหลักๆ แสดงในตารางที่ 2.2 น้ำมันส่วนใหญ่จะประกอบด้วย Citral 6 % , Limonene มี 70 % , Pinene 15 % , β -pinene 22 % และ α -terpinene 12% แต่อัตราส่วนนี้จะไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับแหล่งที่มา ส่วนประกอบหลักๆ จะเป็น Limonene ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทั่วไปในน้ำมันมะนาวจะขึ้นอยู่กับแหล่งที่ปลูก วิธีการสกัด พันธุ์มะนาว ฯลฯ

ตารางที่ 2.2 สมบัติบางประการของน้ำมันมะพร้าวที่สกัดด้วยวิธีการบีบ (Cold-pressed) [11]

เมือง/ ประเทศ	ความถ่วง จำเพาะ (20°C)	ดัชนีการ หักเหของ แสง (20°C)	ออกพิตคัล โรเตชัน (20°C)	ความสามารถ ในการละลาย ในแอลกอฮอล์ (95% alcohol)	% อัลดีไฮด์ ในน้ำมัน (%)	กากที่เหลือ จากการระเหย (%)
California, USA	0.849	1.474	+57°	1:3	2.3	1.5
	0.855	1.476	+65°		3.0	1.8
Florida, USA	0.845	1.474	+59°	1:3	2.2	1.4
	0.852	1.476	+67°		3.6	3.0
Arizona, USA	0.846	1.473	+70°	1:3	>2.0	<2.5
	0.851	1.476	+78°			
Italy	0.849	1.474	+57°	1:3	3.0	<2.0
	0.858	1.476	+65°		4.5	
Hungary	0.88	1.479	+20°	1:2.5 (85%)	3.0	n/a
	0.886	1.481	+25°		4.0	
India	0.852	1.472	+67°	1:3	2.5	2.0
	0.86	1.475	+80°		2.8	2.4
Algeria	0.85	1.4754	+68°	n/a	3.0	n/a
New Zealand	0.854	1.474	+46°	n/a	4.0	2.5
	0.857	1.478	+53°		4.2	2.7
Guinea	0.849	1.473	+50°	n/a	3.0	n/a
	0.855	1.476	+70.2°		4.5	
USSR	0.856	1.471	n/a	1:1	<3	n/a
	0.862	1.478				

หมายเหตุ n/a หมายถึง ไม่มีข้อมูล (Not available)

ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างส่วนประกอบของน้ำมันมะนาวที่สกัดจากผิวของมะนาวพันธุ์ต่างๆ [11]

องค์ประกอบ (%)	พันธุ์มะนาว		
	แคลิฟอร์เนีย	ซิซิลี	นิวซีแลนด์
α -thujene	0.44	n/a	n/a
α -pinene	2.15	2.2	2.6
Sabinene	2.68	1.9	3.2
β -pinene	16.58	12.2	22.9
Myrcene	1.33	1.5	n/a
α -terpinene	0.28	0.2	n/a
p-Cymene	0.03	0.3	1.8
Limonene	59.92	66.5	52.0
Gamma-terpinene	9.39	8.8	9.0
Terpinolene	0.36	0.4	0.3
Linalool	0.21	0.2	<0.2
Nonanol	0.21	0.1	<0.2
Terpinen-4-ol	0.1	n/a	<0.2
α -terpineol	0.26	0.2	0.3
Neral	1.07	0.9	1.0
Geranial	1.7	2.0	1.1
Neryl acetate	0.6	0.7	0.7
Geranyl acetate	0.61	0.7	0.6
Caryophyllene	0.26	0.3	0.3
α -bergamotene	0.35	n/a	n/a
β -bisabolene	0.53	n/a	0.3
ปริมาณไฮโดรคาร์บอนรวม		94.44	
ปริมาณอัลดีไฮด์ใน citral รวม		3.2	

หมายเหตุ n/a หมายถึง ไม่มีข้อมูล (Not available)

2.3.2 น้ำมันส้ม [11]

ส้ม (Orange) มีชื่อทางพฤกษศาสตร์ คือ *Citrus Sinensis Osbeck* (syn. *C. aurantium* var. *sinensis* L., *C. aurantium* Lour.) รู้จักกันในชื่อ Sweet orange ปกติส้มมีขนาดกลาง มีใบหนาแน่น มีใบเป็นรูปร่างกรวย มีใบเงาวาว ผลสีทอง ต้นส้มสูง 8-15 เมตร ซึ่งเป็นต้นส้มชนิดแคระแกร็น ปลูกต้นเดี่ยวๆ กิ่งมากพบบ่อยตอนลำต้นเตี้ยๆ อยู่ที่กิ่งจะมีหนาม หนามมีความยาวประมาณ 5 เมตร หนามขึ้นไม่เป็นระเบียบ ทู่ ใบมีสีเขียวมันวาวด้านบน ส่วนด้านล่างของใบมีสีเขียวอ่อน แคบ ใบมีลักษณะเป็นรูปไข่ ปลายใบจะแหลม ก้านใบสั้น

น้ำมันส้ม (Orange oil) ที่สกัดได้ประกอบด้วยโมโนเทอร์พีน (Monoterpenes) ประมาณ 50 % ซึ่งน้ำมันที่ได้มีค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) 0.85-0.86 ออพติคัลโรเตชัน (Optical rotation) $+37^{\circ}$ ถึง $+45^{\circ}$ มีดัชนีการหักเหของแสง (Refractive index) 1.472-1.473 ความสามารถในการละลายในแอลกอฮอล์ 90 % ได้ 1:2, 1:3 v/v

น้ำมันส้มที่ได้จากผิวจะได้ 0.5-2.5 % แต่บางที่อาจมีมากถึง 3.5 % ตามแหล่งที่ปลูก ส่วนประกอบของอัลดีไฮด์ (Aldehydes) จะลดลงเล็กน้อยหลังจากมีการเจริญเติบโตของผลไม่อย่างเต็มที่ องค์ประกอบน้ำมันจะเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล ตามแหล่งที่ปลูก บางที่แหล่งที่ปลูกอาจมีองค์ประกอบเหมือนกันแต่อาจแตกต่างกันตามพื้นที่และประเทศ

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบของน้ำมันส้มในฤดูกาลต่างๆ ในฟลอริดา [11]

องค์ประกอบ (%)	ต้นฤดู	กลางฤดู	ปลายฤดู
α -pinene	0.54	0.46-0.54	0.50-0.62
Myrcene	2.08	2.02-2.05	1.78-2.18
Limonene	95.37	94.87-95.20	94.71-95.24
Linalool	0.25	0.48-0.62	0.46-0.56
Citronellal	0.10	0.10-0.12	0.12-0.20
Decanal	0.24	0.30-0.39	0.35-0.46
Neral	0.06	0.05-0.08	0.05-0.09
Geranial	0.12	0.14-0.17	0.12-0.17
Perillaldehyde	0.02	0.02-0.03	0.02-0.03
Dodecanal	0.03	0.04-0.06	0.05-0.07
β -elemene	0.05	0.05-0.06	0.04-0.06
β -caryophyllene+beta-copaene	0.04	0.07	0.07-0.09
β -farnesene	0.01	0.02	0.02
Valencene	0.04	0.09-0.12	0.07-0.15
β -sinensal	0.07	0.07	0.07-0.13
α -sinensal	0.02	0.02-0.04	0.02-0.06

ตารางที่ 2.5 สมบัติบางประการของน้ำมันส้มที่ใช้ทางการค้าในสหรัฐอเมริกา [11]

สมบัติ	การบีบ	การกลั่น
ความถ่วงจำเพาะ (25°C)	0.824-0.844	0.84-0.842
ดัชนีการหักเหของแสง (25°C)	1.472-1.473	1.471-1.473
มุมหักเหของแสง (25°C)	+95° to +98°	+97° to +99°
กากที่เหลือจากการระเหย (%)	2-3	0.5-1.5
% ปริมาณอัลดีไฮด์ใน Decanal	1.5-2.0	1.7-2.5

2.3.3 น้ำมันมะกรูด [13]



รูปที่ 2.6 ผลมะกรูด [12]

น้ำมันมะกรูด (Kaffir lime oil) ชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า *Citrus hystrix* D.C. ตระกูล *Rutaceae* แหล่งที่ปลูกคือ แถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ต้นมะกรูดเจริญเติบโตได้ดีในที่ที่มีแสงแดด ลำต้นเล็ก ตั้งตรง ผลเกือบกลม สีเขียวเข้ม มีรสเปรี้ยว ขมเล็กน้อย และมีกลิ่นหอมมาก ใบของมะกรูดจะแตกต่างจากใบไม้ทั่วไปจะมี 2 ใบในใบเดียว มีสีเขียวเข้ม เป็นมันวาว ผิวของใบมะกรูดมีกลิ่นหอมมาก น้ำมันถูกใช้เป็นส่วนประกอบในน้ำหอม น้ำมันมะกรูดได้จากการกลั่นโดยไอน้ำโดยใช้ใบมะกรูดสดเป็นวัตถุดิบ ซึ่งน้ำมันที่ได้จะมีคุณภาพสูงและมีความบริสุทธิ์สูง

ส่วนประกอบของน้ำมันมะกรูดที่สำคัญคือ Monoterpene 97.2 % ได้แก่ β -pinene 39.3 %, Limonene 14.2 %, Citronellal 11.7 %, Terpinene-4-ol 8.9 % ฯลฯ [13]

2.4 การผสมยาง [2]

การผสมยางหรือการคอมปาวด์ยาง (Rubber compounding) คือ ขั้นตอนการผสมยางดิบ (ยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์) ที่ยังไม่ผ่านกระบวนการเชื่อมโยง (Vulcanization) กับสารเติมแต่ง (Additives) ต่างๆ ของยาง องค์ประกอบสำคัญของยางผสมสูตรหรือยางคอมปาวด์ (Rubber compound) ได้แก่

- ยาง (Elastomers) เป็นองค์ประกอบหลัก สามารถเลือกใช้ได้หลายรูป เช่น ยางดิบ ยางมาสเตอร์แบทช์ (Masterbatches) หรือยางผสมสูตรสำเร็จ ยางผสมน้ำมัน (Rubber oil) ยางผสมเขม่าดำ (Rubber-carbon black) ยางรีเคลม (Reclaimed rubber) หรือยางเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic elastomer, TPEs)

- สารเชื่อมโยง (Vulcanizing agent) เช่น กำมะถัน (Sulfur, S) เปอร์ออกไซด์ (Peroxide) ออกไซด์ของโลหะ (Metal oxides) ฯลฯ ทำหน้าที่เปลี่ยนโครงสร้างของยางจากสายโซ่ตรงเป็นโครงสร้าร่างแหสามมิติ (3-D Network) โดยทำให้เกิดพันธะเคมีเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่โมเลกุลยาง (ยกเว้นโครงสร้าร่างของยางเทอร์โมพลาสติก (TPEs))
 - สารเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยง (Accelerators) อาจเรียกสั้นๆ ว่า "สารเร่ง" ทำหน้าที่ช่วยสารเชื่อมโยงทำให้มีอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยง (Rate of vulcanization) เร็วขึ้น ลดเวลาเชื่อมโยง (Cure time) ทำให้เกิดการเชื่อมโยงอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นและใช้สารเชื่อมโยงน้อยลง นอกจากนี้ยังทำให้สมบัติของยางที่ผ่านการเชื่อมโยงดีขึ้นด้วย
 - สารกระตุ้นปฏิกิริยาเชื่อมโยง (Activators) อาจเรียกสั้นๆ ว่า "สารกระตุ้น" ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยงโดยเกิดเป็นสารเชิงซ้อนกับสารเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยง (Accelerators) ทำให้สารเร่งมีประสิทธิภาพในการทำงานมากขึ้น มีอัตราเร็วของการเชื่อมโยงสูงขึ้น เวลาเชื่อมโยงลดลง
 - สารตัวเติมหรือสารเพิ่มเนื้อ (Fillers) เป็นสารราคาถูก ทำหน้าที่เพิ่มเนื้อหรือลดต้นทุนให้กับผลิตภัณฑ์ยาง สารตัวเติมบางชนิดนอกจากใช้ลดต้นทุนแล้วยังเพิ่มความแข็งแรงหรือเสริมแรง (Reinforcement) ให้กับยาง เช่น เขม่าดำ (Carbon black, CB) ซิลิกา (Silica) ฯลฯ
 - สารช่วยกระบวนการผลิต (Processing aids) คือ สารเคมีที่ใส่เพื่อช่วยปรับปรุงความสามารถในการผสมหรือขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางได้ง่ายขึ้น
 - สารป้องกันการเสื่อมสภาพ (Antidegradants หรือ Age-Resistors) ได้แก่ สารป้องกันออกซิเดชันหรือแอนตี้ออกซิแดนท์ (Antioxidants) สารป้องกันโอโซนหรือแอนตี้ออโซนแนนท์ (Antiozonant) รวมทั้งสารอื่นๆ ที่ช่วยลดการเสื่อมสภาพของยางจากสิ่งแวดล้อม เช่น ออกซิเจน โอโซน แสงแดด ความร้อน รังสียูวี (UV radiation) ฯลฯ
 - พลาสติไซเซอร์ (Plasticizers) หรือสารเพิ่มความนิ่ม (Softeners) คือ สารที่ใส่เพื่อเพิ่มความนิ่มหรือความยืดหยุ่นของยาง
 - สารหล่อลื่น (Lubricants) ช่วยหล่อลื่นหรือลดแรงเสียดทานระหว่างวัสดุหรือหล่อลื่นระหว่างเครื่องผสมกับวัสดุ ช่วยกระบวนการผลิตทำให้ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางได้ง่ายขึ้น
 - สารเติมแต่งอื่นๆ (Miscellaneous ingredients) เติมเพื่อเพิ่มสมบัติบางประการ เช่น
 - สารหน่วง (Retarders) ทำให้เกิดการเชื่อมโยงช้าลง มีเวลานานเพียงพอในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง
 - สารให้สี (Colorants) เปลี่ยนสีของผลิตภัณฑ์ยางให้มีสีสันสวยงามตามต้องการ
 - สารให้ฟอง (Blowing agents) ใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีรูพรุน มีโครงสร้างแบบเซลลูลาร์ (Cellular structure) เช่น ฟองน้ำยาง โฟม

- สารให้กลิ่น (Odorants) ทำให้ผลิตภัณฑ์ยางมีกลิ่นหอมหรือระงับกลิ่นของยางที่ไม่พึงปรารถนา

- สารเพิ่มการยึดติด (Tackifiers) ช่วยเพิ่มสมบัติการยึดติด (Tackiness) ที่ผิวหน้ายาง ให้เหนียวและยึดติดกับวัสดุอื่นหรือยางด้วยกันเองได้ดีขึ้น

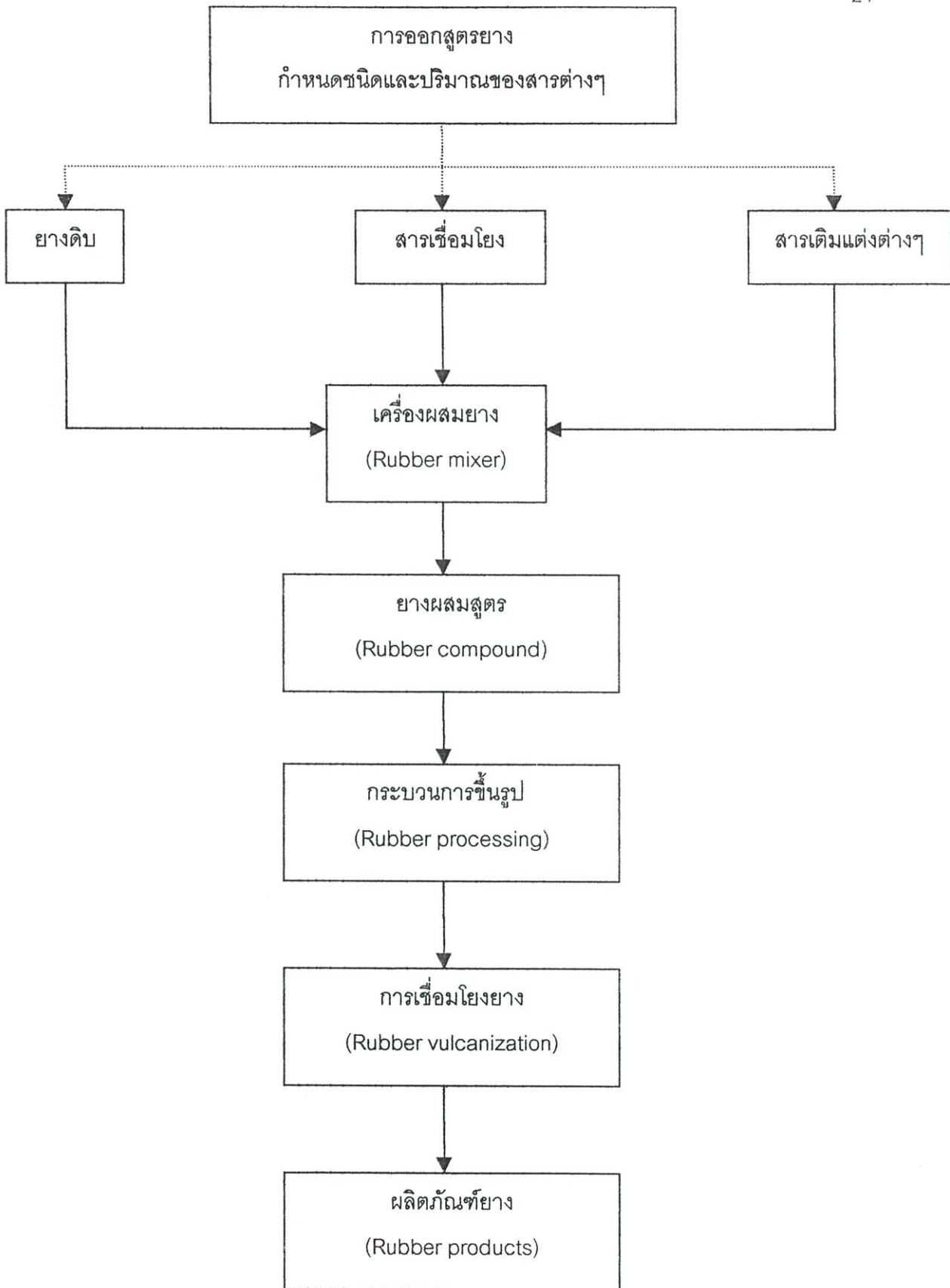
จะเห็นได้ว่าการผลิตผลิตภัณฑ์ยางชนิดหนึ่ง ต้องใช้สารเติมแต่งหลายชนิดและมีจำนวนมากที่สำคัญคือจำเป็นต้องมีการผสมสารเชื่อมโยงและสารตัวเติม การผสมยางจึงเป็นขั้นตอนหนึ่งที่มีความสำคัญยิ่งต่อกระบวนการผลิตและมีผลต่อสมบัติของผลิตภัณฑ์ยาง เนื่องจากการผสมยางไม่ดีหรือไม่มีประสิทธิภาพอาจทำให้สารเติมแต่งไม่กระจายตัวหรือเกิดการเชื่อมโยงก่อนเวลา ทำให้ไม่ได้ผลิตภัณฑ์ยางที่มีสมบัติตามต้องการ เครื่องผสมที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมยางมีหลายชนิด ได้แก่ เครื่องผสมแบบเปิดชนิดสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) เครื่องผสมภายใน (Internal mixer) แบบบานบุรี (Banbury mixer) ฯลฯ เครื่องผสมแต่ละชนิดมีหลายขนาดตั้งแต่ขนาดเล็ก ใช้ในห้องปฏิบัติการหรือมีขนาดใหญ่มากสำหรับใช้ในอุตสาหกรรม เครื่องผสมแบบ Two-roll mill มีข้อดี คือ ราคาถูก ใช้งานง่าย นิยมใช้แพร่หลาย แต่ใช้เวลาผสมนานกว่าและต้องใช้แรงงานผู้ผสมมากกว่า เทียบกับเครื่องผสมแบบ Internal mixer (เช่น Banbury mixer) ซึ่งมีราคาแพง แต่ให้แรงเฉือนมากกว่าเกิดการกระจายตัวในการผสมดีกว่าและใช้เวลาในการผสมน้อยกว่า นอกจากนี้ยังผสมยางแต่ละครั้ง (Batch) ในปริมาณมากกว่า

ขั้นตอนในการผลิตผลิตภัณฑ์ยางสามารถแสดงได้ดังแผนผังในรูปที่ 2.7 นี้ เริ่มต้นกระบวนการผลิตจำเป็นต้องมีการ " ออกสูตรยาง " (Rubber formulation) คือ การกำหนดชนิดและปริมาณยางและสารเติมแต่ง (Additives) ต่างๆ ที่จะผสมเข้ากันเป็นยางผสมสูตร ทั้งการผสมและสูตรยาง (Rubber formulas หรือ Recipes) รวมทั้งชนิดและปริมาณของสารเติมแต่งเหล่านี้ จะมีผลโดยตรงกับสมบัติต่างๆ ของยาง หลักการออกสูตรยางมีดังนี้

- การกำหนดสัดส่วนปริมาณของสารต่างๆ ในสูตรยางจะกำหนดเป็น " phr " (Parts per hundred of rubber) หรือส่วนในร้อยส่วนของยาง นั่นคือ สัดส่วนโดยน้ำหนักของสารต่อยางหนัก 100 กรัม ทั้งนี้เพื่อให้ง่ายต่อการเปรียบเทียบและการปรับสูตรยาง

- ปกตินิยมเขียนสูตรยางเรียงตามลำดับของการผสมยางเพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน

- จากน้ำหนักรวมของวัสดุที่ใช้ในสูตรสามารถใช้ในการคำนวณราคาต้นทุนการผลิตต่อน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ยาง

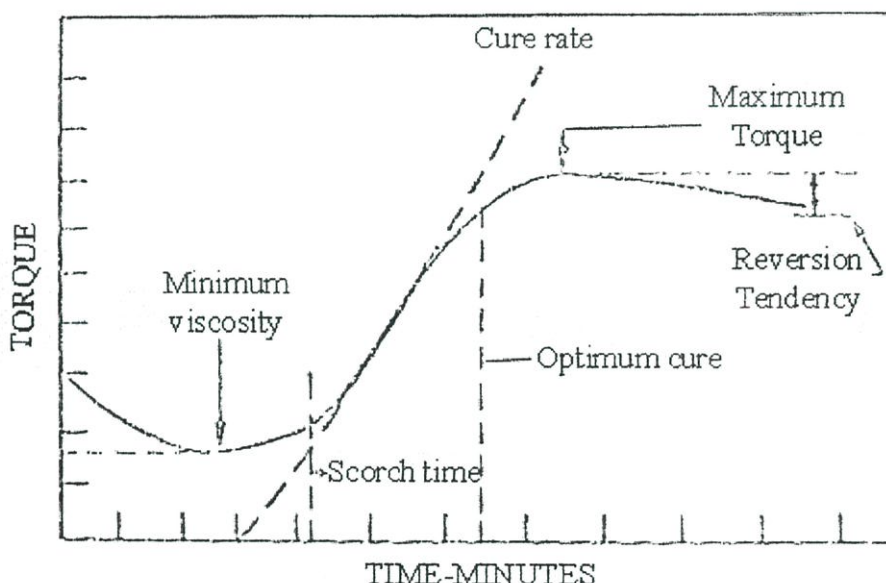


รูปที่ 2.7 แผนผังแสดงขั้นตอนการผลิตผลิตภัณฑ์ยาง [2]

2.5 การทดสอบสมบัติของยาง

2.5.1 เครื่องวัดการเชื่อมโยงของยาง (Moving Die Rheometer, MDR) [2]

Moving Die Rheometer, MDR เป็นเครื่องวัดลักษณะการเชื่อมโยงของยางที่มีประโยชน์อย่างมาก และใช้กันมากในการควบคุมกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมยาง ในการเปลี่ยนจากยางไม่เชื่อมโยง (Uncured rubber) ไปเป็นยางเชื่อมโยง (Cured rubber) โดยสามารถศึกษาและตรวจสอบได้จากเส้นกราฟของการเชื่อมโยง ซึ่งจะได้จากการนำยางผสมสูตรไปทดสอบโดยใช้เครื่องวัดลักษณะการเชื่อมโยงของยางที่อุณหภูมิคงที่ จะได้กราฟของการเชื่อมโยงที่แสดงความสัมพันธ์กันระหว่างค่าแรงบิด (Torque) กับเวลาที่ใช้ในการเชื่อมโยง จะเห็นว่าการเปลี่ยนจากยางไม่เชื่อมโยงไปเป็นยางเชื่อมโยง สามารถแบ่งระยะเวลาที่ใช้ในการทำใหยางเชื่อมโยงเป็น 3 ระยะ คือ



รูปที่ 2.8 กราฟการเชื่อมโยงของยาง [5]

ระยะที่ 1 : ช่วงระยะเวลาในการแปรรูป (Processing time)

ความสามารถในการแปรรูปเป็นสมบัติของยางผสมสูตรที่อยู่ในสถานะไม่เชื่อมโยง ซึ่งยางยังคงมีความสามารถในการขึ้นรูปเป็นยางเชื่อมโยง เทคนิคที่ใช้ในการขึ้นรูป ได้แก่ การบดรีด (Milling) การอัดรีด (Extrusion) และการรีดเป็นแผ่นบางสม่ำเสมอ (Calendering) ความสามารถในการแปรรูปจะขึ้นอยู่กับความหนืดของยางผสมสูตร ซึ่งเป็นสมบัติในการแข็งต่อการไหลของยาง และเวลาที่ใช้ในการเชื่อมโยงโมเลกุลของยางภายใต้สภาวะที่ใช้ในการแปรรูป ค่าความหนืดวัดได้จากแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปยางเป็นรูปร่างแบบต่างๆ เวลาเริ่มเชื่อมโยงเป็นเวลาเริ่มต้นในการเชื่อมโยงโมเลกุลของยางหรือเวลาสกอร์ช (Scorch time) ยางผสมสูตรที่เปลี่ยนแปลงปริมาณและชนิดของสารตัวเร่ง กำมะถัน ปริมาณและชนิดของสารตัวเติม ปริมาณและชนิดของยาง น้ำมันผสมยาง

และสารเติมแต่ง จะส่งผลต่อเวลาเริ่มเชื่อมโยง (Scorch time) เวลาเชื่อมโยง (Cure time) และความหนืดของยางผสมสูตร

ระยะที่ 2 : เวลาเชื่อมโยง (Curing time)

เวลาเชื่อมโยงของยาง ค่ามอดุลัส หรือค่าแรงบิดจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการเชื่อมโยง เวลาเชื่อมโยงเป็นระยะเวลาที่ผลิตภัณฑ์ยางยังอยู่ในแม่พิมพ์ ซึ่งอยู่ในระหว่างการอัดร้อน ระยะเวลาในการเชื่อมโยงจะขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของสารตัวเร่ง อุณหภูมิในการทำให้ยางเชื่อมโยง ปริมาณของกำมะถันและชนิดของยางที่ใช้

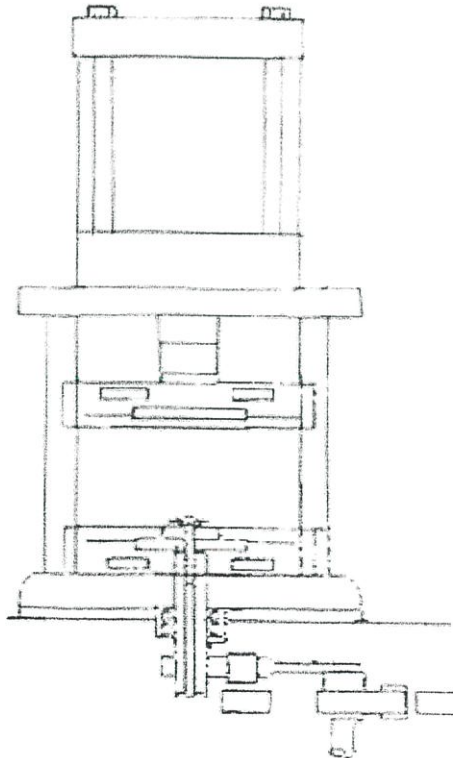
ระยะที่ 3 : การเชื่อมโยงของยาง (Cure)

การเชื่อมโยงของยางเป็นสภาวะขั้นสุดท้ายในวัฏจักรการเชื่อมโยงของยาง ซึ่งจะเป็นสภาวะที่ยางเชื่อมโยงสูงสุด (Maximum cure) สภาวะในการเชื่อมโยงของยางจะส่งผลโดยตรงต่อสมบัติเชิงกลของผลิตภัณฑ์ยางที่ได้ ได้แก่ ค่าความแข็งแรงดึง มอดุลัส ความแข็งกด ร้อยละการยืด ณ จุดขาด ปริมาณของสารตัวเร่งและกำมะถันซึ่งเป็นสารเคมีจะส่งผลโดยตรงต่อสภาวะในการเชื่อมโยง ดังนั้นเมื่อมีการคำนวณหรือตั้งปริมาณของสารตัวเร่งและกำมะถันผิดพลาด จะส่งผลโดยตรงต่อสมบัติเชิงกลของผลิตภัณฑ์ยางที่ได้ ดังนั้นในอุตสาหกรรมจึงนิยมใช้เครื่อง Moving Die Rheometer (MDR) ในการควบคุมกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ยาง เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ยางที่มี คุณภาพสม่ำเสมอทุกๆ ครั้งของการผลิต

Moving Die Rheometer (MDR) เป็นเครื่องวัดสมบัติการเชื่อมโยงของยางที่มีประสิทธิภาพและนิยมใช้กันแพร่หลายในอุตสาหกรรมยาง โดยสามารถใช้ในการตรวจสอบเวลาเริ่มเชื่อมโยง (Scorch time) อัตราการเชื่อมโยง (Cure rate) เวลาเชื่อมโยง (Cure time) และสมบัติเชิงกล โดยการเปรียบเทียบกับค่าแรงบิดสูงสุดตามมาตรฐานที่ทราบ MDR มีหลักการพื้นฐานคล้ายกับเครื่องวัดความหนืดหมุนนี้ ประกอบด้วย ช่องใส่ยางผสมสูตรตัวอย่าง มีแกนการลั่นด้วยมุมเล็กน้อย 1 หรือ 3 องศา โดยจะให้ความร้อนแก่ยางผสมสูตรตัวอย่างที่อุณหภูมิคงที่จะได้ผลเป็นกราฟระหว่างค่าแรงบิดกับเวลาในการทำให้ยางเชื่อมโยง ในโรงงานอุตสาหกรรมยางที่มีระบบการควบคุมการผลิตที่ดีจะต้องมีการตรวจสอบลักษณะการเชื่อมโยงของยางโดยใช้เครื่อง MDR หรือเครื่องวัดการเชื่อมโยงของยางแบบอื่นๆ ทุกๆ ครั้งที่มีการผลิตยางผสมสูตรก่อนที่จะนำยางผสมสูตรไปขึ้นรูปและทำให้ยางเชื่อมโยง เพื่อเป็นการตรวจสอบความผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นได้ โดยจะเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะการเชื่อมโยงของยาง ซึ่งจะส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของผลิตภัณฑ์ยาง ในโรงงานอุตสาหกรรมยางจะทำการผสมสูตรยางแต่ละครั้งใช้เวลาประมาณ 6-8 นาที ในเครื่องผสมแบบปิด (Banbury) หลังจากนั้นจะทำการบดรีดยางและตัดชิ้นยางผสมสูตรเพื่อทำการตรวจสอบลักษณะการเชื่อมโยงของยางโดยใช้เครื่อง MDR ซึ่งจะใช้เวลาในการทดสอบประมาณ 5-6 นาที

MDR มีสมบัติเด่นหลายประการ คือ

1. มีความสะดวกและรวดเร็วในการควบคุมกระบวนการผลิต ใช้เวลาไม่เกิน 5 นาทีที่สามารถบอกสมบัติต่างๆ ของยางผสมสูตรดังนี้
 - ความสามารถในการแปรรูปหรือการไหลเนื่องจากความร้อน โดยดูได้จากค่าแรงบิดต่ำสุด (Minimum torque)
 - เวลาเริ่มเชื่อมโยง (Scorch time) ทำให้ทราบระยะเวลาปลอดภัยที่ใช้ในการแปรรูป
 - อัตราการเชื่อมโยงและความคลาดเคลื่อนจากมาตรฐานที่กำหนด
 - ค่ามอดุลัสที่เปลี่ยนแปลงจากมาตรฐานที่กำหนด
2. ลดระยะเวลาและจำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบความหนืดมูนี้และสมบัติเชิงกลของผลิตภัณฑ์ยางทุกครั้งที่มีการผลิต
3. สามารถใช้เป็นข้อมูลในการยอมรับและไม่ยอมรับยางผสมสูตรในแต่ละครั้งที่ทำการผสมสูตรโดยจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ยางที่ผลิตได้มีคุณภาพตรงตามมาตรฐานที่กำหนดและลดปริมาณการสูญเสียและลดของเสียที่เกิดขึ้นในโรงงานอุตสาหกรรมยางได้เป็นอย่างดี



รูปที่ 2.9 เครื่องวัดการเชื่อมโยงยาง (Moving Die Rheometer, MDR) [6]

2.5.2 เครื่องวัดความหนืดมูนนี่ [2]

เครื่องวัดความหนืดมูนนี่ (Mooney viscometer) ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 1646 [12] และ ISO 289 เป็นเครื่องมือทดสอบสมบัติการไหลหรือความหนืดของยางทุกชนิด ทั้งยางดิบและยางคอมปาวด์ (Rubber compound) หรือยางผสมสูตรที่ผสมสารเติมแต่งแล้ว สามารถใช้ประโยชน์จากการทดสอบในหลายลักษณะคือ หาค่าความหนืดมูนนี่ (Mooney viscosity, MV) ของยางดิบและยางผสมสูตรเพื่อทดสอบมาตรฐานของยางหรือเพื่อควบคุมคุณภาพ

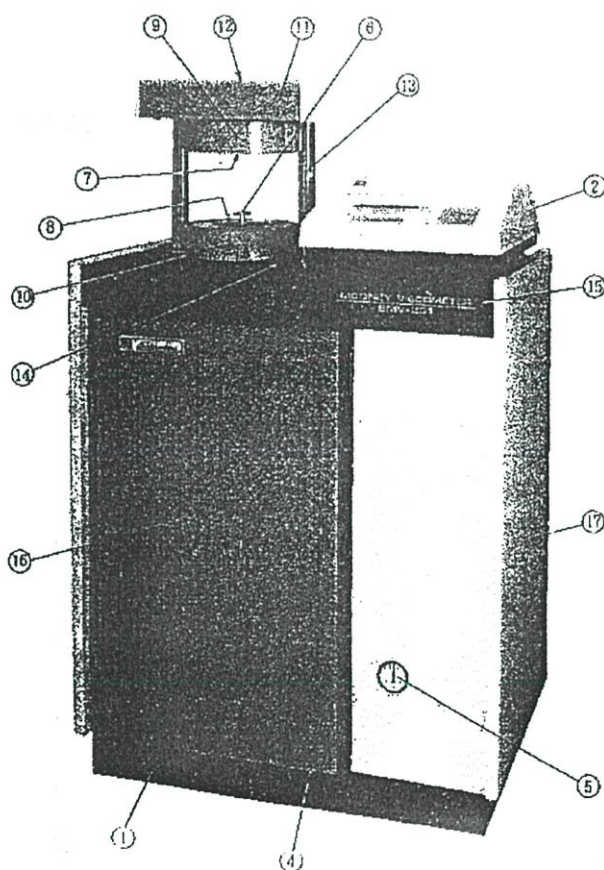
องค์ประกอบของเครื่องวัดความหนืดมูนนี่ประกอบด้วย จานหมุนโลหะ (Rotor) “หมุน” อยู่ในตัวอย่างยางที่อยู่ภายในห้องทดสอบตัวอย่างปิดที่ควบคุมอุณหภูมิและความดันตามกำหนด จานหมุนโลหะจะหมุนที่ความถี่คงที่เท่ากับ 2 ± 0.02 รอบต่อนาที (rpm) ให้อัตราเร็วเฉือนเฉลี่ย (Average shear rate) ต่ำ (ประมาณ $1-2 \text{ s}^{-1}$) อุณหภูมิภายในห้องทดสอบ (Test chamber) จะควบคุมเท่ากับอุณหภูมิขึ้นรูปหรืออุณหภูมิเชื่อมโยงยาง เช่น 100°C , 120°C , 125°C , 130°C เป็นต้น ที่ผิวด้านในของห้องทดสอบจะมีลักษณะเป็นร่อง เพื่อเพิ่มแรงเสียดทานและป้องกันการเลื่อนไถลของยางกับผิวโลหะ ค่าความแข็งที่ยางมีต่อการหมุนจานโลหะที่มียางห่อหุ้มอยู่จะทำให้เกิดแรงบิด (Torque) เครื่องจะมีระบบวัดแรงบิดนี้และเปลี่ยนให้เป็นหน่วยความหนืดมูนนี่ (Mooney viscosity, MV) ซึ่งเป็นค่าความหนืดที่ไม่มีหน่วย เป็นค่าความหนืดพิเศษที่กำหนดขึ้นสำหรับการวัดความหนืดโดยเครื่องวัดความหนืดนี้โดยเฉพาะและไม่มีความสัมพันธ์กับค่าความหนืดของของเหลวแบบอื่นๆ กำหนดให้แรงบิด (Torque) 8.30 ± 0.02 นิวตัน-เมตร (N-m) มีค่าเท่ากับความหนืดมูนนี่ 100 ± 0.5 หน่วยมูนนี่

จานหมุน (Rotor) จะมีลักษณะผิวเป็นร่อง เพื่อเพิ่มผิวสัมผัสและแรงเสียดทาน เป็นการป้องกันการเลื่อนไถลระหว่างจานโลหะกับยางตัวอย่าง ในการทดสอบค่าความหนืดมูนนี่มีการใช้จานหมุนโลหะ 2 ขนาด คือ

1. จานหมุนขนาดใหญ่ (Large rotor, L) มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 38.10 ± 0.03 มิลลิเมตร หนา 5.54 ± 0.03 มิลลิเมตร ใช้สำหรับการทดสอบยางทั่วไป
2. จานหมุนขนาดเล็ก (Small rotor, S) มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 30.48 ± 0.03 มิลลิเมตร หนา 5.54 ± 0.03 มิลลิเมตร ใช้สำหรับการทดสอบยางที่มีความหนืดสูงมาก เมื่อวัดความหนืดด้วยจานหมุนขนาดใหญ่แล้วได้ค่ามูนนี่เกิน 200 หน่วย เนื่องจากจานหมุนขนาดเล็กมีพื้นที่ผิวสัมผัสกับยางน้อยกว่าจานหมุนขนาดใหญ่ ทำให้ได้ค่าความหนืดมูนนี่น้อยกว่าจานหมุนขนาดใหญ่

ยางที่ทำการทดสอบความหนืดมูนนี่สามารถเตรียมตัวอย่างยางได้โดยการรีดด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) ให้เป็นเนื้อเดียวกันและเป็นแผ่นหนาประมาณ 1 เมตร หรือ $3/8$ นิ้ว วางตัวอย่างทิ้งไว้อย่างน้อย 30 นาที แล้วนำไปตัดชิ้นตัวอย่าง 2 แผ่นขนาดใหญ่กว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของจานหมุน (ประมาณ 4.5-5.0 มิลลิเมตร) จากนั้นนำตัวอย่างวางประกบด้านบนบน

และด้านล่างของจานหมุน (ควรเจาะรูที่แผ่นยางที่ประกบด้านล่างเพื่อใส่แกนของจานหมุน) อาจใช้แผ่นเซลโลเฟนหรือแผ่นพลาสติกบาง 0.25 มิลลิเมตร (0.001 นิ้ว) รองป้องกันตัวอย่างยางเหนียวติดผนังด้านในของห้องทดสอบ เมื่ออุณหภูมิของเครื่องเท่ากับอุณหภูมิที่ทดสอบ (เช่น 100 °C สำหรับยางดิบ 125 °C สำหรับยางผสมสูตรเพื่อคุณลักษณะการเชื่อมโยง ฯลฯ) ให้ทำการปิดห้องทดสอบ ยางภายในห้องนี้จะได้รับความร้อนช่วงแรกตามเวลาที่กำหนด (Preheat time) นิยมใช้เท่ากับ 1 นาที ก่อนเริ่มทำการเดินเครื่องให้จานโลหะหมุน ผลการทดสอบจะแสดงในรูปของกราฟระหว่างความหนืดมูนีกับเวลาที่ผ่านไป ค่าความหนืดมูนีอ่านเมื่อเวลาผ่านไปเท่ากับระยะเวลาที่กำหนด นิยมอ่านค่าเมื่อเวลาผ่านไป 4 นาที



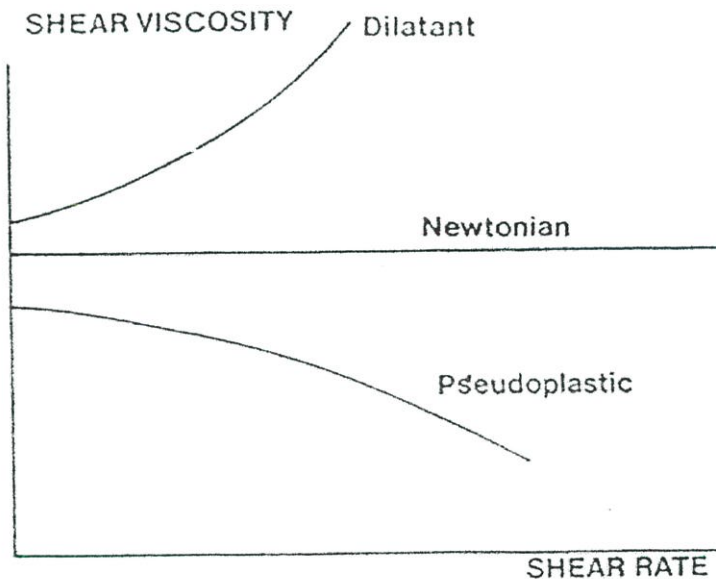
รูปที่ 2.10 เครื่องวัดความหนืดมูนี (Mooney viscometer) [2]

2.5.3 เครื่องทดสอบการไหลคาปิลลารีโอมิเตอร์ (Capillary rheometer) [14,15]

เป็นเครื่องมือมาตรฐานสำหรับศึกษาสมบัติการไหลของพลาสติก ยางดิบ และยางผสมสูตร วัสดุที่ใช้ทดสอบจะไหลผ่านตาย (Die) ที่มีหน้าตัดเป็นทรงกลม (Circular cross) โดยไหล

ผ่านด้วยอัตราเร็วคงที่ การไหลแบบลามินาร์ (Laminar) ของพลาสติกนั้นเกิดจากการใช้อัตราการเฉือนสูงๆ และจะเกิดในคาปิลลารีและการไหลในตายของเครื่องอัดรีด (Extruder dies) [14]

พอลิเมอร์หลอมเหลวเป็นวัสดุวิสโคอีลาสติก (Viscoelastic) และได้มีการศึกษาถึงพฤติกรรม พอลิเมอร์มีพฤติกรรมไม่เป็นอุดมคติ ไม่เป็นไปตามแบบนิวโตเนียน พอลิเมอร์เป็นซูโดพลาสติก (Pseudoplastic) กล่าวคือ เมื่อเพิ่ม Shear rate จะทำให้ความหนืดลดลง เนื่องจากเมื่อเพิ่มแรงเฉือนสายโซ่โมเลกุลมีการจัดเรียงตัวตามแนวแรง ทำให้การเคลื่อนที่ผ่านกันและการหลุดออกจากกันเกิดได้ง่ายขึ้น เป็นผลทำให้ความหนืดของซูโดพลาสติกลดลง เมื่อเพิ่ม Shear rate ซึ่งจะมีผลต่อสมบัติเชิงกล แต่ถ้าให้ Shear rate เพิ่มขึ้น ความหนืดเพิ่มขึ้นจะเรียกว่ามีพฤติกรรมแบบ Dilatant ซึ่งสามารถหาว่าวัสดุเป็น Pseudoplastic หรือ Dilatant ได้จากเครื่องคาปิลลารีรีโอมิเตอร์ [15]



รูปที่ 2.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับอัตราเฉือนของพอลิเมอร์

Capillary rheometer จะใช้กับพอลิเมอร์ที่ใช้ Shear rate ประมาณ $10^2 - 10^5 \text{ s}^{-1}$ Capillary rheometer ประกอบด้วย ลูกสูบที่มีหน้าที่ให้แรงเฉือนกับพอลิเมอร์ โดยจะมี Barrel ให้ความร้อนกับพอลิเมอร์ที่ตาย (Die) ซึ่งทราบขนาดและรูปร่าง ลูกสูบจะถูกขับเคลื่อนออกมาโดยระบบไฮดรอลิกวัสดุจะถูกบรรจุเข้าใน Barrel ที่มีการให้ความร้อนถึงอุณหภูมิที่กำหนด วัสดุจะถูกดันออกมาจากตาย (Die) ของ Capillary โดยลูกสูบ ซึ่งแรงของลูกสูบจะดันพอลิเมอร์หลอมเหลวออกมาจาก Capillary ความเค้นเฉือน (Shear stress) ในผนังของ Capillary ช้างใน (τ_{cw}) จะสัมพันธ์กับความดันลด (Pressure drop) ของ Capillary (ΔP_c) [15]

ข้อดีของ Capillary rheometer คือ [16]

1. สามารถวัด Shear rate ได้สูงมากๆ ($\cong 10^6 \text{ s}^{-1}$)
2. สามารถวัดการบวมตัว (Swell) ของ Extrudate
3. สามารถวัดการเสียดรูปทรง (Melt fracture) หรือการแตกหักของพอลิเมอร์หลอมเหลว
4. ง่ายในการใช้งาน

ข้อเสียของ Capillary rheometer คือ [16]

1. ในการทำ Correction ต้องมีข้อมูลต่างๆ มากมาย
2. ผลการทดลองไม่น่าเชื่อถือที่ Shear rate สูงๆ เนื่องจากผลกระทบจากอุณหภูมิ
3. ในการทดสอบต้องใช้สารตัวอย่างปริมาณมากกว่าเครื่องมือประเภทอื่นๆ [17]

2.5.4 การทดสอบสมบัติเชิงกล [2]

สมบัติเชิงกล ได้แก่ ค่าความแข็งแรงดึง ร้อยละการยืด ณ จุดขาด มอดุลัสที่ 100% (M100) และ 300 % (M300) โดยเตรียมตัวอย่างเป็นรูปดัมเบลล์ คำนวณหาค่าความแข็งแรงดึง จาก สมการ 2.1

$$\text{ค่าความแข็งแรงดึง} = F/A \text{ หน่วยเป็นนิวตันต่อตารางมิลลิเมตร} \quad (2.1)$$

เมื่อ F = แรงที่อ่านได้ ณ จุดสูงสุด หน่วยเป็นนิวตัน

A = พื้นที่หน้าตัดของชิ้นตัวอย่างที่ทำการทดสอบ หน่วยเป็นตารางมิลลิเมตร

คำนวณหาค่ามอดุลัส 100 % และ 300 % จากสมการ 2.2 และ 2.3 ตามลำดับ

$$\text{มอดุลัส 100 \%} = F_1/A \text{ หน่วยเป็นนิวตันต่อตารางมิลลิเมตร} \quad (2.2)$$

$$\text{มอดุลัส 300 \%} = F_3/A \text{ หน่วยเป็นนิวตันต่อตารางมิลลิเมตร} \quad (2.3)$$

เมื่อ F_1 และ F_3 = แรงที่อ่านได้เมื่อทำให้ชิ้นยางตัวอย่างยืดได้ 1 และ 3 เท่า ของความยาวเดิม (25 มิลลิเมตร) ตามลำดับ หน่วยเป็นนิวตัน

A = พื้นที่หน้าตัดของชิ้นตัวอย่างที่ทำการทดสอบ หน่วยเป็นตารางมิลลิเมตร

คำนวณหาร้อยละการยืด ณ จุดขาด จากสมการ

$$\%E_b = 100(L-L_0)/L_0 \quad (2.4)$$

เมื่อ L_0 = ความยาวเริ่มต้นของชิ้นตัวอย่างเท่ากับ 25 มิลลิเมตร

L = ความยาวที่จุดขาด หน่วยเป็นมิลลิเมตร

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี ค.ศ. 1997 Menon A. R. R. และคณะ [18] ได้ทำการศึกษาลักษณะการเชื่อมโยงของยางผสมสูตรที่ใส่ Phosphorylated cashaw nut shell liquid prepolymer (PCNSL) และยางผสมสูตรที่ใส่ Cashaw nut shell liquid prepolymer (CNSL) ด้วยเครื่อง Oscillating die rheometer ที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่า ยางผสมสูตรที่เติม PCNSL จะมีค่าดัชนีการเชื่อมโยงสูง และมีค่าของพลังงานกระตุ้นของการเชื่อมโยง (Activation energy of vulcanization) ต่ำ แสดงให้เห็นว่า PCNSL จะช่วยกระตุ้นทำให้ยางผสมสูตรเกิดการเชื่อมโยงได้ดี เมื่อทำการปรับปรุงยางธรรมชาติด้วย PCNSL และ CNSL 10 phr จะทำให้การเชื่อมโยงลดลง และดัชนีการเชื่อมโยงเพิ่มขึ้น อัตราการเชื่อมโยงคงที่ เนื่องจากมีการเคลื่อนที่ของสายโซ่ที่ไม่อิมตัวของ PCNSL และ CNSL เพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงได้ สามารถใช้ผลของ Activation energy ที่มีค่าต่ำลงนับป็นนุ

ในปี ค.ศ. 1997 Menon A. R. R. และคณะ [19] ได้ทำการปรับปรุงสมบัติของยางธรรมชาติด้วย Phosphorylated cashaw nut shell liquid prepolymer (PCNSL) จากการศึกษาสมบัติเชิงกล พบว่า เมื่อให้ค่า Strain rate ต่างกัน โดยเปรียบเทียบระหว่างยางธรรมชาติที่ใส่ 2-ethyl hexyl diphenyl phosphate ยางธรรมชาติที่ใส่ PCNSL และยางธรรมชาติที่ไม่เติมน้ำมัน พบว่า ที่ Strain rate สูงและที่ Strain ระดับเดียวกัน เมื่อเทียบกับยางที่ไม่ใส่น้ำมัน ยางที่เติม PCNSL 10-15 phr จะช่วยปรับปรุงสมบัติความแข็งแรงดึง โดยจะมีค่าการคลายความเค้น (Stress relaxation) ต่ำกว่ายางธรรมชาติที่เติม 2-ethyl hexyl diphenyl phosphate และเมื่อเพิ่มปริมาณ PCNSL และ 2-ethyl hexyl diphenyl phosphate เป็น 20 phr จะทำให้ปริมาณและอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าการคลายความเค้น (Stress relaxation) เพิ่มขึ้น Strain 50-150% และ Strain rate ในช่วง $0.0208-0.2083 \text{ s}^{-1}$ มีผลต่อสมบัติค่าการคลายความเค้น (Stress-relaxation) ของยางที่ไม่ใส่ PCNSL และยางที่ใส่ PCNSL

ในปี ค.ศ. 1998 Menon A. R. R. และคณะ [20] ได้ทำการปรับปรุงสมบัติของยางธรรมชาติ ด้วย Phosphorylated cashaw nut shell liquid prepolymer (PCNSL) และน้ำมันสปีนเดิล

(Spindle oil) โดยทำการศึกษาถึงลักษณะการเชื่อมโยงของยางด้วยระบบ Semi-efficient-vulcanizing system (SEV) และศึกษาสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติ พบว่า ยางธรรมชาติที่ถูกปรับปรุงด้วย PCNSL นั้นจะให้ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ร้อยละการยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) การเสถียรทางความร้อน (Thermal stability) การเสียสภาพต่อการล้า (Fatigue failure) และการเสียสภาพทางความร้อน (Thermo-oxidative decomposition) สูงกว่ายางที่ถูกปรับปรุงด้วยน้ำมันสปีนเดิล เมื่อเทียบในปริมาณที่เท่ากัน

ในปี 1998 Nandan V. และคณะ [21] ได้ทำงานวิจัยโดยใช้น้ำมันเมล็ดยาง (Rubber seed oil) ผสมในยางธรรมชาติ (Natural Rubber, NR) และยางสไตรีน-บิวตะไดอีน (Styrene-Butadiene Rubber, SBR) โดยใช้แทนพลาสติกไซเซออร์ จากการทดลอง พบว่า น้ำมันเมล็ดยางช่วยให้สมบัติเชิงกลเพิ่มขึ้นทั้งยางธรรมชาติและยางสไตรีน-บิวตะไดอีน ได้แก่ เพิ่มความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ความต้านทานการฉีกขาด (Tear resistance) ความต้านทานต่อการขูดถูเสียดสี (Abrasion resistance) และความต้านทานต่อการโค้งงอ (Flex resistance) สำหรับยางธรรมชาติ ความหนืดของยางจะมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อยกว่ายางที่ใส่น้ำมันอะโรมาติก และสำหรับความหนืดของยางสไตรีน-บิวตะไดอีนที่ปรับปรุงด้วยน้ำมันเมล็ดยางจะเท่ากับความหนืดของยางที่ใส่น้ำมันอะโรมาติก นอกจากนี้ยังช่วยปรับปรุงความต้านทานอายุการใช้งาน (Aging resistance) และอัตราการเชื่อมโยง (Cure rate) ให้เพิ่มขึ้น ลดเวลาการเชื่อมโยง (Cure time) เพิ่มความต้านทานต่อการขูดถูเสียดสี และการดุ้งตัวของยางเพิ่มขึ้น (Resilience) ลดความต้านทานต่อการโค้งงอ และลดการแพร่ที่พื้นผิวของกัมมะถันในยาง (Blooming) น้ำมันเมล็ดยางที่มีปริมาณ 5-7 phr สามารถแทนน้ำมันอะโรมาติกที่มีปริมาณ 6 phr และกรดสเตียริก (Stearic acid) 2 phr ได้ทั้งในยางธรรมชาติและยางสไตรีน-บิวตะไดอีน ทำให้ลดต้นทุนลงเนื่องจากน้ำมันเมล็ดยางสามารถแทนทั้งน้ำมันอะโรมาติกและกรดสเตียริกได้

ในปี ค.ศ.1999 Algodion A. I. และคณะ [22] ได้ทำงานวิจัยเกี่ยวกับความสามารถในการขึ้นรูปและสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติที่ถูกปรับปรุงด้วยน้ำมันเมล็ดยาง และ Epoxidized rubber seed oil พบว่า จะมีเวลาเริ่มเชื่อมโยง (Scorch time) สูงขึ้น แต่เวลาเชื่อมโยง (Cure time) ความหนาแน่นในการเชื่อมโยง และความสามารถในการเชื่อมโยงได้สูงสุดของยาง (Ultimate state of cure) ต่ำลง เมื่อเทียบกับยางที่ยังไม่ได้ใส่น้ำมัน ส่วนเสถียรภาพทางความร้อน (Thermal stability) ไม่มีผลเมื่อใส่น้ำมัน ดังนั้นน้ำมันเมล็ดยางและ Epoxidized rubber seed oil จึงทำหน้าที่เป็นสารเติมแต่งหลายหน้าที่ (Multifunctional additives) เช่น พลาสติกไซเซออร์ (Plasticizer) สารเพิ่มความนิ่ม (Softener agent) และปรับปรุงเวลาเริ่มเชื่อมโยง และสมบัติเชิงกล เช่น ค่าความแข็งแรงดึง ค่าการยืด ณ จุดขาด และค่าความแข็งแรงฉีกขาด (Tear strength) ลดอัตราการเชื่อมโยง และลดความหนาแน่นในการเชื่อมโยง ซึ่งให้เห็นถึงการเกิด

ปฏิกิริยาการเชื่อมโยงกับยางธรรมชาติด้วย ในส่วนของกระบวนการขึ้นรูปและคุณภาพของการเชื่อมโยงยางนั้นพบว่า Epoxidized rubber seed oil จะให้สมบัติดีกว่าน้ำมันเม็ดยาง

ในปี ค.ศ. 1999 Kundu P.P. [23] ได้ทำการใส่น้ำมันพืช (Vegetable oil) ลงในยางผสมสูตรระหว่างการผสม จากการทดลองพบว่า เมื่อเปรียบเทียบกับยางผสมสูตรที่ไม่ใส่น้ำมันพืช ค่าแรงบิด ของยางผสมสูตรที่ใส่น้ำมันพืชจะต่ำลง ซึ่งสามารถใช้ผลของสมบัติเชิงกลสนับสนุน ความต้านทานการกัดกร่อนและค่าความแข็งแรงที่ต่ำลง เนื่องจากน้ำมันพืชมีความสามารถเป็นพลาสติกไฮเซอรัลที่ดี และน้ำมันพืชทำให้ยางผสมสูตรมีความหนาแน่นเชื่อมโยง (Crosslink density) ต่ำ ค่า $\tan \delta$ ต่ำ ที่แรงบิดสูงสุดแสดงให้เห็นว่ามี ค่า Loss หรือ Damping และ Heat generation ต่ำ ยางผสมสูตรที่ใส่น้ำมันพืช จะทำให้มอดุลัสต่ำ ค่าความแข็งแรงดึง และร้อยละการยืด ณ จุดขาดสูง การเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างถาวร (Compression set) ต่ำ ค่าการแตกร้าว ค่าความต้านทานการฉีกขาดและความต้านทานการโค้งงอสูง เนื่องจากน้ำมันพืชที่ใส่ในยางผสมสูตร ทำให้ยางมีความหนาแน่นเชื่อมโยงต่ำ มีสมบัติการเป็น Microplasticization กล่าวคือ น้ำมันพืชสามารถแสดงความเป็นพลาสติกไฮเซอรัลและแสดงความเป็นสารคู่ควบ (Coupling agent) ระหว่างพื้นผิวสัมผัสระหว่างเขม่าดำและยาง

ในปี ค.ศ. 1999 Kundu P.P. และ Kukreja T.R. [24] ได้ทำการปรับปรุงผิวของเขม่าดำด้วย พลาสติกไฮเซอรัล (น้ำมันพืชและน้ำมันพาราฟิน) โดยนำมาผสมเข้ากับยางผสมสูตร พบว่า ค่าแรงบิดจะลดลง เมื่อปริมาณน้ำมันพืชมากขึ้น น้ำมันพืชจะแสดงความเป็นสารคู่ควบ และน้ำมันพืชจะทำให้เกิดชั้นบางๆ (Monolayer) ระหว่างเขม่าดำและยาง เป็นเหตุให้ $\tan \delta$, ร้อยละการยืด ณ จุดขาด และความแข็งแรงดึงลดลง ค่าความต้านทานการกัดกร่อน ค่าความแข็งแรง และมอดุลัส 300 % มากขึ้น เมื่อเติมน้ำมันปริมาณ 3 phr ขึ้นไป ค่าความต้านทานการฉีกขาด และค่าการแตกร้าวเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณน้ำมันพืชมากขึ้น ในช่วง 3 phr สมบัติจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ เนื่องจากน้ำมันพืชทำหน้าที่เป็นสารคู่ควบและแสดงสมบัติเป็นพลาสติกไฮเซอรัลระหว่างพื้นผิวสัมผัสของโลหะกับยาง เมื่อปริมาณน้ำมันพืชมากกว่า 3 phr สมบัติจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว น้ำมันพืชปริมาณ 1 phr จะทำให้ค่าความต้านทานการยืดติดเพิ่มขึ้น แต่ยางผสมสูตรที่เติมน้ำมันพาราฟินจะมีค่าความต้านทานการยืดติดลดลง เนื่องจากที่พื้นผิวสัมผัสระหว่างยางและโลหะจะมีน้ำมันพาราฟินหลายชั้น

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

1. ยางธรรมชาติ (Natural rubber, NR) ยางแผ่นรมควัน ชั้น 2 (RSS-2) ศูนย์วิจัยยาง
ฉะเชิงเทรา สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

ตารางที่ 3.1 สมบัติบางประการของยางแผ่นรมควันชั้น 2 ที่ใช้ในงานวิจัย

สมบัติ	ปริมาณ
สิ่งสกปรก (Dirt) (max. % wt)	0.039
เถ้า (max. % wt)	0.27
ไนโตรเจน (max. % wt)	0.45
สารระเหยได้ (Volatile matter) (max. % wt)	0.76
Initial Plasticity (P ₀) (min)	50
Plasticity Retention Index (PRI) (min)	84

หมายเหตุ ข้อมูลจากสถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร

- น้ำมันแนฟทานิก (Naphthanic oil) สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร
- น้ำมันอะโรมาติก (Aromatic oil) สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร
- น้ำมันพาราฟิน (Paraffinic oil) สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร
- น้ำมันมะนาว (Lemon oil) บริษัท อุตสาหกรรมเครื่องหอมไทย-จีน จำกัด
- น้ำมันมะกรูด (Kaffir lime oil) บริษัท อุตสาหกรรมเครื่องหอมไทย-จีน จำกัด
- น้ำมันส้ม (Orange oil) บริษัท อุตสาหกรรมเครื่องหอมไทย-จีน จำกัด
- ซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide) เกรดการค้า
- ขี้ผึ้ง (Wax) เกรดการค้า
- สารป้องกันการเกิดออกซิเดชัน (Wingstay[®] 22 CP 46) เกรดการค้า
- กำมะถัน (Sulfur) เกรดการค้า
- สารเร่งเตตระเมทิลไทอูรามโมโนซัลไฟด์ (Tetramethyl thiurammonosulfide, TMTM) เกรดการค้า
- สารเร่งไดเบนโซไทอะซัลไดซัลไฟด์ (Dibenzothiazyl disulfide, MBTS) เกรดการค้า

ตารางที่ 3.2 สมบัติบางประการของน้ำมันหอมระเหยที่ใช้ในงานวิจัย

สมบัติ	น้ำมันมะนาว	น้ำมันส้ม	น้ำมันมะกรูด
ดัชนีการหักเหของแสง (Refractive index)(20° C)	1.4703-1.4783	1.460-1.485	1.4570-1.4810
ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)(20/20° C)	0.8470-0.8554	0.830-0.850	0.860-0.880
จุดวาบไฟ (Flash point, °C)	n/a	49	82

หมายเหตุ ข้อมูลจากบริษัทอุตสาหกรรมเครื่องหอมไทย-จีน

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องผสมสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) : Lab Technology Engineering Company Ltd.
2. เครื่องวัดความหนืดมูนนี่ (Mooney viscometer) : Shimazu Automatic Mooney Viscometer รุ่น SMV-201
3. เครื่องวัดการเชื่อมयोगของยาง (Curelaster[®]) : Nichigo Shoji รุ่น IIF 150
4. เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding machine) : Lab Technology Engineering Company Ltd.
5. เครื่องตัดชิ้นงาน (Cutting machine)
6. เครื่องทดสอบแรงกดแบบประสงค์ (Universal testing machine) : Llyod Instrument Ltd. รุ่น LR-30K
7. เครื่องทดสอบความแข็งกดแบบชอร์เอ (Hardness tester, shore A) : Yasuda Seiki Seisakusho Ltd. รุ่น DXT-3
8. เครื่องอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Infrared spectrophotometer, IR) : Jasco รุ่น 810
9. เครื่องคาปิลลารีโวลูมิเตอร์ (Capillary Rheometer) : Rosand รุ่น RH 7-1
10. เครื่องชั่ง : Denver Instrument รุ่น TR-6101
11. เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ (Gas Chromatograph-Mass Spectrometer, GC-MS) : Agient Technologies รุ่น 6890 N Network GC System, 5973 N Network Mass Selective Detector
12. เครื่องหาการกระจายของเขม่าดำ (Dispergrader) : รุ่น 1000NT

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การวิเคราะห์น้ำมัน

เตรียมตัวอย่างน้ำมันอะโรมาติก น้ำมันแนฟทาสิก น้ำมันพาราฟิน น้ำมันมะนาว น้ำมันส้ม และน้ำมันมะกูด นำมาทดสอบหาหมู่ฟังก์ชันโดยใช้เครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (IR) สแกนที่ความยาวคลื่น $400-4000\text{ cm}^{-1}$ และใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโทรมิเตอร์ (Gas-Chromatograph-Mass Spectrometer, GC-MS) ในการหาร้อยละของปริมาณองค์ประกอบเคมีในน้ำมัน ทำการทดสอบสมบัติของน้ำมัน นอกจากนั้นทำการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดของน้ำมัน (Acid value) [30] ซึ่งน้ำมันประมาณ 5 ถึง 10 กรัม ให้น้ำหนักแน่นอนในขวดแก้วโดยอ่านให้ละเอียดถึง 0.01 กรัม เติมนสารละลายผสม (สารผสมเอทิลแอลกอฮอล์กับไดเอทิลอีเทอร์ในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยปริมาตร และทำให้เป็นกลางต่อฟีนอล์ฟทาลีนด้วยสารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ในเอทิลแอลกอฮอล์) จำนวน 50 ถึง 150 มิลลิลิตร เขย่าให้ละลายเติมนสารละลายฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์ ประมาณ 4 ถึง 5 หยด ไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ในเอทิลแอลกอฮอล์ จนกระทั่งฟีนอล์ฟทาลีนเริ่มเปลี่ยนสี แล้วคำนวณหาค่าความเป็นกรด ดังสมการ 3.1

$$\text{ค่าของกรด} = \frac{56.1 \text{ aN}}{P} \quad (3.1)$$

P

a คือ ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ในเอทิลแอลกอฮอล์ที่ใช้ (มิลลิลิตร)

N คือ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ในเอทิลแอลกอฮอล์ (นอร์มัล)

P คือ น้ำหนักน้ำมัน (กรัม)

ค่าไอโอดีน (Iodine value) [30] เพื่อดูปริมาณพันธะคู่ในน้ำมัน โดยชั่งน้ำมันในภาชนะแก้วสำหรับชั่งให้ทราบน้ำหนักแน่นอนระหว่าง 0.15 กรัม แล้วใส่ลงในขวดคอกว้าง เติมนคาร์บอนเตตระคลอไรด์ 15 มิลลิลิตร ใช้ปิเปตแบ่งสารละลายวิจส์ (Wijs) จำนวน 25 มิลลิลิตร ลงในขวดปิดจุก เขย่าเบาๆ เก็บขวดในที่มืด 1 ชั่วโมง (ถ้าค่าไอโอดีนสูงกว่า 150 ให้ตั้งไว้ 2 ชั่วโมง) แล้วเติมนสารละลายโปตัสเซียมไอโอดด์ จำนวน 20 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 150 มิลลิลิตร ไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต โดยใช้สารละลายเบ้งเป็นอินดิเคเตอร์ เขย่าแรงๆ จนหมดสี น้ำเงินพอดี แล้วทำซ้ำ ซึ่งเป็นการทดสอบในกรณีที่ไม่มีน้ำมัน แล้วคำนวณค่าไอโอดีน ตามสมการ

$$\text{ค่าไอโอดีน} = \frac{12.69 N (a-b)}{P} \quad (3.2)$$

P คือ น้ำหนักน้ำมัน (กรัม)

a คือ ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.1 นอร์มัล ที่ใช้ในกรณีการทดสอบหาค่าไอโอดีนที่ไม่มีน้ำมัน (มิลลิลิตร)

b คือ ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.1 นอร์มัล ที่ใช้ในกรณีการทดสอบหาค่าไอโอดีนของตัวอย่างน้ำมัน (มิลลิลิตร)

N คือ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.1 นอร์มัล (นอร์มัล)

ค่าดัชนีการหักเหของแสง (Refractive index) [30] เติมน้ำมันลงในช่องว่างระหว่างปริซึม (Prism) ทั้งสอง การอ่านให้กระทำหลังจากอุณหภูมิคงที่ ที่ 40 ± 2 องศาเซลเซียส ไม่น้อยกว่า 5 นาที โดยใช้แสงโซเดียม (D-line) แล้วคำนวณค่าดัชนีการหักเหของแสง

ถ้าอุณหภูมิขณะทำการอ่าน (t) ต่างไปจาก 40 องศาเซลเซียส ให้ใช้ค่าแก้ (Correction factor) $F = 0.00036$

$$\text{สูตรคำนวณ } N_{D}^{40} = N + (t - 40) 0.00036 \quad (3.3)$$

เมื่อ t มากกว่า 40

$$N_{D}^{40} = N - (t - 40) 0.00036 \quad (3.4)$$

เมื่อ t น้อยกว่า 40

N_{D}^{40} คือ ดัชนีหักเหต่อแสงโซเดียม (D-line) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

ค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) [30] กรองน้ำมันให้ใสด้วยกระดาษกรอง ทำให้เย็นลงประมาณ 25 องศาเซลเซียส เติมน้ำมันลงในขวดสำหรับหาความถ่วงจำเพาะจนเต็ม ปิดจุก จุ่มลงในอ่างน้ำที่อุณหภูมิ 30 ± 0.2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เช็ดน้ำมันที่ล้นออกมาทางรูอย่างระมัดระวังยกขวดออกจากอ่างน้ำเช็ดให้สะอาดและแห้งสนิทแล้วชั่ง คำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะดังสมการ 3.5

$$\text{ความถ่วงจำเพาะ} = \frac{A-B}{C-B} \quad (3.5)$$

- A คือ น้ำหนักของขวดกับน้ำมันที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส (กรัม)
 B คือ น้ำหนักของขวดเปล่า (กรัม)
 C คือ น้ำหนักของขวดกับน้ำที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส (กรัม)

3.3.2 ยางผสมสูตร [25]

1. ซึ่งสารเคมีตามสูตรในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 สูตรหลักของยางผสมสูตรที่ใช้ในงานวิจัย

สูตรยาง	ปริมาณ (phr)
Natural rubber	100
Stearic acid	2
Antioxidant	0.5
Wax	1
Carbon black	50
Sulfur	2
MBTS	1
TMTM	0.5
ZnO	5

ตารางที่ 3.4 สูตรการศึกษาผลของชนิดน้ำมันที่มีต่อสมบัติของยางผสมสูตร

สูตรที่	น้ำมัน อะโรมาติก	น้ำมัน แนฟทาติก	น้ำมัน พาราฟิน	น้ำมัน มะนาว	น้ำมันส้ม	น้ำมันมะกรูด
1	5 phr	-	-	-	-	-
2	-	5 phr	-	-	-	-
3	-	-	5 phr	-	-	-
4	-	-	-	5 phr	-	-
5	-	-	-	-	5 phr	-
6	-	-	-	-	-	5 phr
7	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ 3.5 สูตรการศึกษาผลของปริมาณน้ำมันที่มีต่อสมบัติของยางผสมสูตร

สูตรที่	น้ำมันแนฟทานิก	น้ำมันมะนาว	น้ำมันลัม	น้ำมันมะกรูด
8	1	-	-	-
9	3	-	-	-
10	10	-	-	-
11	20	-	-	-
12	-	1	-	-
13	-	3	-	-
14	-	10	-	-
15	-	20	-	-
16	-	-	1	-
17	-	-	3	-
18	-	-	10	-
19	-	-	20	-
20	-	-	-	1
21	-	-	-	3
22	-	-	-	10
23	-	-	-	20

2. ทำการผสมส่วนประกอบต่าง ๆ ให้เข้ากัน เริ่มจากการนำยางมาบดย่อยที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้เครื่องผสมสองลูกกลิ้งเป็นเวลา 2 นาที จนกระทั่งยางพันเป็นแถบติดลูกกลิ้ง จากนั้นจึงเติมขี้ผึ้ง (Wax) กรดสเตียริก (Stearic acid) และสารป้องกันออกซิเดชัน (Antioxidant) (ใช้เวลาประมาณ 1 นาที)

3. เทเขม่าดำกับน้ำมันสลักกันลงบนเครื่องผสมสองลูกกลิ้ง การผสมยางให้เข้ากันต้องมีการกรีดยางและกลับหน้ายางโดยใช้อุปกรณ์ที่เตรียมใช้อย่างสม่ำเสมอตลอดเวลาการผสม (ใช้เวลาประมาณ 8 นาที)

4. เติมสารผสมส่วนสุดท้าย ประกอบด้วย ซิงค์ออกไซด์ กำมะถัน MBTS และ TMTM ลงไป ใช้เวลาในการผสมอีกประมาณ 5 นาที จึงกรี๊ดแผ่นยางผสมออกโดยแผ่นยางผสมที่ได้ควรมีหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร ทั้งให้เย็นก่อนนำไปใช้ในขั้นตอนต่อไป

3.3.3 การทดสอบยางผสมสูตร

สมบัติต่างๆ ของยางผสมสูตรได้ทำการทดสอบตามมาตรฐานต่างๆ ดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 มาตรฐานของสมบัติที่ใช้ทดสอบยางผสมสูตร [26-30]

สมบัติ	มาตรฐาน ที่ใช้ทดสอบ
ความแข็งแรงดึง (Tensile strength)	ASTM D 412
มอดุลัสของยัง มอดุลัสที่ 100 % และ 300 % (Modulus 100%, 300% strain)	ASTM D 412
ร้อยละการยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break)	ASTM D 412
ความแข็งกด (Hardness)	ASTM D 2240
ความหนืดมูเนย์ (Viscosity mooney)	ASTM D 1646
การเชื่อมโยงของยางผสมสูตร (Cure characteristic)	ASTM D 2084
ค่าไอโอดีน (Iodine value)	มอก. 44-2516
ค่าความเป็นกรดของน้ำมัน (Acid value)	มอก. 44-2516

3.3.3.1 การทดสอบความหนืดมูเนย์

วัดค่าความหนืดมูเนย์ ตามมาตรฐาน ASTM D 1646 [28] โดยใช้แกนหมุนขนาดใหญ่ (L) ที่อุณหภูมิ 100 °C (ML 1+4, 100 °C) ทำการตัดชิ้นงานตัวอย่างจากเครื่องผสมสองลูกกลิ้งมาทดสอบค่าความหนืดมูเนย์ ทำซ้ำ 3 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย

3.3.3.2 การทดสอบสมบัติในการเชื่อมโยงของยางผสมสูตร

ใช้เครื่อง Moving Die Rheometer ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส สิ้นที่มุม ± 3 องศา หาเวลาเริ่มเชื่อมโยง (t_{s2}) และ เวลาเชื่อมโยง (t_{90}) ของยางผสมสูตรแต่ละสูตร ตามมาตรฐาน ASTM D 2084 [29]

3.3.3.3 การหาความหนาแน่นเชื่อมโยงยาง

3.3.3.3.1 การหาอัตราส่วนการบวมตัวของยาง [30]

ซึ่งยางคงรูป (จากข้อ 3.3.3.5) มาประมาณ 1 กรัม ขนาดประมาณ $1.5 \times 1.5 \times 0.2$ เซนติเมตร 5 ชิ้น ของแต่ละสูตร แช่ลงในตัวทำละลายโทลูอีน ณ อุณหภูมิห้อง ทิ้งไว้ 7 วัน จนกระทั่งน้ำหนักของยางผสมสูตรคงที่ นำตัวอย่างยางที่บวมมาชั่งด้วยกระดาษชั่งแล้วนำไปชั่งน้ำหนักทันที ความหนาแน่นการเชื่อมโยงจะเป็นอัตราส่วนผกผันกับอัตราส่วนการบวมตัวของยางผสมสูตร

$$\frac{1}{\text{Swollen ratio}} = \frac{W}{(W_s - W)100} \quad (3.6)$$

W คือ น้ำหนักของยางที่ไม่บวมตัว (กรัม)

W_s คือ น้ำหนักของยางที่บวมตัว (กรัม)

3.3.3.3.2 เทคนิคการวัดความต้านทานแรงดึง [2]

เทคนิคนี้เป็นการวัดสมบัติเชิงกลคือความต้านทานแรงดึง โดยอาศัย

ความสัมพันธ์ตามสมการของมูนี-ริฟลิน (Mooney-Rivlin equation)

$$\frac{\sigma}{2(\lambda - \lambda^{-2})} = \frac{C_1 + C_2}{\lambda} \quad (3.7)$$

σ คือ ความเค้นแบบวิศวกรรม (Engineering stress) (MPa)

λ คือ อัตราส่วนการยืดดึง (Extension ratio)

C_1 และ C_2 คือ ค่าคงที่

จากนั้นทำการพล็อตกราฟระหว่างค่า $\frac{\sigma}{2(\lambda - \lambda^{-2})}$ เทียบกับส่วนกลับของอัตราส่วนการดึงยืด ($1/\lambda$) จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ C_2 และมีจุดตัดแกน Y (Intercept) เท่ากับ C_1 สามารถคำนวณได้จากสมการ 3.8

$$C_1 = \rho_c RT \quad (3.8)$$

ρ_c คือ ความหนาแน่นของการเชื่อมโยง (Crosslink density) ของยาง

R คือ ค่าคงที่ของก๊าซ (Gas constant) มีค่าเท่ากับ 8.314 J/mol K หรือ 1.987 cal/mol K

T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ (K)

3.3.3.4 การทดสอบสมบัติการไหลของยางผสมสูตร

โดยใช้เครื่องคาปิลลารีโอมิเตอร์ ทำการเตรียมตัวอย่างเป็นชิ้นเล็กๆ จากนั้นบรรจุตัวอย่างใน Barrel ที่มีการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C และ ใช้ดาย (Die) ยาว 0 และ 32 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร จะได้ค่า Apparent shear stress (τ), Apparent

shear rate ($\dot{\gamma}_a$), Apparent shear viscosity (η_a) นอกจากนี้ทำการหา ค่า Die swell โดยทำการวัดขนาดของ Extrudate ที่อัตราเร็วต่างๆ ที่ออกมาจากตาย โดยวัด 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย

3.3.3.5 การเชื่อมโยงยาง

ตัดยางผสมสูตรมาขึ้นรูป โดยใช้เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding machine) อัดขึ้นงานให้อยู่ในรูปแผ่นสี่เหลี่ยมที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ความดัน 10343 kPa เป็นเวลาเท่ากับ 1.2 เท่าของ t_{90} ของยางผสมสูตรแต่ละสูตร (ได้จากข้อ 3.3.3.2)

3.3.3.6 การหาค่าความแข็งกด (Hardness)

เตรียมชิ้นงาน ตามมาตรฐาน ASTM D 2240 [27] โดยใช้ยางที่ได้จากข้อ 3.3.3.5 ที่มีความหนา 2 มิลลิเมตร ตัดให้เป็นรูวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว จำนวน 3 ชิ้น เพื่อให้ชิ้นงานมีความหนาได้ไม่ต่ำกว่า 6 มิลลิเมตร ทำการวัดค่าความแข็งของชิ้นงานตัวอย่างโดยใช้เครื่องวัดความแข็งกดดูโรมิเตอร์แบบชอร์เอ (Shore A) บันทึกค่าที่ได้ จากนั้นเปลี่ยนชิ้นตัวอย่าง ทำการวัดความแข็งที่จุดต่างๆ นำค่าที่วัดได้มาหาค่าเฉลี่ย

3.3.3.7 การทดสอบสมบัติเชิงกล

นำแผ่นยางที่ได้จากหัวข้อที่ 3.3.3.5 มาตัดเป็นรูปดัมเบลล์ด้วยหัวตัดแบบ C ตามมาตรฐาน ASTM D 412 [26] โดยใช้เครื่องตัดขึ้นงานแบบใช้ลมอัด จากนั้นนำมาวัดค่าความกว้างและความหนาของส่วนคอคอดของรูปดัมเบลล์ด้วยไมโครมิเตอร์และทำเครื่องหมายกำหนดระยะของส่วนคอคอดของรูปดัมเบลล์เป็นระยะ 25 มิลลิเมตรแล้วนำไปวัดค่าความแข็งแรงดึง โดยใช้อัตราเร็วในการดึง 500 มิลลิเมตรต่อนาที คำนวณหาค่ามอดุลัสของยัง (Young's Modulus, E) ที่ความชันเริ่มต้น โดยทำการทดสอบอย่างน้อย 5 ชิ้นงานต่อ 1 ยางผสมสูตร เพื่อหาค่าเฉลี่ย จากผลการทดสอบจะได้ค่า ความแข็งแรงดึง ร้อยละการยืด ณ จุดขาด มอดุลัสของยัง มอดุลัสที่ 100 และ 300%

3.3.3.8 การทดสอบการเค็งตัว [32]

ให้ใช้ยางตัวอย่างละ 400 กรัม แล้วนำยางผสมสารเคมีที่ได้ ไปหาเวลาการวัลคาไนซ์แล้วนำไปอบด้วยเข้าอัดยางที่หนา 4 มิลลิเมตร ตามเวลา 95% cure ให้นำยางตัวอย่างไปตัดเป็นแผ่นกลมด้วยเครื่องตัด (Shopper) ซึ่งจะตัดได้แผ่นยางเส้นผ่าศูนย์กลาง 44.6 มิลลิเมตร นำตัวอย่างยางที่จะทดสอบ ไปอุ่นในเตาอบที่กำหนดอุณหภูมิเอาไว้เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง และนำมาใส่ในที่จัดยางในเครื่อง ตั้งทิ้งไว้อีก 5 นาที หลังจากนั้นเลื่อน Pendulum ทำการกระแทกยางจากตำแหน่งเริ่ม 45° เป็นจำนวนทั้งสิ้น 6 ครั้ง การกระแทกทั้ง 6 ครั้งนี้ จะต้องทำในระยะเวลา 1 นาทีการทำเช่นนี้ ถือว่าเป็นการเตรียมตัวอย่างก่อนการทดสอบจริง แล้วจึงให้เริ่มต้นทำการทดสอบจริงโดยปล่อยจาน Pendulum จากตำแหน่ง 45° ลงมากระทบยาง และอ่านค่าองศาที่กระด้างออกมาให้ถูกต้องถึง 0.1° ให้ทดลองเช่นนี้ 3 ถึง 6 ครั้ง ให้ถือเอาค่าคงที่ ที่ได้จากการ

กระแทกติดต่อกันทั้งสามนั้น มาใช้ในการคำนวณ การทดลองนี้ให้ทำซ้ำกับตัวอย่างที่เหมือนกันอีกตัวอย่างหนึ่ง ผลที่ได้ทั้งสองตัวอย่างนำเฉลี่ยเพื่อคำนวณหาค่าการกระเด็งของยางโดยใช้สมการ 3.9

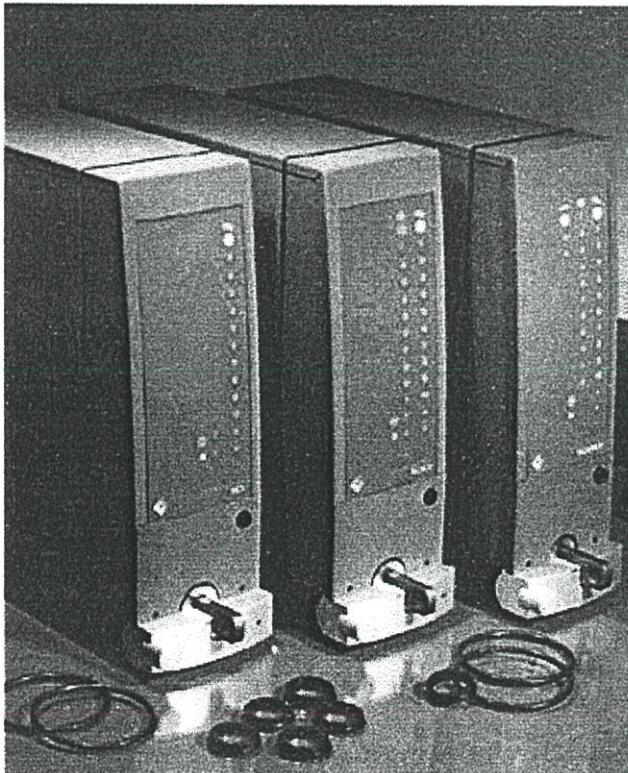
$$\% \text{ Resilience} = 100 \times (1 - \cos B) / (1 - \cos A) \quad (3.9)$$

A หมายถึง มุมเป็นองศาที่ Pendulum ที่ตำแหน่งเริ่มต้น ในที่นี้ $A = 45^\circ$

B หมายถึง มุมเป็นองศาที่ Pendulum กระเด็งหรือสะท้อนขึ้น

3.3.3.9 การศึกษาการกระจายตัวของเขม่าดำ

เครื่อง Dispergrader 1000NT ใช้ศึกษาลักษณะขนาดของเขม่าดำ มีการแสดงผลทั้งแบบ Visual และแบบ Digital จะมีการวิเคราะห์พื้นผิวของชิ้นงานตัวอย่าง การเตรียมตัวอย่างทำได้โดยตัดยางผสมสูตรให้มีขนาดเท่ากับช่องที่ใส่ตัวอย่าง และทำความสะอาดผิวหน้าอย่างด้วยอะซิโตนเพื่อไม่ให้มีสิ่งสกปรกมาเกาะผิวยาง จากนั้นนำตัวอย่างไปส่องดูการกระจายตัว



รูปที่ 3.1 เครื่อง Dispergrader 1000 NT

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้นำน้ำมันหอมระเหยสกัดจากเปลือกผลมะนาว (Lemon) ส้ม (Orange) และมะกรูด (Kaffir lime) มาใช้เป็นสารเติมแต่งชนิดหลายหน้าที่ (Multifunctional additives) ในยางธรรมชาติ โดยอาจทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่น (Lubricant) เพื่อลดแรงเสียดทานระหว่างวัสดุ และหล่อลื่นระหว่างเครื่องผสมกับวัสดุ ช่วยกระบวนการผลิตทำให้ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้ น้ำมันหอมระเหย ทำหน้าที่เป็นสารให้กลิ่น (Odorants) ทำให้ผลิตภัณฑ์ยางมีกลิ่นหอมหรือระงับกลิ่นของยางที่ไม่พึงปรารถนาซึ่งเป็นข้อเสียหรือข้อจำกัดอย่างหนึ่งของการใช้งานยางเชื่อมโยง

ในงานวิจัยนี้ช่วงแรกได้ทำการศึกษาองค์ประกอบของน้ำมันและโครงสร้างของน้ำมันหอมระเหยโดยใช้เครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Infrared Spectrophotometer, IR) และเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโทรมิเตอร์ (Gas Chromatograph-Mass Spectrometer, GC-MS) นอกจากนี้ยังศึกษาสมบัติต่างๆ ของน้ำมัน ได้แก่ ค่าของกรด (Acid value) ค่าไอโอดีน (Iodine value) จากนั้นทำการศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่อาจมีผลต่อสมบัติของยางเมื่อใช้น้ำมันหอมระเหยเป็นสารตัวเติม เช่น ผลของชนิดน้ำมัน ปริมาณการใส่น้ำมันและอิทธิพลของน้ำมันที่มีผลต่อสมบัติต่างๆ ของยางผสมสูตร

ในการศึกษาชนิดของน้ำมันที่ต่างกันจะทำการเปรียบเทียบระหว่างน้ำมันจากปิโตรเลียมที่ใช้เป็นสารหล่อลื่นในอุตสาหกรรมยางในปัจจุบัน ได้แก่ น้ำมันอะโรมาติก (Aromatic oil) น้ำมันแนฟทาสิก (Naphthanic oil) และน้ำมันพาราฟิน (Paraffinic oil) เปรียบเทียบกับน้ำมันหอมระเหย ได้แก่ น้ำมันมะนาว (Lemon oil) น้ำมันส้ม (Orange oil) และน้ำมันมะกรูด (Kaffir lime oil) โดยใส่น้ำมันในปริมาณ 5 phr ในกรณีศึกษาถึงปริมาณของน้ำมัน ใช้ปริมาณ 1, 3, 5, 10 และ 20 phr ตามลำดับ ศึกษาถึงหน้าที่ความเป็นสารช่วยกระบวนการผลิต (Processing aid) ได้แก่ สารหล่อลื่น ช่วยในการแปรรูป ช่วยให้การผสมสารเคมีเข้าไปในยางกระทำได้ง่ายขึ้น สารเพิ่มความนิ่ม (Softener) คือ ใส่เพื่อทำให้ยางนิ่มลงทั้งในขณะยังไม่เชื่อมโยงและเชื่อมโยงแล้ว และสารเพิ่มเนื้อ (Extender) คือ ใส่เพื่อลดต้นทุนการผลิต สมบัติต่างๆ ของยางผสมสูตรที่จะศึกษา ได้แก่ ลักษณะการเชื่อมโยง (Cure characteristic) เช่น เวลาเริ่มเชื่อมโยง (Scorch time) เวลาเชื่อมโยง (Cure time) อัตราส่วนการบวมตัว (Swell ratio) สมบัติการไหล (Rheological properties) เป็นการศึกษาถึงการไหลและการเปลี่ยนรูปของยางที่ยังไม่เชื่อมโยง เป็นความสัมพันธ์ระหว่าง ความเค้น ความเครียด และเวลา นอกจากนี้ยังศึกษาถึงความหนืดมูนนี่ (Mooney

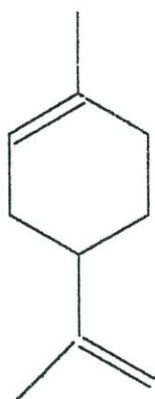
viscosity) ของยางผสมสูตร สมบัติเชิงกล (Mechanical properties) เช่น ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ร้อยละการยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) ค่าความแข็งกด (Hardness) ค่ามอดุลัสของยัง (Young's modulus) ค่ามอดุลัสที่ 100 % (100% Modulus, M100) ค่ามอดุลัสที่ 300 % (300% Modulus, M300) และศึกษาผลของน้ำมันที่มีผลต่อการกระจายตัวของเขม่าดำ (Carbon black) ที่ใช้เป็นสารเพิ่มเนื้อชนิดเสริมแรงในยางด้วยเครื่อง Dispergrader

4.1 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบและสมบัติบางประการของน้ำมัน

4.1.1 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบน้ำมัน

ผลการทดลองหาองค์ประกอบในน้ำมันโดยใช้เทคนิค Infrared Spectroscopy (IR) สรุปดังตารางที่ 4.1 และภาคผนวก ก (รูปที่ ก.1, ก.2, ก.3 และ ก.4) พบว่า พีคของน้ำมันแนฟทาณิกจะประกอบด้วย พีคของ CH Aliphatic ของสารประกอบอะลิฟาติก (Aliphatic) ที่ความถี่ 2922 cm^{-1} , CH_2 -methylene stretching ที่ความถี่ 1458 cm^{-1} และ CH_3 -methyl stretching ที่ความถี่ 1376 cm^{-1} ส่วนพีคของน้ำมันมะนาว น้ำมันส้ม และน้ำมันมะกรูด พบว่า จะมีองค์ประกอบเหมือนกันกับน้ำมันแนฟทาณิก แต่พีคของน้ำมันมะนาวจะมี CH vinyl bending ที่ความถี่ 3070 cm^{-1} , C=C cyclic stretching ที่ความถี่ 1644 cm^{-1} , C=C-H out of plane bending ที่ความถี่ 887 cm^{-1} รวมทั้งน้ำมันส้มและน้ำมันมะกรูดด้วย นอกจากนี้ น้ำมันส้มและน้ำมันมะกรูดมีหมู่ไฮดรอกซี (-OH) แสดงที่ความถี่ 3424 และ 3409 cm^{-1} ตามลำดับ แสดงว่าในน้ำมันมะนาว น้ำมันส้ม และน้ำมันมะกรูดจะมีองค์ประกอบของอะโรมาติกและมีพันธะคู่อยู่ในโครงสร้าง

เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์น้ำมันด้วยเครื่อง Gas Chromatograph-Mass Spectrometer (GC-MS) สรุปดังตารางที่ 4.2 และภาคผนวก ก (รูปที่ ก.5, ก.6, ก.7 ก.8) พบว่า น้ำมันมะนาว จะมี d-limonene เป็นองค์ประกอบมากที่สุด 70.78 % รองลงมา คือ β -pinene 14.08 % 2,5-furandione 5.49 % γ -terpinene 3.11% α -pinene 2.24% ในน้ำมันส้ม จะมี d-limonene เป็นองค์ประกอบมากที่สุด 64.31 % 1,2-Cyclohexanediol 5.49 % 2-cyclohexen-1-ol 5.58 % ฯลฯ และในน้ำมันมะกรูดจะมี d-limonene เป็นองค์ประกอบ 22.55 % α -terpineol 13 % β -pinene 10.24 % 3-cyclohexen-1-ol 7.43 % cyclohexanal 5.19% α -pinene 2.18% ฯลฯ ดังนั้นองค์ประกอบทางเคมีในน้ำมันมะนาว น้ำมันส้ม และน้ำมันมะกรูด มีองค์ประกอบเหมือนกันและมีองค์ประกอบหลัก คือ d-limonene ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค IR



รูปที่ 4.1 โครงสร้าง d-limonene

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์น้ำมันด้วยเทคนิค IR

ความถี่ (cm^{-1})	น้ำมันเนฟทานิก	น้ำมันมะนาว	น้ำมันส้ม	น้ำมันมะกรูด
980-690	-	C=C-H out of plane bending	C=C-H out of plane bending	C=C-H out of plane bending
1380-1375	CH ₃ -methyl stretching	CH ₃ -methyl stretching	CH ₃ -methyl stretching	CH ₃ -methyl stretching
1450-1475	CH ₂ -methylene stretching	CH ₂ -methylene stretching	CH ₂ -methylene stretching	CH ₂ -methylene stretching
1680-1560	-	C=C cyclic stretching	C=C cyclic stretching	C=C cyclic stretching
3000-2800	CH Aliphatic	CH Aliphatic	CH Aliphatic	CH Aliphatic
3110-3000	-	-CH vinyl bending	-CH vinyl bending	-CH vinyl bending
3500-3250	-	-	-OH stretching	-OH stretching

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์น้ำมันหอมระเหยด้วยเทคนิค GC-MS

องค์ประกอบ	ปริมาณ (ร้อยละ)		
	น้ำมันมะนาว	น้ำมันส้ม	น้ำมันมะกรูด
d-limonene	70.78	64.31	22.55
α -pinene	2.24	-	2.18
β -pinene	14.08	-	10.24
γ -terpinene	3.11	-	1.98

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์น้ำมันหอมระเหยด้วยเทคนิค GC-MS (ต่อ)

องค์ประกอบ	ปริมาณ (ร้อยละ)		
	น้ำมันมะนาว	น้ำมันส้ม	น้ำมันมะกรูด
Cyclohexanol	-	-	5.19
Isopulegol	-	-	2.41
3-cyclohexen-1-ol	-	-	7.43
2-cyclohexen-1-ol	-	5.58	-
α -terpineol	-	-	13.26
2,5-furandione	5.49	-	-
1,2-cyclohexanediol	-	5.49	-

4.1.2 การศึกษาสมบัติบางประการของน้ำมันหอมระเหย

ค่าดัชนีการหักเหของแสง ขึ้นอยู่กับความเป็นอะโรมาติกของน้ำมัน ถ้าน้ำมันมีความเป็นอะโรมาติกสูง จะมีดัชนีการหักเหของแสงสูง [6] แสดงดังรูปที่ 2.3 จากการวิเคราะห์ดัชนีหักเหของแสงของน้ำมันที่ศึกษาในงานวิจัยนี้แสดงดังตารางที่ 3.2 พบว่า น้ำมันมะนาว มีค่าดัชนีการหักเหของแสง 1.4703-1.4783 น้ำมันส้มมีค่าดัชนีการหักเหของแสง 1.460-1.485 และน้ำมันมะกรูดมีค่าดัชนีการหักเหของแสง 1.4570-1.4810 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าดัชนีของแสงของน้ำมันอะโรมาติก น้ำมันเนฟทานิก และน้ำมันพาราฟินในตารางที่ 2.1 พบว่า ค่าดัชนีหักเหของแสงของน้ำมันหอมระเหย จากตารางที่ 3.2 มีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันพาราฟิน แต่มีค่าน้อยกว่า น้ำมันเนฟทานิก และน้ำมันอะโรมาติกเล็กน้อยแสดงให้เห็นว่าน้ำมันมะนาว น้ำมันส้ม และน้ำมันมะกรูด มีความเป็นอะโรมาติกน้อยกว่าน้ำมันเนฟทานิก และน้ำมันอะโรมาติกเล็กน้อย

ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันจะมีความสัมพันธ์กับขนาดโมเลกุล [6] จากตารางที่ 2.1 น้ำมันพาราฟิน มีค่าความถ่วงจำเพาะ 0.861 น้ำมันเนฟทานิก 0.932 น้ำมันอะโรมาติก 1.018 ซึ่งผลของค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันหอมระเหย จากตารางที่ 3.2 พบว่า น้ำมันมะนาวมีค่าความถ่วงจำเพาะ 0.8470-0.8554 ส่วนน้ำมันส้มมีค่าความถ่วงจำเพาะ 0.830-0.850 น้ำมันมะกรูดมีค่าความถ่วงจำเพาะ 0.860-0.880 ซึ่งค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันพาราฟิน แต่มีค่าน้อยกว่าน้ำมันเนฟทานิกและน้ำมันอะโรมาติก ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าน้ำมันมะนาว น้ำมันส้ม และน้ำมันมะกรูด มีขนาดโมเลกุลเล็กกว่าและมีความเป็นอะโรมาติกน้อยกว่าน้ำมันเนฟทานิก และน้ำมันอะโรมาติก แต่มีขนาดโมเลกุลเฉลี่ยใกล้เคียงกับน้ำมันพาราฟิน

เมื่อพิจารณาค่าความเป็นกรดของน้ำมันมะนาว น้ำมันส้ม และน้ำมันมะกรูด ดังตารางที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่า น้ำมันมะนาวและน้ำมันมะกรูด มีความเป็นกรดน้อย ส่วนน้ำมันส้ม มีความ

เป็นกรดมากกว่า และเมื่อพิจารณาค่าไอโอดีน พบว่า น้ำมันมะนาว น้ำมันส้ม และน้ำมันมะกรูด มีค่าไอโอดีน 379.03, 300.41 และ 265.14 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า น้ำมันมะนาว มีพันธะคู่มากที่สุด รองลงมาคือ น้ำมันส้ม และน้ำมันมะกรูด ซึ่งสอดคล้องกับผลของปริมาณ d-limonene ที่หาโดยเทคนิค GC-MS

ตารางที่ 4.3 สมบัติบางประการของน้ำมันที่ใช้ในงานวิจัยนี้

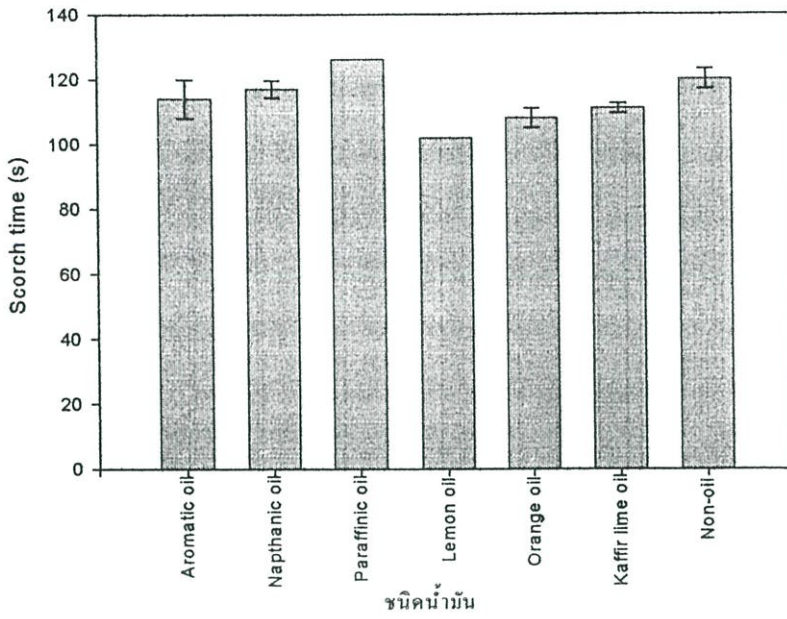
สมบัติ	น้ำมันมะนาว	น้ำมันส้ม	น้ำมันมะกรูด
จุดเดือด (Boiling point, °C)	158	128	148
ค่าของกรด (as Oleic acid), mg KOH/g Sample	1.63	7.92	2.37
ค่าไอโอดีน (Iodine value), g/100 g Sample	379.03	300.41	265.14

4.2 ผลของน้ำมันที่มีต่อลักษณะการเชื่อมโยง

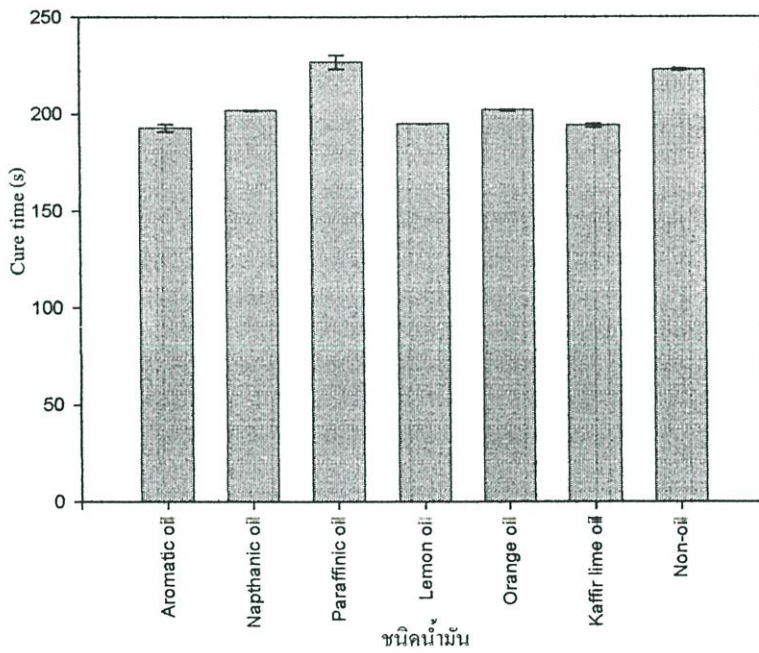
จากการทดลองศึกษาถึงผลของน้ำมันที่มีผลต่อลักษณะการเชื่อมโยง (Cure characteristics) ของยางผสมสูตร โดยได้ทำการศึกษาเป็น 2 กรณี คือ กรณีแรก เปรียบเทียบระหว่างยางผสมสูตรที่ใส่น้ำมันจากปิโตรเลียม ได้แก่ น้ำมันอะโรมาติก น้ำมันแนฟทาติก และน้ำมันพาราฟินกับยางผสมสูตรที่ใส่น้ำมันหอมระเหย ได้แก่ น้ำมันมะนาว น้ำมันส้ม และน้ำมันมะกรูด ใช้ปริมาณน้ำมันเท่ากันที่ 5 phr กรณีที่สอง จะเปรียบเทียบระหว่างยางผสมสูตรที่ใส่น้ำมันปริมาณต่างกัน คือ 1 3 5 10 และ 20 phr

4.2.1 ผลของชนิดน้ำมันที่มีต่อลักษณะการเชื่อมโยง

เมื่อพิจารณากรณีแรก จากรูปที่ 4.2 และ 4.3 โดยใช้ปริมาณน้ำมัน 5 phr เท่ากัน พบว่า น้ำมันมะนาว น้ำมันส้ม และ น้ำมันมะกรูด จะทำให้อย่างผสมสูตรมีเวลาเริ่มเชื่อมโยง (Scorch time) และเวลาเชื่อมโยง (Cure time) ใกล้เคียงกับยางผสมสูตรที่ใส่น้ำมันจากปิโตรเลียม ซึ่งสามารถใช้ผลของการวิเคราะห์น้ำมันมาเป็นเหตุผลสนับสนุนได้เนื่องจาก ค่าความเป็นกรดของน้ำมันหอมระเหยซึ่งมีค่าของกรดน้อยมากและน้ำมันหอมระเหยที่ใช้ไม่มีองค์ประกอบทางเคมี หรือหมู่ฟังก์ชันที่หน่วง หรือขัดขวางปฏิกิริยาเชื่อมโยง ทำให้เวลาเริ่มเชื่อมโยง และเวลาเชื่อมโยงของยางผสมสูตรมีค่าใกล้เคียงกับยางผสมสูตรที่ใส่น้ำมันจากปิโตรเลียม



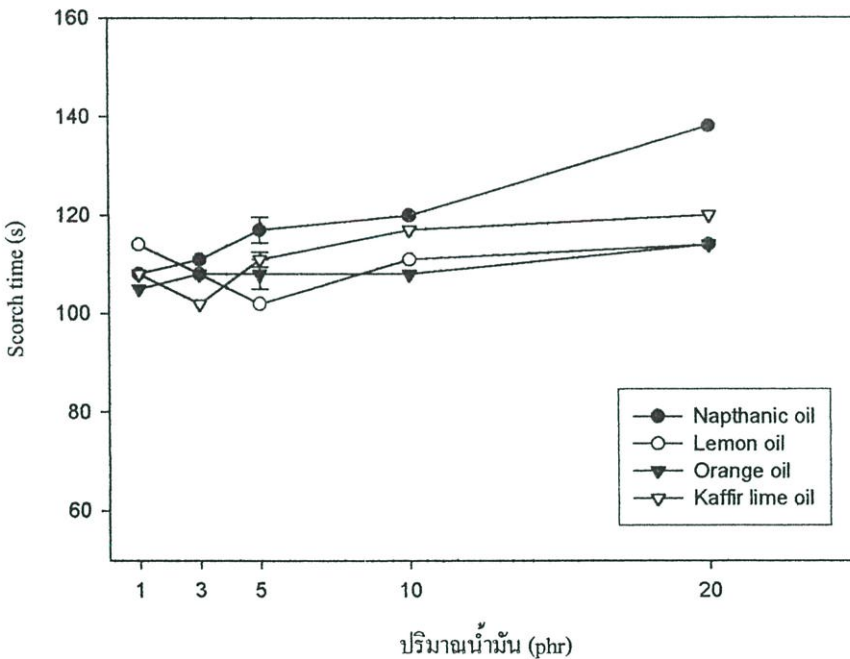
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาเริ่มเชื่อมโยงกับยางผสมสูตรที่ใช้ไขมันต่างชนิดกัน



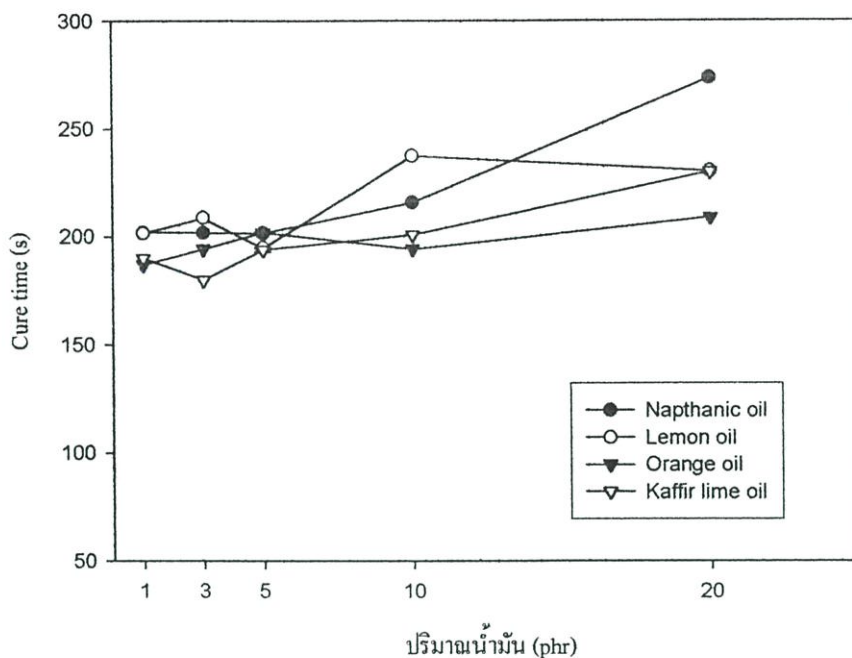
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาเชื่อมโยงกับยางผสมสูตรที่ใช้ไขมันต่างชนิดกัน

4.2.2 ผลของปริมาณน้ำมันที่มีต่อลักษณะการเชื่อมโยง

จากรูปที่ 4.4 และ 4.5 ใช้ปริมาณน้ำมัน 1 3 5 10 และ 20 phr จะเห็นว่าเมื่อปริมาณน้ำมันในยางทั้งน้ำมันหอมระเหยและน้ำมันปิโตรเลียมเพิ่มขึ้น เวลาเริ่มเชื่อมโยงและเวลาเชื่อมโยงมีค่าใกล้เคียงกัน จะเห็นได้ว่า ผลการทดลองยืนยันผลการทดลองก่อนหน้า คือ ผลของชนิดน้ำมันที่มีต่อสมบัติของยาง ถึงแม้จะใช้ปริมาณน้ำมันมากถึง 20 phr ยางผสมสูตรยังมีเวลาเริ่มเชื่อมโยงและเวลาเชื่อมโยงใกล้เคียงกัน ยกเว้นน้ำมันแนฟทานิกที่มีเวลาเริ่มเชื่อมโยงและเวลาเชื่อมโยงเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อปริมาณน้ำมันเพิ่มถึง 20 phr ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากน้ำมันแนฟทานิกที่ใช้เป็นเกรดการค้ามีความไม่บริสุทธิ์ เป็นที่ทราบกันว่าอาจมีความเป็นกรดทำให้เกิดการหน่วงปฏิกิริยาเชื่อมโยง จึงมีผลทำให้เวลาเริ่มเชื่อมโยงและเวลาเชื่อมโยงเพิ่มขึ้นเล็กน้อย



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาเริ่มเชื่อมโยงกับปริมาณของน้ำมัน



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาเชื่อมโยงกับปริมาณของน้ำมัน

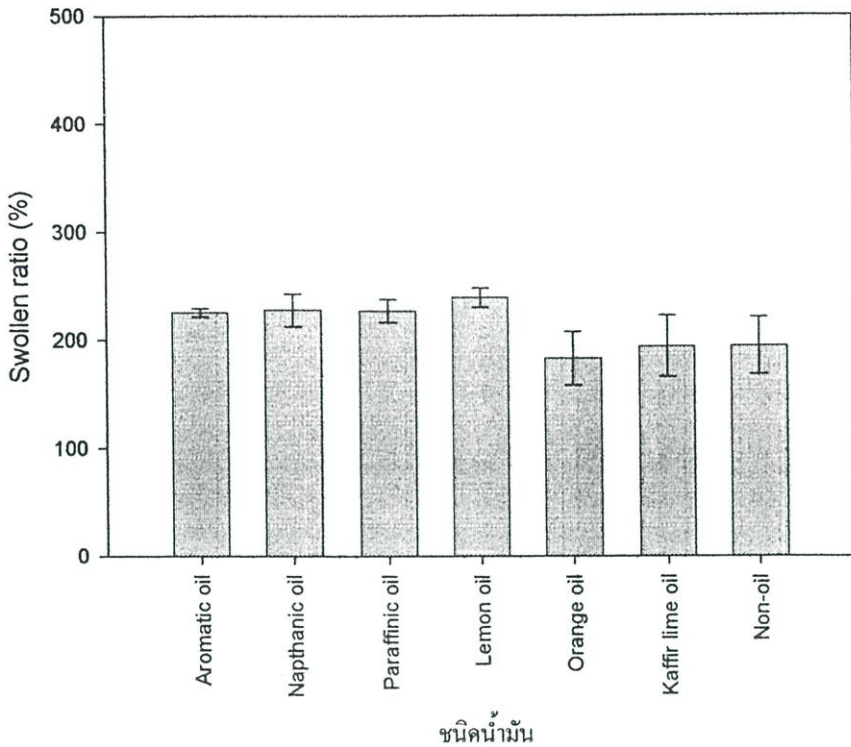
4.3 ผลของน้ำมันที่มีต่ออัตราส่วนการบวมตัวและความหนาแน่นเชื่อมโยง

จากการทดลองได้นำยางผสมสูตรที่ใส่น้ำมันต่างชนิดกันและปริมาณน้ำมันต่างกันมาเปรียบเทียบกัน โดยทำการหาค่าอัตราส่วนการบวมตัว (Swell ratio) โดยแช่ในตัวทำละลาย ซึ่งอัตราส่วนการบวมตัวนั้นจะแปรผกผันกับความหนาแน่นเชื่อมโยงของยาง กล่าวคือ ถ้ายางผสมสูตรบวมตัวมากแสดงว่ามีความหนาแน่นเชื่อมโยงน้อย ส่วนการหาความหนาแน่นเชื่อมโยงจะใช้วิธีในการคำนวณจากสมการของมูนี่-ริฟลิน (Mooney Rivlin Equation)

4.3.1 ผลของน้ำมันที่มีต่ออัตราส่วนการบวมตัวของยาง

4.3.1.1 ผลของชนิดน้ำมันที่มีต่ออัตราส่วนการบวมตัว

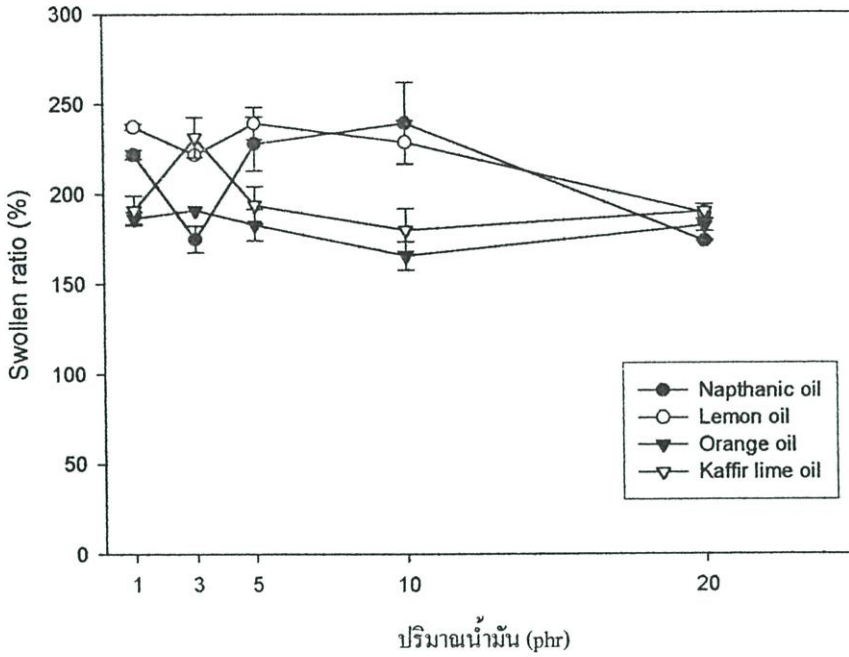
จากรูปที่ 4.6 พบว่า เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการบวมตัวกับชนิดของน้ำมัน ยางที่ใส่น้ำมันมะนาวมีอัตราส่วนการบวมตัวใกล้เคียงกับยางผสมสูตรที่ใส่น้ำมันจากปิโตรเลียม ทั้งนี้อาจนำผลของการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของน้ำมันในหัวข้อ 4.1 และผลของลักษณะการเชื่อมโยงในหัวข้อ 4.2.1 เป็นเหตุผลสนับสนุน



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการบวมตัว กับ ยางผสมสูตรที่ใช้ น้ำมันต่างชนิดกัน

4.3.1.2 ผลของปริมาณน้ำมันที่มีต่ออัตราส่วนการบวมตัว

เมื่อพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนการบวมตัวของยางกับปริมาณของน้ำมัน (รูปที่ 4.7) พบว่า เมื่อใช้ปริมาณน้ำมันมากขึ้น อัตราส่วนการบวมตัวของยางมีค่าไม่แตกต่างกันมาก ปริมาณน้ำมันที่มากขึ้นไม่ได้ทำให้เวลาเริ่มเชื่อมโยง และเวลาเชื่อมโยงของยางเปลี่ยนแปลงไป แสดงว่าโครงสร้างของน้ำมันหอมระเหยและน้ำมันจากปิโตรเลียมไม่ได้มีส่วนในปฏิกิริยาเชื่อมโยงของยางทำให้ไม่มีผลต่ออัตราส่วนการบวมตัวหรือองศาการเชื่อมโยงของยาง น้ำมันหอมระเหยจะทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่นและสามารถทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มเนื้อ (Extender) ช่วยลดต้นทุนในการผลิต และช่วยทำให้สามารถใส่สารตัวเติมได้ในปริมาณมาก โดยไม่ทำให้สมบัติความหนาแน่นเชื่อมโยงเปลี่ยนแปลงไปได้เช่นเดียวกับยางที่ใส่น้ำมันจากปิโตรเลียม

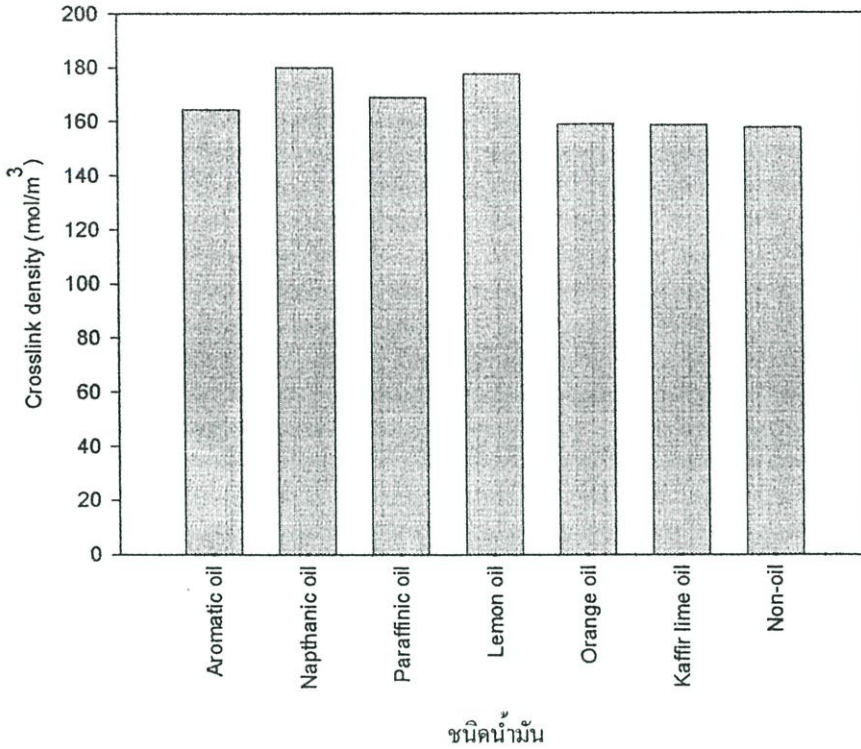


รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการบวมตัวกับปริมาณของน้ำมัน

4.3.2 ผลของน้ำมันที่มีต่อความหนาแน่นเชื่อมโยงยาง

4.3.2.1 ผลของชนิดน้ำมันที่มีต่อความหนาแน่นเชื่อมโยงยาง

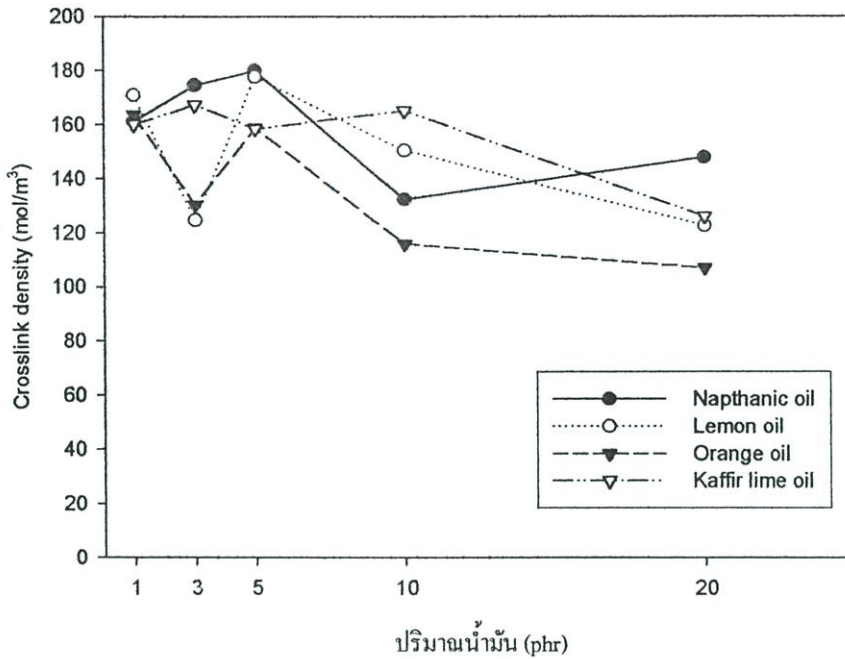
จากรูปที่ 4.8 พบว่า เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นเชื่อมโยงที่คำนวณได้จากสมการมูนนี่-ริฟลินกับชนิดของน้ำมัน (ที่ 5 phr) พบว่าทั้งยางที่ใส่น้ำมันหอมระเหยและยางที่ใส่น้ำมันจากปิโตรเลียมมีความหนาแน่นเชื่อมโยงของยางใกล้เคียงกัน ยกเว้นน้ำมันส้มและน้ำมันมะกูดที่มีความหนาแน่นเชื่อมโยงต่ำกว่าเพียงเล็กน้อย ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับผลการบวมตัว (Swollen ratio) เป็นการยืนยันผลสรุปก่อนหน้าที่กล่าวว่าน้ำมันหอมระเหยที่ใช้มีสมบัติตอบสนองต่อการเชื่อมโยงของยางคล้ายหรือใกล้เคียงกับน้ำมันจากปิโตรเลียม



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นเชื่อมโยงกับยางผสมสูตรที่ใช้น้ำมันต่างชนิดกัน

4.3.2.2 ผลของปริมาณน้ำมันที่มีต่อความหนาแน่นเชื่อมโยงยาง

เมื่อพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นเชื่อมโยงกับปริมาณของน้ำมัน ดังรูปที่ 4.9 พบว่า เมื่อใช้ปริมาณน้ำมันมากกว่า 5 phr ความหนาแน่นเชื่อมโยงโดยรวมของยางมีแนวโน้มลดลงทั้งยางผสมสูตรที่ใส่น้ำมันจากปิโตรเลียมและน้ำมันหอมระเหย ยางที่ใส่น้ำมันหอมระเหยมีค่าความหนาแน่นเชื่อมโยงเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับยางที่ใส่น้ำมันแอฟทานิก



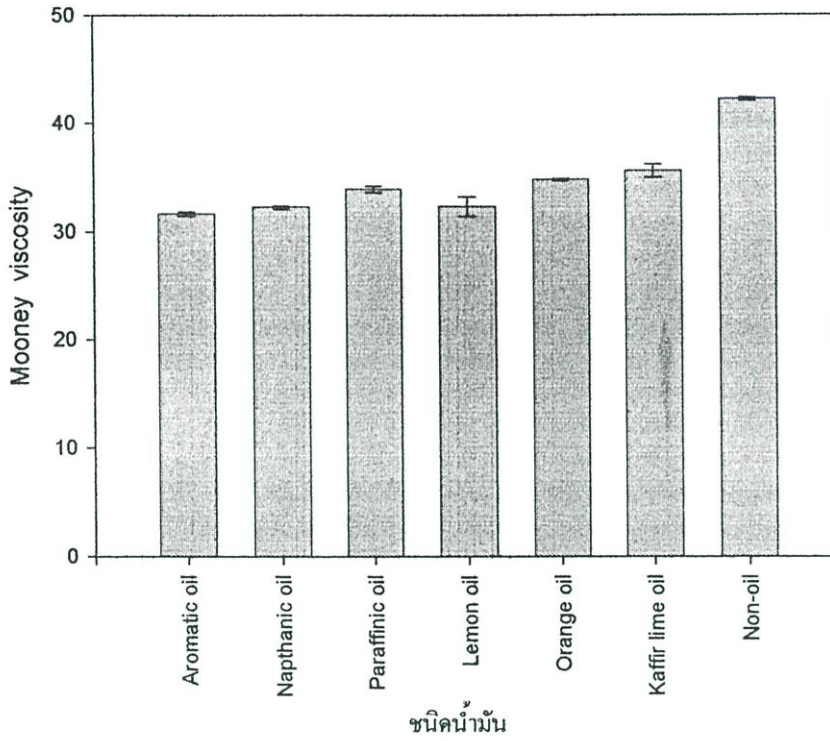
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นเชื่อมโยงกับปริมาณของน้ำมัน

4.4 ผลของน้ำมันที่มีต่อสมบัติการไหล

4.4.1 ค่าความหนืดมูนนี่

4.4.1.1 ผลของชนิดน้ำมันที่มีต่อค่าความหนืดมูนนี่

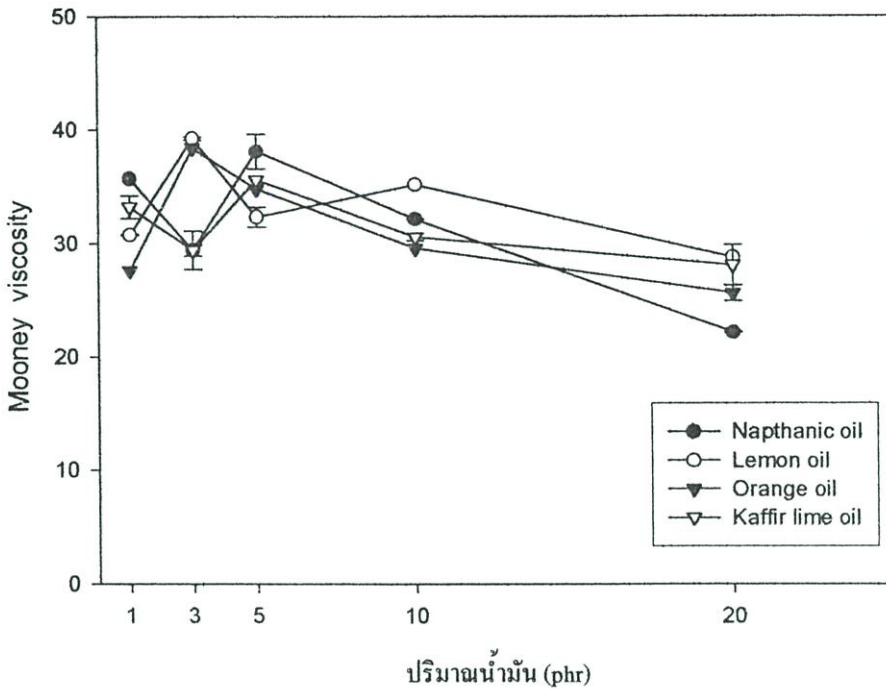
จากรูปที่ 4.10 เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของน้ำมันที่ต่างกัน (ที่ 5 phr) กับค่าความหนืดมูนนี่ (ML1+4 (100 °C) ของยางผสมสูตร พบว่า ค่าความหนืดมูนนี่ของยางผสมสูตรที่ใส่น้ำมันหอมระเหยจะมีค่าความหนืดมูนนี่ใกล้เคียงกับยางผสมสูตรที่ใส่น้ำมันจากปิโตรเลียม ทั้งนี้เพราะน้ำมันหอมระเหยมีสมบัติช่วยให้ยางธรรมชาติมีความหนืดลดลงหรือยางนิ่มขึ้น เช่นเดียวกับน้ำมันจากปิโตรเลียม จึงทำให้ค่าความหนืดมูนนี่ของยางผสมสูตรที่ใส่น้ำมันหอมระเหยมีค่าใกล้เคียงกับยางผสมสูตรที่ใส่น้ำมันจากปิโตรเลียม ส่วนยางผสมสูตรที่ไม่มีน้ำมัน พบว่า ความหนืดมูนนี่ของยางผสมสูตรมีค่าสูง เนื่องจากน้ำมันเป็นสารหล่อลื่น ทำหน้าที่ช่วยลดแรงเสียดทานระหว่างยางกับเครื่องจักรการผลิตและช่วยลดความหนืดของยางโดยจะเข้าไปหล่อลื่นระหว่างโมเลกุลของสายโซ่ ทำให้สายโซ่ของยางเคลื่อนที่ผ่านกันง่ายขึ้นจะทำให้ความหนืดของยางผสมสูตรลดลง ดังนั้นเมื่อยางผสมสูตรไม่มีน้ำมันจะทำให้ยางมีความหนืดมากขึ้น



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดมูนนี่กับยางผสมสูตรที่ใช้ น้ำมันต่างชนิดกัน

4.4.1.2 ผลของปริมาณน้ำมันที่มีต่อค่าความหนืดมูนนี่

จากรูปที่ 4.11 เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดมูนนี่กับปริมาณของน้ำมันที่ใส่ในยางผสมสูตรในปริมาณต่างกัน คือ 1 3 5 10 และ 20 phr พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันเป็น 10 และ 20 phr ทั้งน้ำมันหอมระเหยและน้ำมันจากปิโตรเลียมในยางผสมสูตรมีค่าความหนืดมูนนี่ของยางลดลงเล็กน้อย เนื่องจากน้ำมันหอมระเหยคล้ายน้ำมันปิโตรเลียม คือ มีสมบัติเป็นสารหล่อลื่น ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าน้ำมันมะนาว น้ำมันส้ม และน้ำมันมะกรูดช่วยทำให้ยางนิ่มขึ้นเมื่อเติมในปริมาณที่มากขึ้นสามารถทำหน้าที่เป็น Softener กล่าวคือ เมื่อปริมาณน้ำมันมากขึ้นจะมีผลทำให้ค่าความหนืดมูนนี่ของยางลดลง เนื่องจากปริมาณน้ำมันที่มากขึ้นจะช่วยทำให้สายโซ่โมเลกุลของยางเคลื่อนที่ผ่านกันได้ง่ายขึ้นสายโซ่ของยางพันกันน้อยลง ทำให้ยางมีความหนืดลดลง

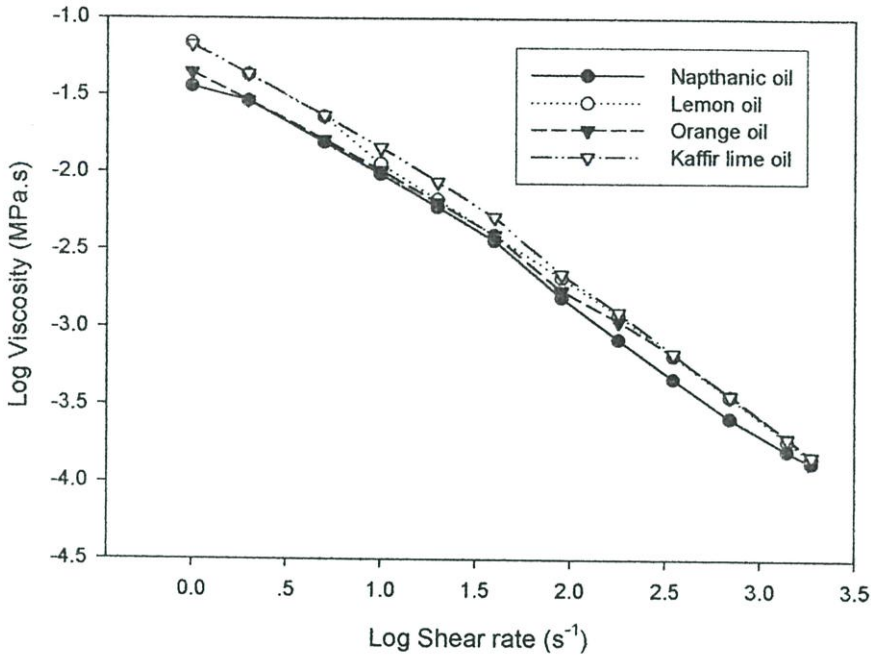


รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดมูนีกับปริมาณน้ำมัน

4.4.2 สมบัติการไหลด้วยเครื่องคาปิลลารีโอมิเตอร์

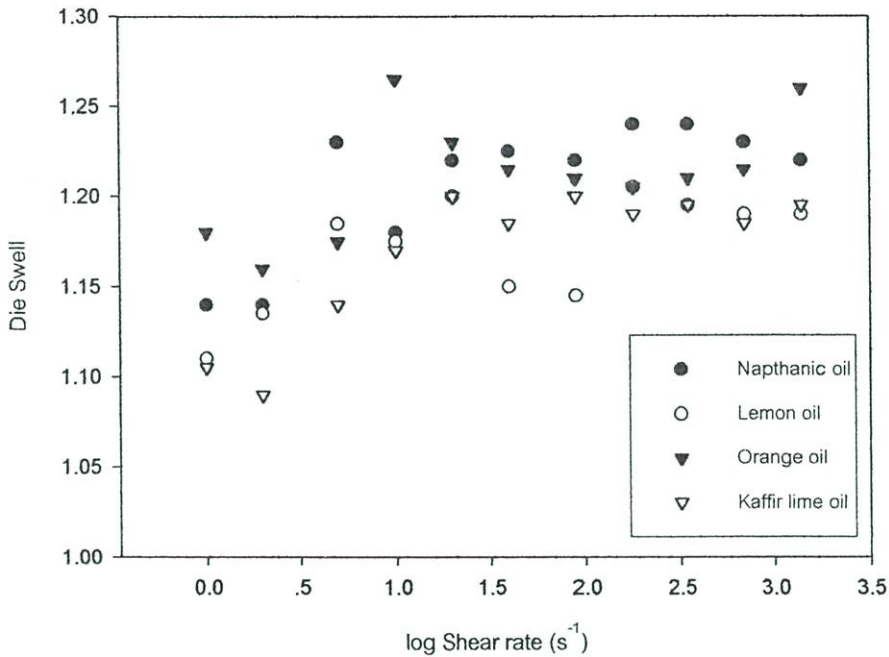
4.4.2.1 ผลของชนิดน้ำมันที่มีต่อสมบัติการไหลด้วยเครื่องคาปิลลารีโอมิเตอร์

จากรูปที่ 4.12 เมื่อพิจารณาเส้นกราฟการไหล (Flow curve) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดของยางผสมสูตรที่อัตราเฉือน (Shear rate) ต่างๆ จากเครื่อง Capillary Rheometer เมื่ออัตราเฉือนเพิ่มขึ้น ยางผสมสูตรจะมีค่าของความหนืดเฉือน (Shear viscosity) ลดลง ซึ่งพฤติกรรมนี้แสดงถึงความเป็นซูโดพลาสติก (Pseudoplasticity) และเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างยางผสมสูตรที่ใส่น้ำมันเนฟทานิกกับน้ำมันหอมระเหย พบว่า มีสมบัติการไหลใกล้เคียงกัน กล่าวคือ การเปลี่ยนความหนืดเมื่อเพิ่มอัตราเฉือนหรือความเป็นซูโดพลาสติก คล้ายกันหรือใกล้เคียงกัน โดยน้ำมันหอมระเหยมีความหนืดใกล้เคียงกับน้ำมันจากปิโตรเลียม (เนฟทานิก) ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับผลการศึกษาความหนืดมูนีของยางที่วัดด้วยเครื่องวัดความหนืดมูนี แสดงว่า น้ำมันหอมระเหยสามารถเป็นสารหล่อลื่นได้คล้ายกับน้ำมันเนฟทานิก



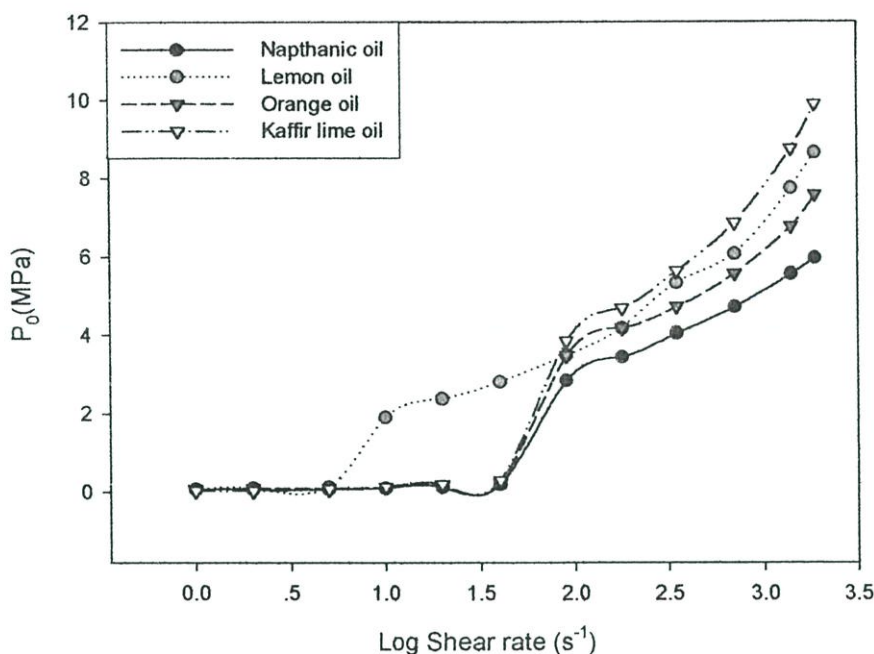
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดกับยางผสมสูตรที่ใช้ไขมันต่างชนิดกัน โดยใช้เทคนิค two-die correction (die ยาว 0 และ 32 mm)

ในทางทฤษฎีสารเติมแต่งที่ทำหน้าที่ลด Shear viscosity เช่นพลาสติกไซเซอร์ (Plasticizers) เมื่อได้รับ Shear stress ในขณะผ่าน Die จะส่งผ่านแรงที่ได้รับไปยังสายโซ่ทำให้สายโซ่เคลื่อนที่ ส่งผลให้ Die swell ลดลง [17] เมื่อ Shear rate เพิ่มขึ้น แต่จากผลทดลองพบว่าเมื่อ Shear rate เพิ่มขึ้น ยางผสมสูตรที่ใส่ไขมันหอมระเหยจะมีค่า Die swell ใกล้เคียงกัน แสดงว่าไขมันหอมระเหยและไขมันแนฟทานิกที่ใช้ไม่ได้ทำหน้าที่เป็น Plasticizers แต่อาจเป็น Lubricants เช่นเดียวกับไขมันแนฟทานิกดังแสดงในรูปที่ 4.13 ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่า Die swell และ Log shear rate ของยางผสมสูตรที่ใส่ไขมันชนิดต่างกัน (ที่ 5 phr) พบว่า การใส่ไขมันหอมระเหยนั้นให้ค่า Die swell มีค่าใกล้เคียงกับการใช้ไขมันจากปิโตรเลียมซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับค่าความหนืดมูนิของยาง



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Die swell และ Log shear rate ของยางผสมสูตรที่ใช้น้ำมันต่างชนิดกัน

จากรูปที่ 4.14 เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันทางเข้าตาย (entrance die, P_0) ที่ได้จาก Die ยาว 0 mm กับ Log shear rate โดยเปรียบเทียบระหว่างยางผสมสูตรที่ได้จากกระบวนการปิโตรเลียม (น้ำมันแนฟทานิก) กับน้ำมันหอมระเหย พบว่า ที่ Shear rate ต่ำๆ ที่ 1 2 5 10 20 และ 40 s^{-1} ค่า P_0 มีค่าไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อเพิ่ม Shear rate เป็น 90 180 350 700 1400 และ 1875 s^{-1} ค่า P_0 มีค่าแตกต่างกัน กล่าวคือ ยางผสมสูตรที่ใส่น้ำมันหอมระเหยจะมี ค่า P_0 มากกว่ายางผสมสูตรที่ใส่น้ำมันจากปิโตรเลียม นั้นหมายถึง การใช้น้ำมันหอมระเหยทำให้ความหนืดในส่วนของ Elongation flow มากกว่าการใช้น้ำมันจากปิโตรเลียม ซึ่งความแตกต่างนี้ไม่สามารถเห็นได้จาก Rotational shear deformation ในการหาความหนืดแบบหมุนนี้

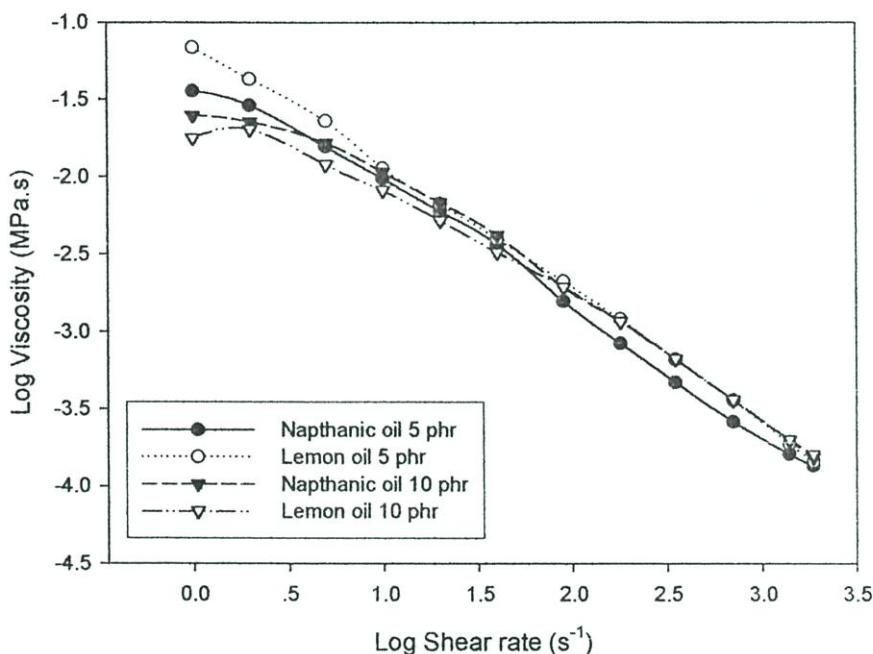


รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า P_0 และ Log shear rate ของยางผสมสูตรที่ใส่น้ำมันชนิดต่างกัน โดยใช้ Die ยาว 0 mm

4.4.2.2 ผลของปริมาณน้ำมันที่มีต่อสมบัติการไหลด้วยเครื่อง Capillary

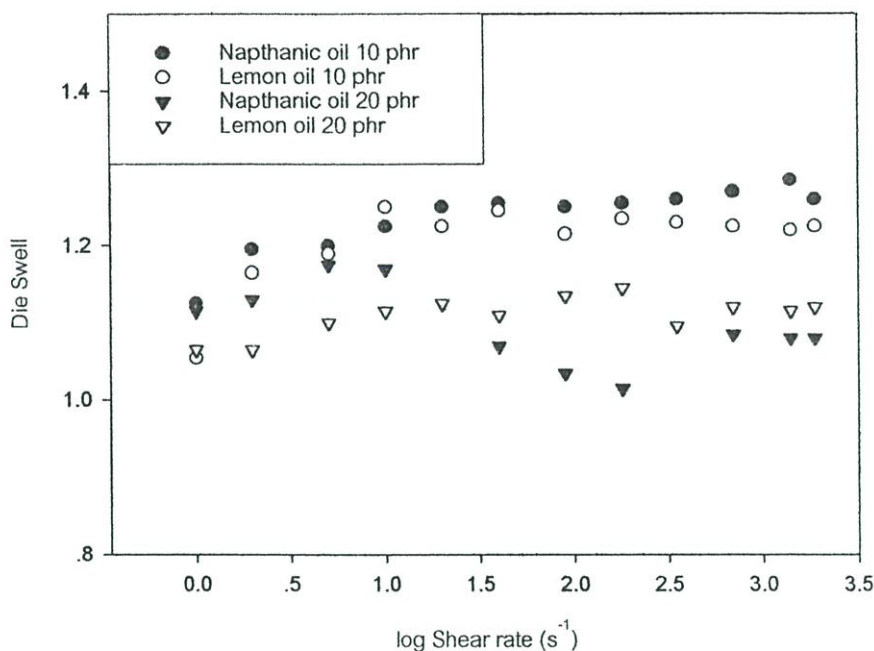
Rheometer

จากรูปที่ 4.15 เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดที่ได้จากเครื่อง Capillary Rheometer กับปริมาณของน้ำมันที่ใสในยางต่างกัน พบว่าเมื่อปริมาณน้ำมันเพิ่มขึ้นจะทำให้ความหนืดของยางผสมสูตรลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราเฉือนเท่ากัน ทั้งนี้เนื่องมาจากปริมาณน้ำมันที่เพิ่มจะทำให้สายโซ่ของยางเคลื่อนที่ได้ง่ายขึ้น ดังนั้นที่อัตราเฉือนเท่ากันจะทำให้ยางที่ใส่น้ำมันปริมาณ 10 phr มีค่าความหนืดต่ำกว่ายางที่ใส่น้ำมัน 5 phr อยู่เล็กน้อย นอกจากนี้การที่ความหนืดลดลงอย่างรวดเร็วเมื่ออัตราเฉือนเพิ่มขึ้น สามารถอธิบายได้ว่า ที่อัตราเฉือนต่ำๆ โมเลกุลของยางจะเรียงตัวแบบยุ่งเหยิง (Random coil) ความหนืดจะไม่ลดลงต่ำมากนัก เมื่ออัตราเฉือนเพิ่มขึ้นจนถึงค่าหนึ่ง มีแรงเฉือนมากพอที่จะเอาชนะ Randomizing effect ของ Brownian motion ทำให้ความหนืดลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งความหนืดนั้นมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความเค้นเฉือนซึ่งอาจจะทำให้การกระจายตัวของเขม่าดำไม่ดี การเติมสารเติมแต่งที่เป็นสารหล่อลื่น (Lubricants) มีแนวโน้มที่จะทำให้ค่าความหนืดของพอลิเมอร์ลดต่ำลง เนื่องจากสารเหล่านี้จะไปลดแรงเสียดทานของ Polymer bulk ระหว่างการไหล และแรงเสียดทานระหว่างเครื่องมือและพอลิเมอร์หลอมเหลวอย่างไรก็ตามการที่เราเติมสารประเภทนี้มากเกินไปจนความจำเป็น นอกจากจะเป็นการสิ้นเปลืองแล้ว ยังอาจก่อให้เกิดการกระจายตัวของสารตัวเติมที่ลดลง อันเนื่องมาจาก Shear stress ที่ลดลง



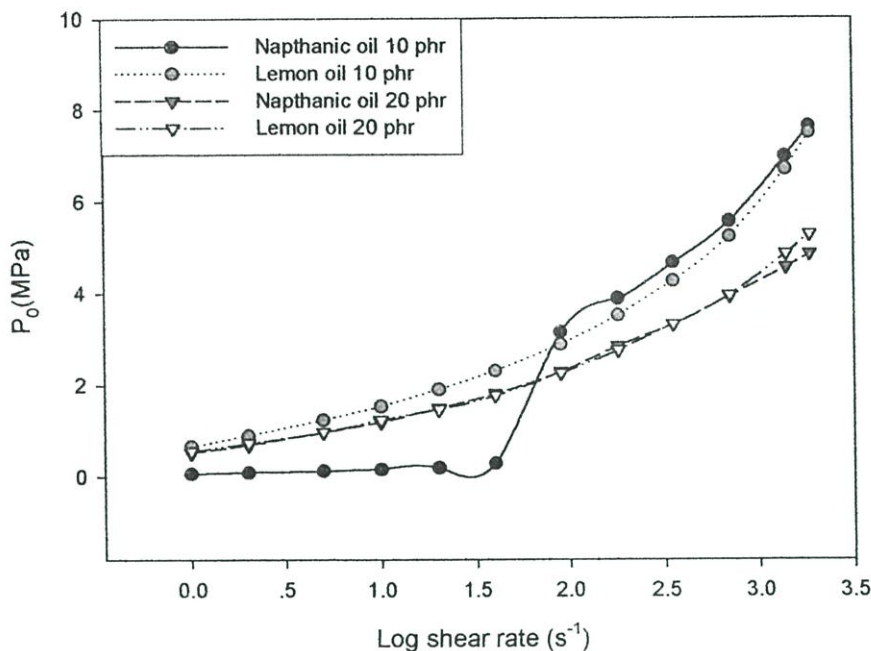
รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดกับปริมาณน้ำมันต่างกัน (5 และ 10 phr)
โดยใช้ Die ยาว 32 mm

จากรูปที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Die swell กับ Log shear rate ของยางผสมสูตรที่ใส่น้ำมันปริมาณต่าง ๆ กัน พบว่าค่า Die swell ระหว่างน้ำมันแนฟทานิกและน้ำมันมะนาวที่ปริมาณเท่ากันมีค่าใกล้เคียงกัน และสำหรับการเติมน้ำมันชนิดเดียวกันที่ปริมาณมากขึ้น ทำให้ค่า Die swell ต่ำลงเล็กน้อย เนื่องจากการเติมน้ำมันมากขึ้น ทำให้ยางนิ่มขึ้น ความหนืดลดลง เมื่อมีการให้แรงเฉือนยังสามารถเคลื่อนตัวออกจากกันได้ง่ายขึ้น ยางมีการจัดเรียงตัวหรือ Stress relaxation ของสายโซ่ยางในตาข่ายได้ดีขึ้นเมื่อกดกมากจนกหัวดาวยเกิดการคืนตัว (Recovery) น้อยลง จึงมีค่า Die swell ลดลงเมื่อปริมาณน้ำมันมากขึ้น



รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Die swell กับ Log shear rate ของยางผสมสูตรที่ใส่น้ำมันปริมาณต่างกัน

จากรูปที่ 4.17 เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันทางเข้าตาย (Entrance die, P_0) ที่ได้จาก Die ยาว 0 mm กับ Log shear rate โดยเปรียบเทียบระหว่างยางผสมสูตรที่ได้จากกระบวนการปิโตรเลียม (น้ำมันแนฟทานิก) กับ น้ำมันหอมระเหย ที่ปริมาณ 10 และ 20 phr พบว่า ที่ Shear rate 90 180 350 700 1400 และ 1875 s^{-1} ยางผสมสูตรที่ใส่น้ำมันปริมาณ 20 phr จะมีค่า P_0 น้อยกว่ายางผสมสูตรที่ใส่น้ำมัน 10 phr ทั้งนี้เนื่องจาก น้ำมันที่มากขึ้นจะทำให้ยางผสมสูตรมีความหนืดในส่วนของ Elongation flow ลดลง ซึ่งความแตกต่างนี้สามารถเห็นได้จาก Rotational shear deformation ในการหาความหนืดแบบมูนนี่ได้เช่นเดียวกัน



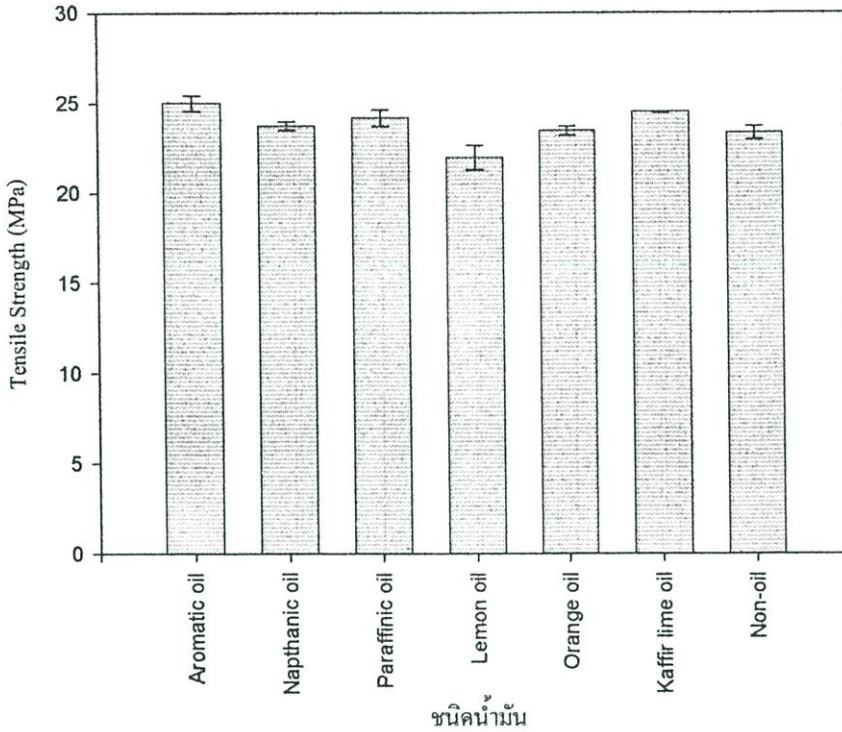
รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า P_0 และ Log shear rate ของยางผสมสูตรที่ใส่น้ำมัน ปริมาณต่างกัน

4.5 ผลของน้ำมันที่มีต่อสมบัติเชิงกล

4.5.1 ค่าความแข็งแรงดึง

4.5.1.1 ผลของชนิดน้ำมันที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงดึง

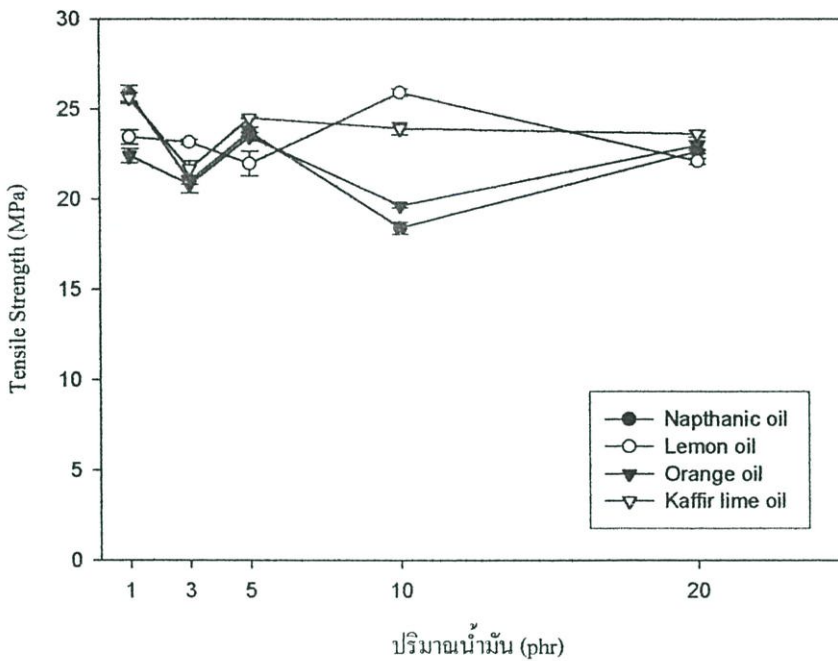
จากรูปที่ 4.18 พบว่า ในภาพรวมแล้วยางที่ใส่น้ำมันจากปิโตรเลียมและยางที่ใส่น้ำมันหอมระเหยมีค่าความแข็งแรงดึงใกล้เคียงกัน (ที่ปริมาณน้ำมัน 5 phr) สามารถใช้ผลของความหนาแน่นเชื่อมโยงสนับสนุนเพราะค่าความแข็งแรงดึงมีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นเชื่อมโยง [21] จากการทดลอง พบว่ายางที่ใส่น้ำมันหอมระเหยจะมีค่าความหนาแน่นเชื่อมโยงใกล้เคียงกับยางที่ใส่น้ำมันจากปิโตรเลียม ซึ่งส่งผลต่อค่าความแข็งแรงดึงของยางผสมสูตรด้วย ในส่วนของยางที่ไม่ใส่น้ำมัน จะมีค่าความแข็งแรงดึงใกล้เคียงกับยางที่ใส่น้ำมันแนฟทาติก ซึ่งสอดคล้องกับผลของความหนาแน่นเชื่อมโยงเช่นกัน นอกจากนี้ปริมาณที่ใส่คือ 5 phr ซึ่งอาจน้อยไปทำให้เห็นความแตกต่างไม่ชัดเจน



รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดั่งกับยางผสมสูตรที่ใช้ น้ำมันต่างชนิดกัน

4.5.1.2 ผลของปริมาณน้ำมันที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงดั่ง

จากรูปที่ 4.19 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างค่าความแข็งแรงดั่งกับปริมาณน้ำมันต่างกัน พบว่า เมื่อใส่ปริมาณน้ำมันมากขึ้น จะเห็นว่าค่าความแข็งแรงดั่งมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากน้ำมันหอมระเหยมีความเป็นสารหล่อลื่นเหมือนกับน้ำมันแนฟทานิก ดังนั้นเมื่อใส่ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจะช่วยในแง่ของกระบวนการขึ้นรูป ทำให้ผสมได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้ความเป็นสารหล่อลื่นภายนอก (External lubricants) ของน้ำมันแนฟทานิกและน้ำมันหอมระเหย ทำให้ไม่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงดั่ง ค่าที่ได้จึงไม่แตกต่างกันมากเมื่อปริมาณน้ำมันเพิ่มขึ้น

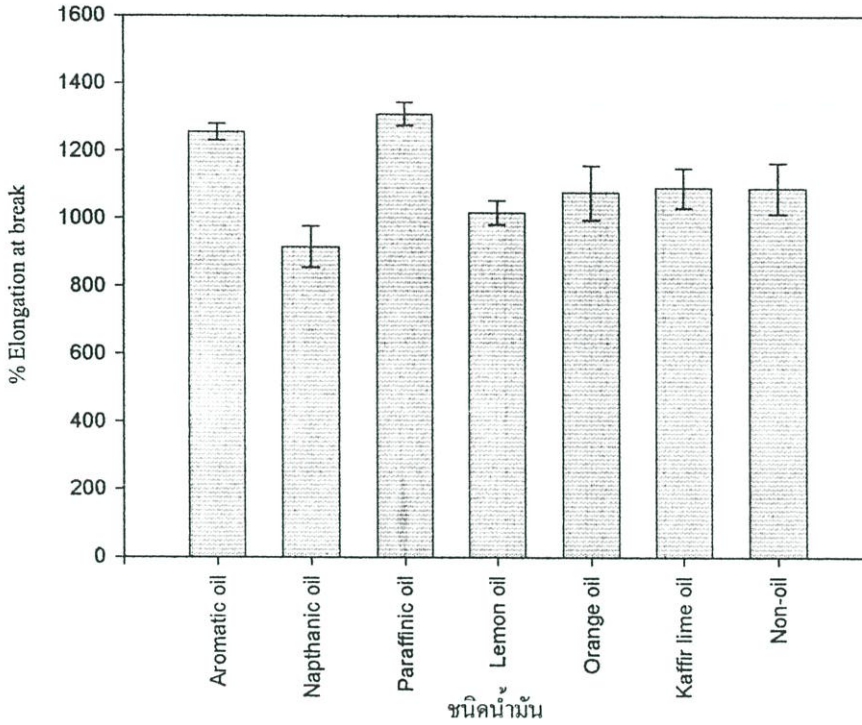


รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดิ่งกับปริมาณน้ำมัน

4.5.2 คาร์บอนิลการยึด ผน จุดขาด

4.5.2.1 ผลของชนิดน้ำมันที่มีผลต่อคาร์บอนิลการยึด ผน จุดขาด

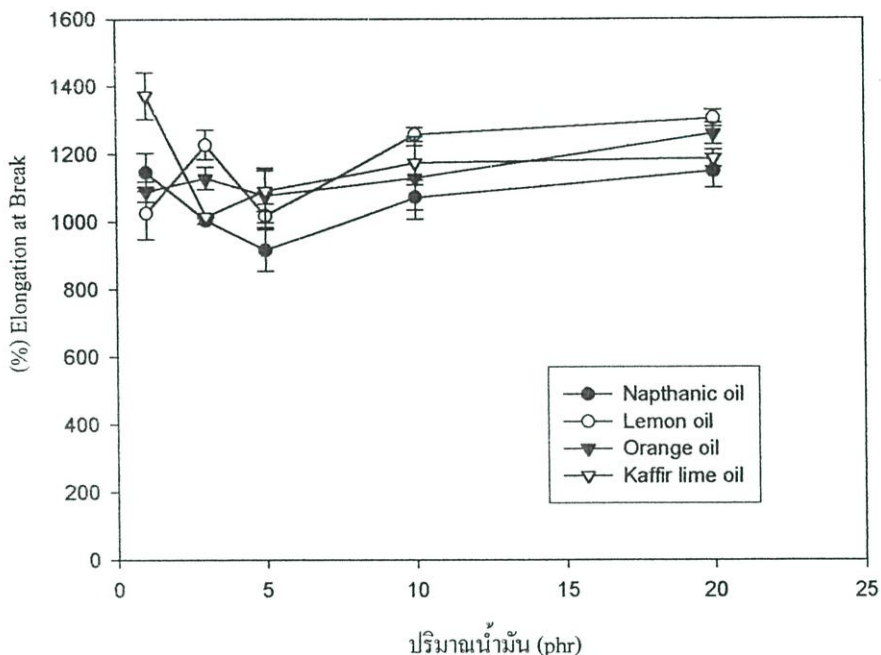
จากทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างคาร์บอนิลการยึด ผน จุดขาด กับชนิดของน้ำมันต่างกัน พบว่า จากรูปที่ 4.20 โดยรวมแล้วยางที่ใส่น้ำมันหอมระเหยมีคาร์บอนิลการยึด ผน จุดขาด ใกล้เคียงกับยางที่ใส่น้ำมันแนฟทานิก ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากผลของความหนาแน่นเชื่อมโยง จะเห็นว่าความหนาแน่นเชื่อมโยงของยางที่ใส่น้ำมันหอมระเหยจะมีค่าใกล้เคียงกับยางผสมสูตรที่ใส่น้ำมันแนฟทานิกทำให้เมื่อได้รับแรงดิ่งยางผสมสูตรสามารถต้านทานการขาดออกของสายโซ่ได้ใกล้เคียงกัน ส่วนยางที่ไม่ใส่น้ำมันมีคาร์บอนิลการยึด ผน จุดขาด ใกล้เคียงกับยางที่ใส่น้ำมันแนฟทานิกและยางผสมสูตรที่ใส่น้ำมันหอมระเหยทั้งนี้สอดคล้องกับผลของความหนาแน่นเชื่อมโยงที่มีค่าใกล้เคียงกัน



รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการยืดดึง ณ จุดขาด กับ ยางผสมสูตรที่ใช้ น้ำมันต่างชนิดกัน

4.5.2.2 ผลของปริมาณน้ำมันที่มีผลต่อค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาด

จากรูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาด กับปริมาณน้ำมันที่ต่างกันจะพบว่า ที่ปริมาณน้ำมันมากกว่า 5 phr ค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดของทุกสูตรมีแนวโน้มสูงขึ้นเล็กน้อย เมื่อปริมาณมากขึ้นเพราะน้ำมันที่มากขึ้น ความสามารถในการเคลื่อนที่ของสายโซ่เพิ่มขึ้น ค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาด จึงเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาด กับปริมาณของน้ำมัน

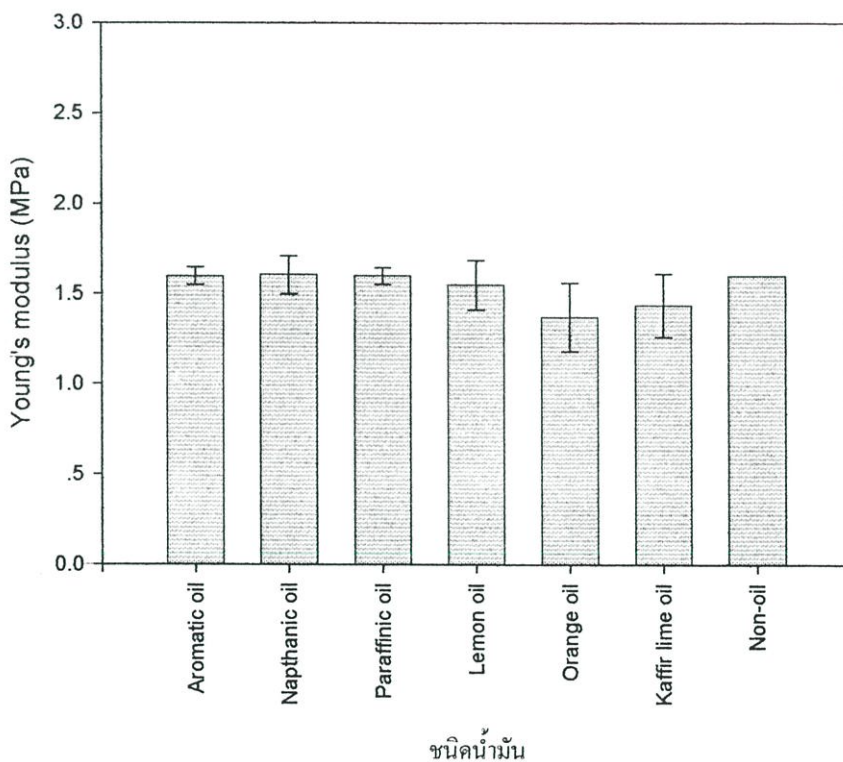
4.5.3 ค่ามอดุลัสของยัง มอดุลัสที่ 100 % , มอดุลัสที่ 300 % และค่าความแข็งกด

4.5.3.1 ผลของชนิดน้ำมันที่มีต่อค่ามอดุลัสของยัง มอดุลัสที่ 100 %

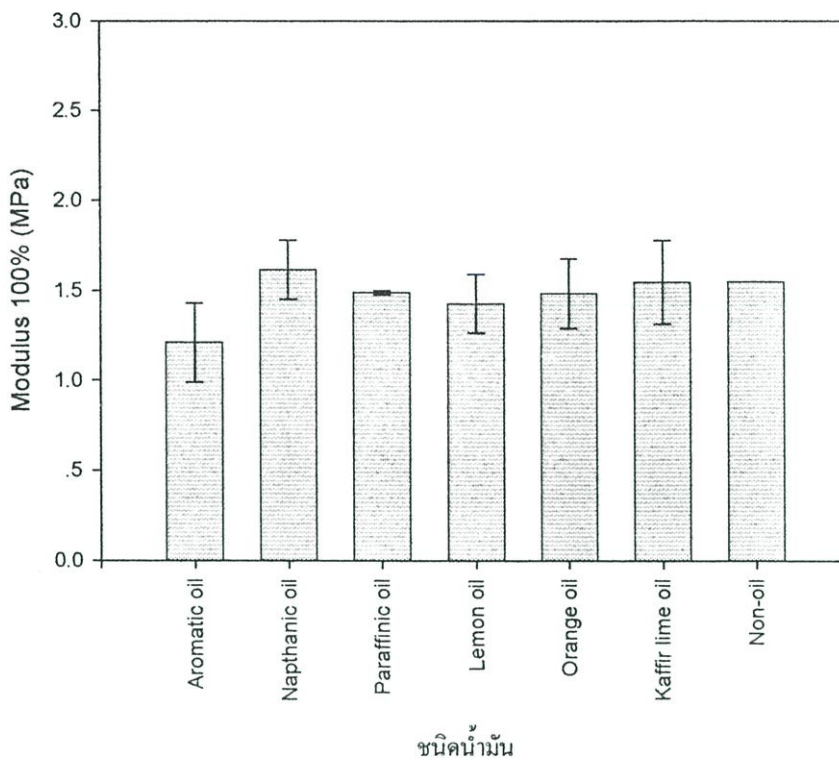
มอดุลัสที่ 300 % และค่าความแข็งกด

จากรูปที่ 4.22, 4.23, 4.24 และ 4.25 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสของยัง ค่ามอดุลัสที่ 100% (M100) ค่ามอดุลัสที่ 300% (M300) และค่าความแข็งกด (Hardness) กับ ชนิดของน้ำมันที่ต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบระหว่างยางที่ใส่น้ำมันจากปิโตรเลียมกับยางที่ใส่น้ำมันหอมระเหย พบว่าโดยภาพรวมแล้วยางที่ใส่น้ำมันหอมระเหยจะมีค่ามอดุลัสของยัง ค่ามอดุลัสที่ 100% ค่ามอดุลัสที่ 300% และค่าความแข็งกดใกล้เคียงกับยางที่ใส่น้ำมันจากปิโตรเลียม เนื่องจากน้ำมันหอมระเหยสามารถทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่นคล้ายกับน้ำมันจากปิโตรเลียม ดังนั้นเมื่อทำการเปรียบเทียบสมบัติของยางที่ใส่น้ำมันทั้งสอง ค่าที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งนี้สามารถใช้ผลของค่าความหนาแน่นเชื่อมโยงสนับสนุน [21] เนื่องจากค่าความหนาแน่นเชื่อมโยงมีอิทธิพลต่อค่ามอดุลัสของยัง มอดุลัสที่ 100% ค่ามอดุลัสที่ 300% ค่าความแข็งกด กล่าวคือ ถ้าความหนาแน่นเชื่อมโยงมากขึ้นจะมีผลทำให้ค่ามอดุลัสของยัง มอดุลัสที่ 100% ค่ามอดุลัสที่ 300% และค่าความ

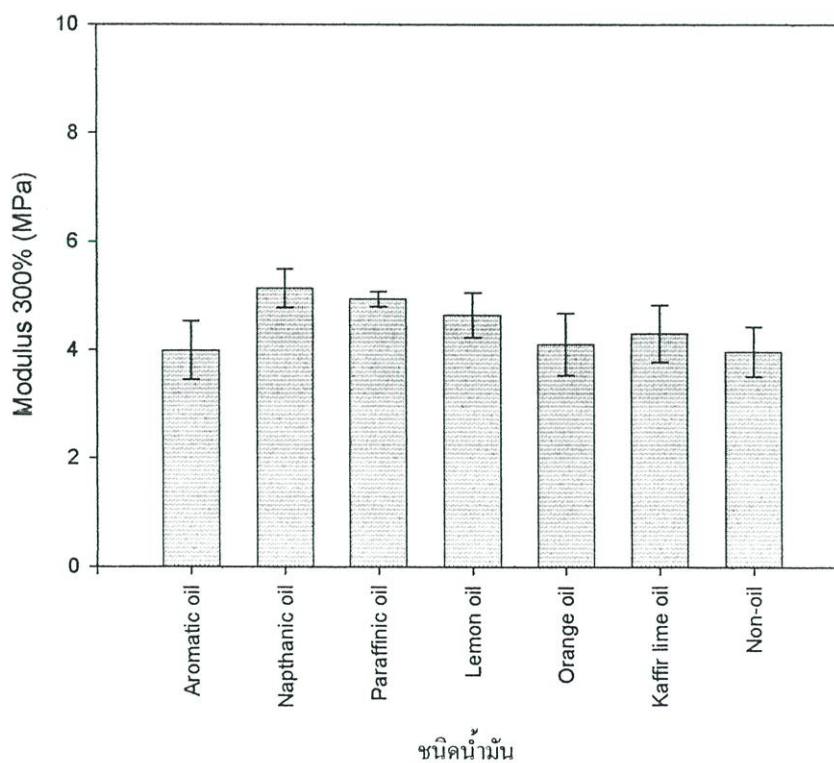
แข็งกตมากขึ้น [6] ดังนั้นจากผลการทดลองเมื่อศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่น เชื่อมโยงกับชนิดของน้ำมัน จากรูปที่ 4.6 พบว่ายางผสมสูตรที่ใส่น้ำมันหอมระเหย มีค่าความหนาแน่นเชื่อมโยงใกล้เคียงกับยางผสมสูตรที่ใส่น้ำมันจากปิโตรเลียม จึงมีผลทำให้ค่ามอดุลัสของ ยาง ค่ามอดุลัสที่ 100% ค่ามอดุลัสที่ 300% และค่าความแข็งกตของยางผสมสูตรที่ใส่น้ำมันหอมระเหย มีค่าไม่แตกต่างกันกับยางผสมสูตรที่ใส่น้ำมันจากปิโตรเลียมเท่าใดนัก ผลของน้ำมันมีผลต่อค่ามอดุลัสของยาง มอดุลัสที่ 100% มอดุลัสที่ 300% และความหนาแน่นเชื่อมโยง กล่าวคือ ถ้าไม่ใส่น้ำมันจะทำให้ค่าเหล่านี้มีค่ามากกว่ายางที่ใส่น้ำมัน แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของความเป็น Processing aid ซึ่งจะสัมพันธ์กับค่าความหนาแน่นเชื่อมโยง [22] แต่จากผลการทดลองไม่เป็นเช่นนั้น เพราะยางที่ไม่มีน้ำมันจะมีค่าใกล้เคียงกับยางที่มีน้ำมันซึ่งอาจเป็นผลเนื่องจากกราฟที่นำมาเปรียบเทียบใส่ปริมาณน้ำมัน 5 phr ซึ่งอาจไม่เห็นความแตกต่างอย่างชัดเจน



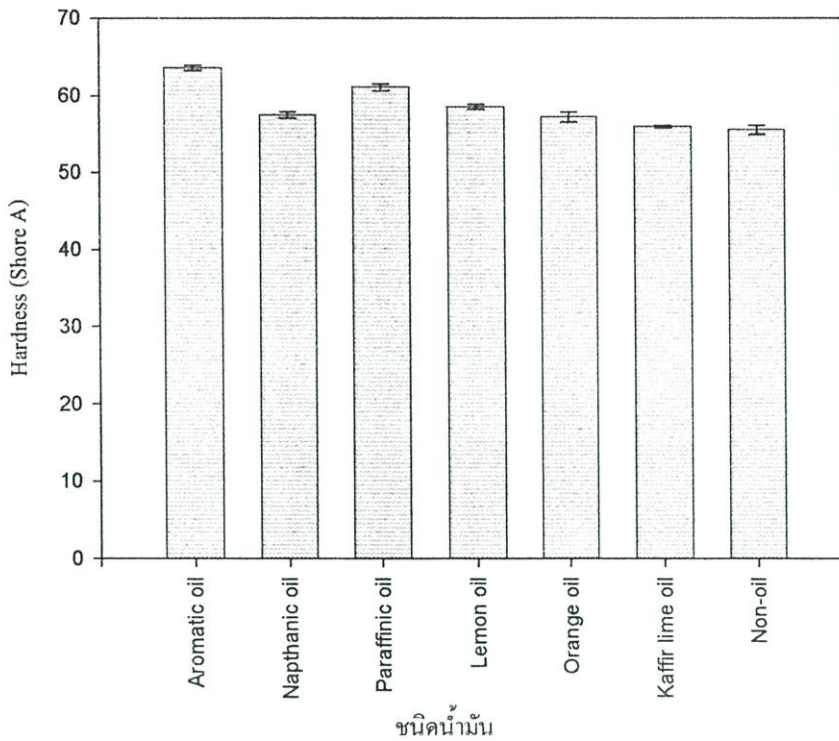
รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสของยางกับยางผสมสูตรที่ใส่น้ำมันต่างชนิด



รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสที่ 100 % กับยางผสมสูตรที่ใช้ น้ำมันต่างชนิดกัน



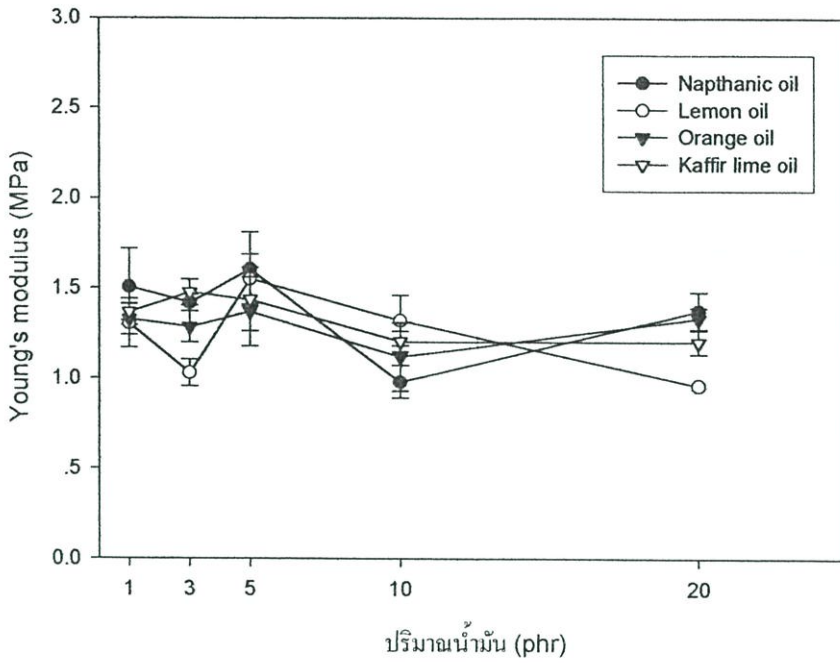
รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสที่ 300 % กับยางผสมสูตรที่ใช้ น้ำมันต่างชนิดกัน



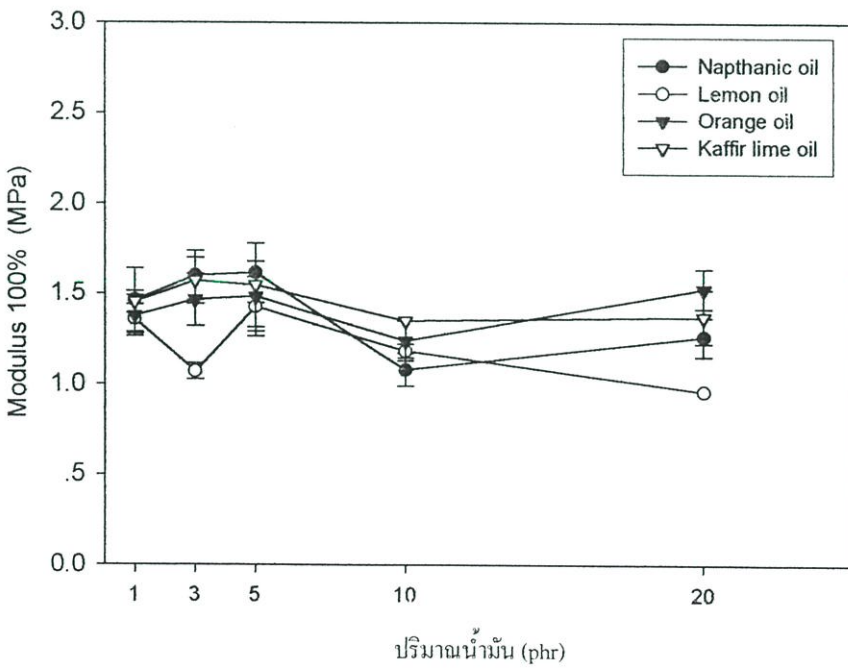
รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกดกับยางผสมสูตรที่ใช้ น้ำมันต่างชนิดกัน

4.5.3.2 ผลของปริมาณน้ำมันที่มีต่อค่ามอดุลัสของยัง มอดุลัสที่ 100 % , มอดุลัสที่ 300 % และค่าความแข็งกด

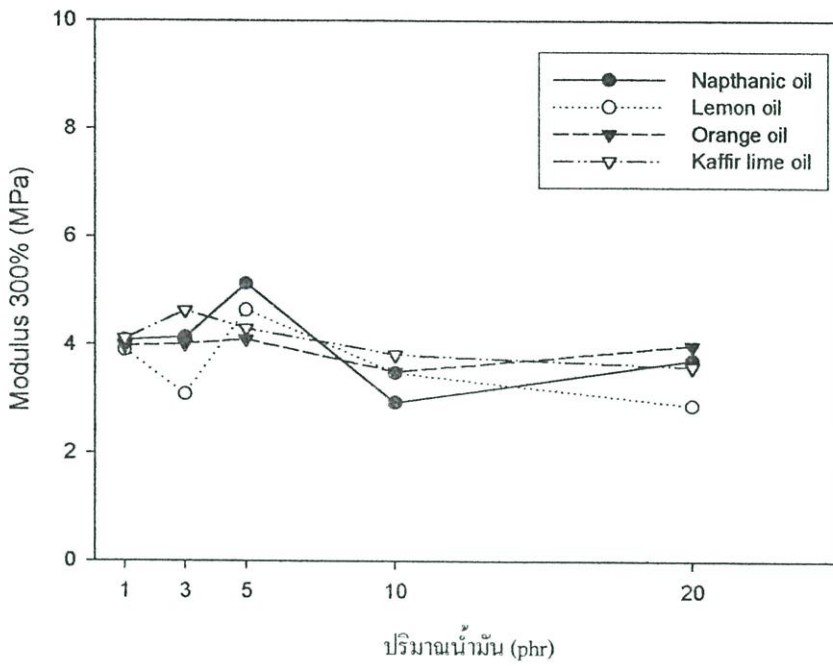
จากรูปที่ 4.26, 4.27, 4.28 และ 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสของยัง มอดุลัสที่ 100% มอดุลัสที่ 300% และค่าความแข็งกด กับปริมาณของน้ำมันที่ใส่ในยางผสมสูตร ต่างกัน พบว่าที่ปริมาณน้ำมันมากขึ้น ค่ามอดุลัสของยัง มอดุลัสที่ 100% มอดุลัสที่ 300% และค่าความแข็งกด มีค่าใกล้เคียงกันเนื่องจาก ทั้งน้ำมันหอมระเหยและน้ำมันจากปิโตรเลียมทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่นภายนอก (External lubricants) ช่วยให้กระบวนการขึ้นรูปทำได้ง่ายขึ้นเท่านั้น ไม่ได้มีผลทำให้ยางนิ่มขึ้น นอกจากนี้มันหอมระเหยไม่ได้แสดงความเป็น Coupling action เพราะความเป็น Coupling agent จะมีอิทธิพลต่อ Physico-chemical bond กล่าวคือ พันธะเคมีที่เกิดจะมีผลต่อสมบัติทางกายภาพระหว่างพื้นผิวของเขม่าดำกับยาง [24] ซึ่งน้ำมันหอมระเหยไม่มีผล จึงทำให้ค่ามอดุลัสเป็นไปในทิศทางเดียวกับยางผสมสูตรที่ใส่น้ำมันแนฟทาติก



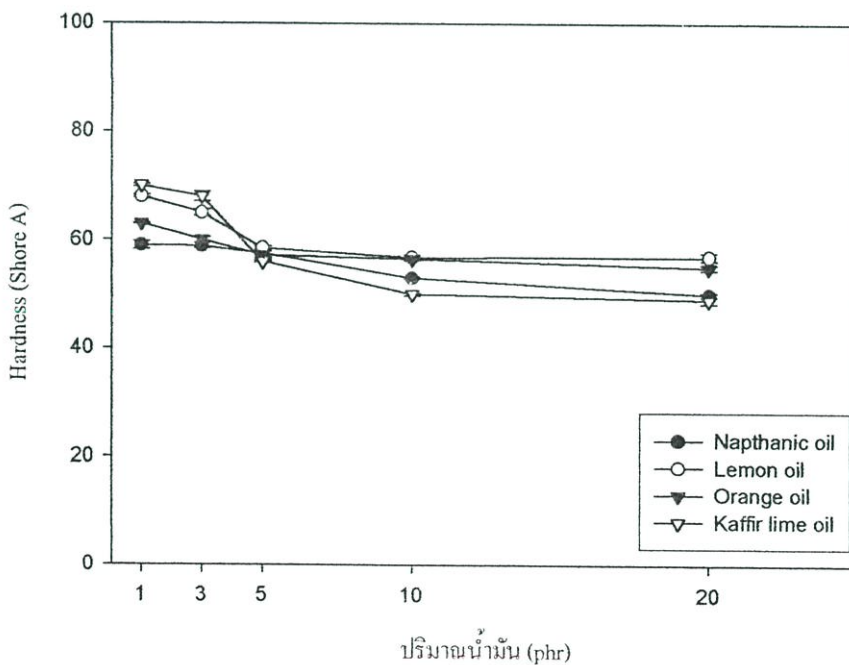
รูปที่ 4.26 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสของยังกับปริมาณของน้ำมัน



รูปที่ 4.27 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสที่ 100 % กับปริมาณของน้ำมัน



รูปที่ 4.28 ค่าความดัดพันระหว่างค่ามอดุลัสที่ 300 % กับปริมาณของน้ำมัน



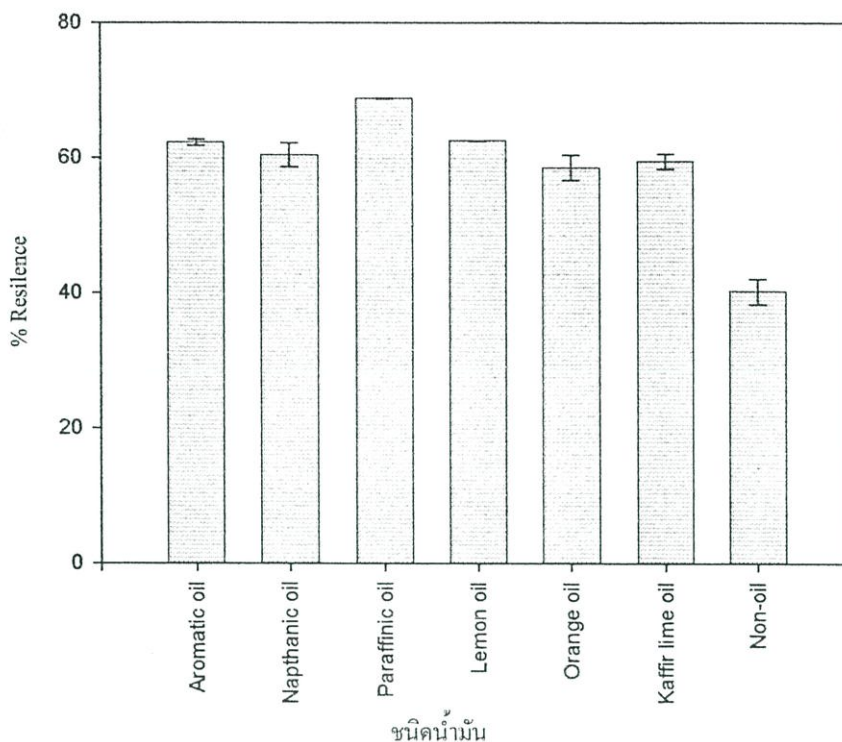
รูปที่ 4.29 ความดัดพันระหว่างค่าความแข็งกตกับปริมาณของน้ำมัน

4.5.4 การเด็งตัวของยางผสมสูตร

ในการทดสอบสมบัติการเด็งตัว (Resilience properties) ของยาง เมื่อลูกตุ้มน้ำหนักตกกระทบ จะมีแรงกระทำกับยาง ถ้ายางมีสมบัติการเด็งตัวสูง ยางจะสามารถรับพลังงานจากแรงตกกระทบนี้ แล้วปลดปล่อยคืนสู่ลูกตุ้มน้ำหนักโดยสูญเสียพลังงานไปในรูปอื่นเพียงเล็กน้อย เป็นผลให้ลูกตุ้มน้ำหนักเด็งตัวสูงขึ้น ซึ่งต่างจากยางที่มีการเด็งตัวต่ำ ยางจะสูญเสียพลังงานที่ได้รับเป็นพลังงานในรูปอื่น ทำให้เหลือพลังงานส่งกลับคืนสู่ลูกตุ้มน้ำหนักเพียงเล็กน้อย เป็นผลให้เกิดการเด็งตัวเพียงเล็กน้อย

4.5.4.1 ผลของชนิดน้ำมันที่มีต่อการเด็งตัวของยางผสมสูตร

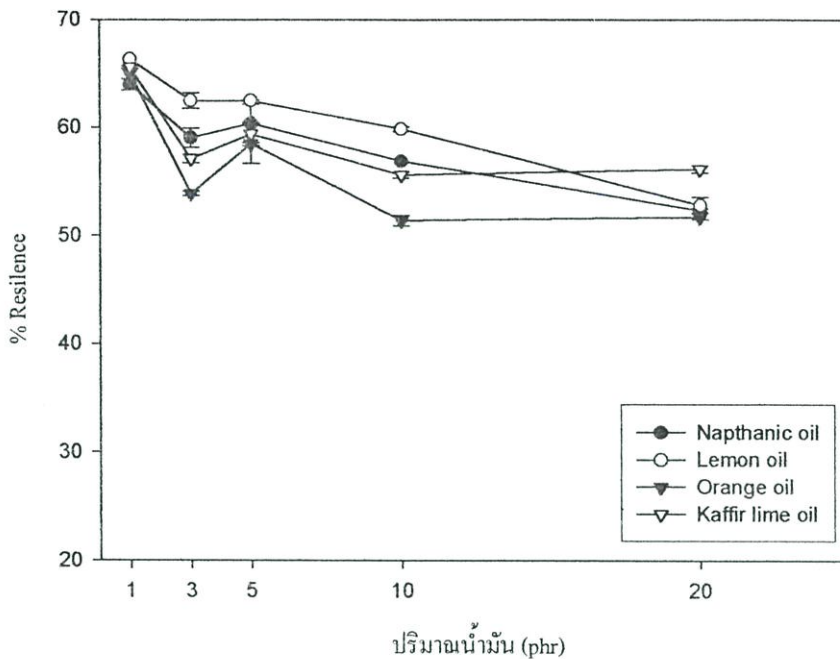
จากรูปที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการเด็งตัว (% Resilience) กับชนิดของน้ำมัน (ที่ 5 phr) จากผลการทดลองได้มีการพิจารณาถึงผลของชนิดของน้ำมันที่มีผลต่อการเด็งตัวของยางผสมสูตร พบว่ายางผสมสูตรที่ใส่น้ำมันหอมระเหยจะมีการเด็งตัวของยางต่ำกว่ายางผสมสูตรที่ใส่น้ำมันจากปิโตรเลียมเล็กน้อย ในส่วนของยางผสมสูตรที่ไม่ใส่น้ำมัน พบว่ามีค่าร้อยละของการเด็งตัวต่ำกว่ายางที่ใส่น้ำมันปริมาณ 5 phr ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันจะช่วยทำให้ยางนิ่ม เมื่อยางได้รับแรงตกกระทบ แล้วปลดปล่อยพลังงานที่ได้รับ โดยสูญเสียพลังงานไปในรูปอื่นเพียงเล็กน้อย แต่ถ้ายางปราศจากน้ำมันแล้ว ยางจะแข็ง เมื่อยางได้รับแรงตกกระทบ จะทำให้ยางใช้พลังงานที่ได้รับไปในรูปอื่น เช่น ถ่ายเทแรงไปใช้ในรอยตำหนิที่เกิดขึ้นในชิ้นงาน ดังนั้นจึงเหลือพลังงานในการเด็งตัวของยางผสมสูตรน้อย จึงทำให้ยางที่ไม่มีน้ำมันจะมีร้อยละการเด็งตัวต่ำกว่ายางที่ใส่น้ำมัน



รูปที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการดุ้งตัวกับยางผสมสูตรที่ใช้ไขมันต่างชนิดกัน

4.5.4.2 ผลของปริมาณน้ำมันที่มีต่อการดุ้งตัวของยางผสมสูตร

จากรูปที่ 4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดุ้งตัวกับปริมาณของน้ำมัน พบว่า เมื่อปริมาณน้ำมันมากขึ้นยางมีสมบัติการดุ้งตัวลดลงเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องมาจาก เมื่อปริมาณน้ำมันมากขึ้น สายโซ่ของยางเคลื่อนที่ได้ง่ายขึ้น ยางนิ่มขึ้น เมื่อยางได้รับแรงตกกระทบ ยางจะสูญเสียพลังงานที่ได้รับเป็นพลังงานในรูปอื่น โดยจะใช้พลังงานในการทำให้สายโซ่โมเลกุลเคลื่อนไหวผ่านกันได้ง่ายขึ้นขณะเปลี่ยนขนาดเมื่อได้รับแรงเมื่อเคลื่อนที่ผ่านกันอาจมีการเปลี่ยนตำแหน่งแบบไม่ย้อนกลับ (Irreversible chain slippage) ทำให้สูญเสียพลังงานที่ได้รับบางส่วน ทำให้เหลือพลังงานส่งกลับคืนสู่ลูกตุ้มน้ำหนักน้อย เป็นผลให้เกิดการดุ้งตัวต่ำเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมัน การดุ้งตัวของยาง จะขึ้นอยู่กับความเป็น Elasticity ของยางผสมสูตร การดุ้งตัวจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ การกลับคืนสู่สภาพเดิมของยาง [23]

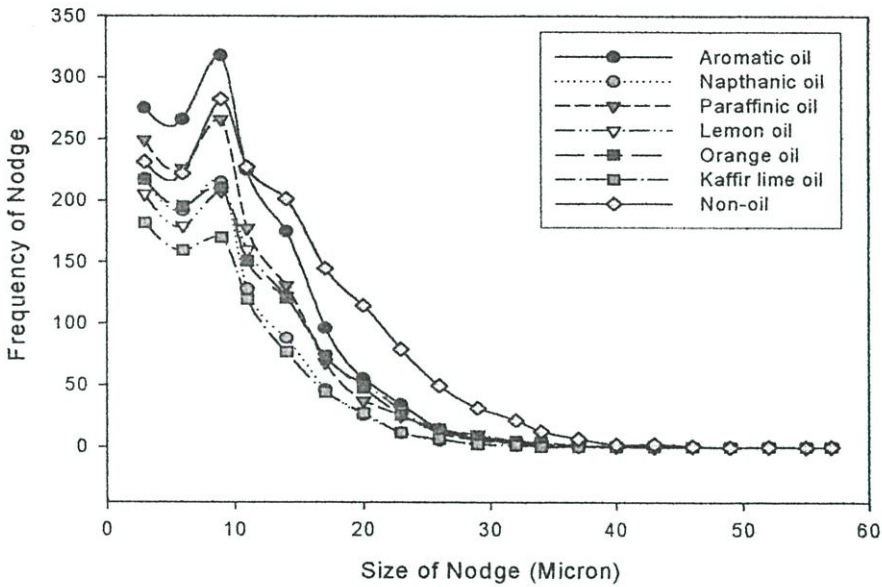


รูปที่ 4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการดุ้งตัวกับปริมาณของน้ำมัน

4.6 ผลของน้ำมันที่มีต่อการกระจายตัวของเขม่าดำในยางผสมสูตรด้วยเครื่อง Dispergrader

4.6.1 ผลของชนิดน้ำมันที่มีผลต่อการกระจายตัวของเขม่าดำในยาง

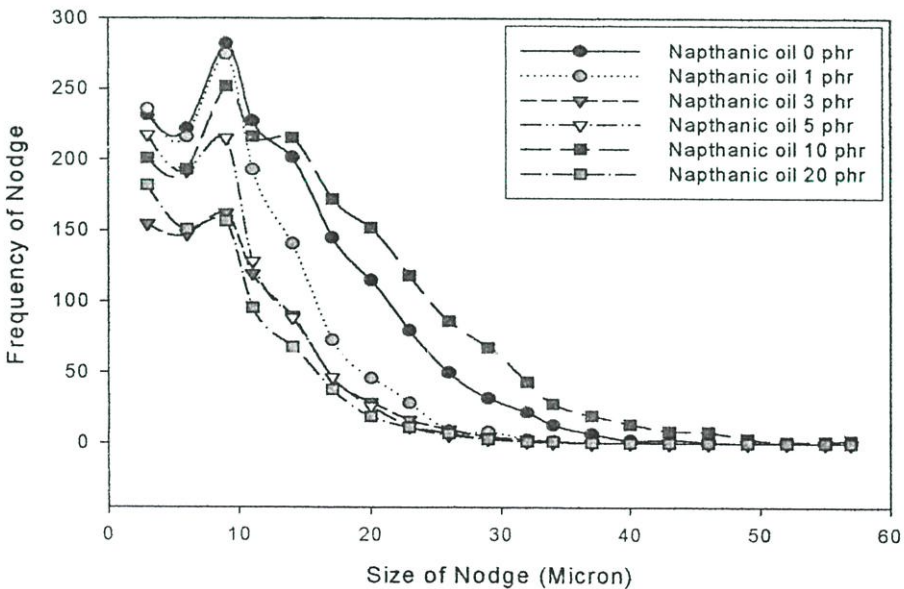
จากรูปที่ 4.32 พบว่า ที่ปริมาณน้ำมัน 5 phr เท่ากันยางผสมสูตรที่ใส่น้ำมันหอมระเหยจะมีขนาดของกลุ่มก้อนเขม่าดำที่ขนาด 3 6 9 และ 11 ไมครอน เป็นส่วนมาก ซึ่งส่งผลการกระจายตัวของเขม่าดำคล้ายกับยางผสมสูตรที่ใส่น้ำมันจากปิโตรเลียม กล่าวคือ น้ำมันหอมระเหยไม่ส่งผลการกระจายตัวของเขม่าดำ เนื่องจากน้ำมันหอมระเหยมีโครงสร้างที่สามารถแทรกระหว่างสายโซ่โมเลกุลของยางได้เช่นเดียวกับยางผสมสูตรที่ใส่น้ำมันจากปิโตรเลียม ในส่วนของยางผสมสูตรที่ไม่ใส่น้ำมัน จะพบขนาดของเขม่าดำขนาดใหญ่มากกว่ายางผสมสูตรที่ใส่น้ำมัน แสดงให้เห็นว่าน้ำมันมีผลต่อการกระจายตัวของเขม่าดำ



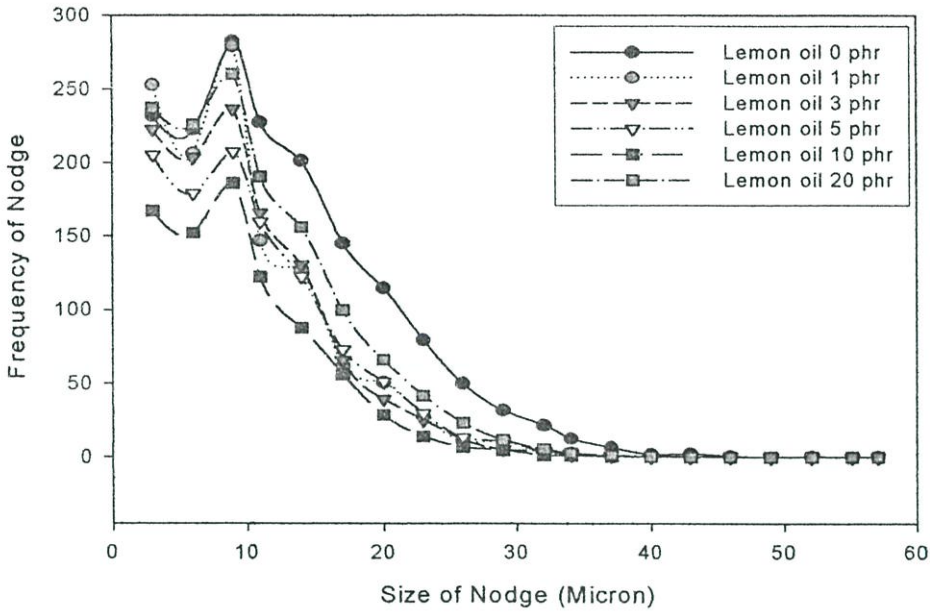
รูปที่ 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่ของเขม่าดำที่พบในยางผสมสูตรกับขนาดของเขม่าดำที่ใส่ชนิดน้ำมันต่างกัน (ที่ 5 phr)

4.6.2 ผลของปริมาณน้ำมันที่มีผลต่อการกระจายตัวของเขม่าดำ

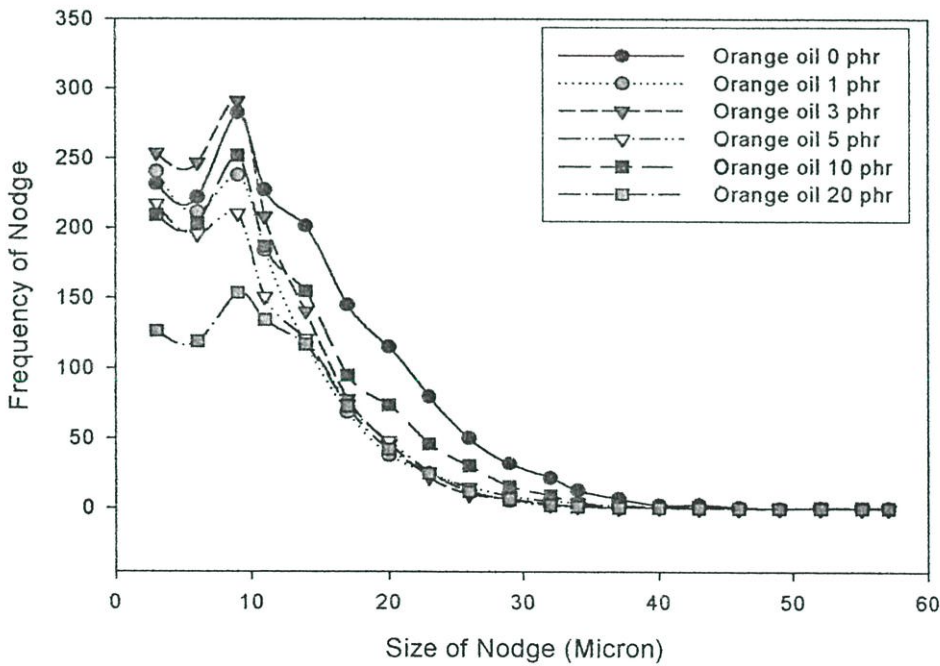
จากรูปที่ 4.33 4.34 4.35 และ 4.36 จะเห็นว่าผลที่ของการกระจายตัวแตกต่างกันมากเมื่อปริมาณน้ำมันมากขึ้น กล่าวคือ มีขนาดของเขม่าดำที่มีขนาดใหญ่ขึ้นมีจำนวนมากขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ปริมาณน้ำมันที่มากขึ้นมีผลทำให้เขม่าดำกับยางผสมกันได้ดีไม่เกิดเขม่าดำเกิดการเกาะตัวเป็นกลุ่มก้อน



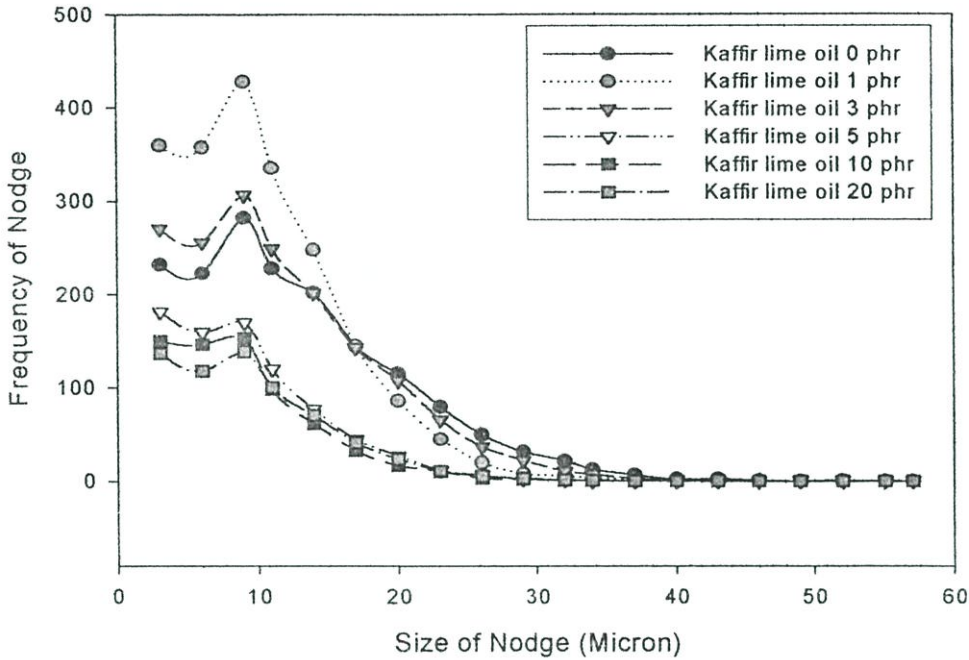
รูปที่ 4.33 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่ของเขม่าดำที่พบในยางผสมสูตรที่ใส่น้ำมันแนฟทาติกปริมาณต่างกับกับขนาดของเขม่าดำ



รูปที่ 4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่ของเขม่าดำที่พบในยางผสมสูตรที่ใส่น้ำมันมะนาว ปริมาณต่างกับกับขนาดของเขม่าดำ



รูปที่ 4.35 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่ของเขม่าดำที่พบในยางผสมสูตรที่ใส่น้ำมันส้ม ปริมาณต่างกับกับขนาดของเขม่าดำ

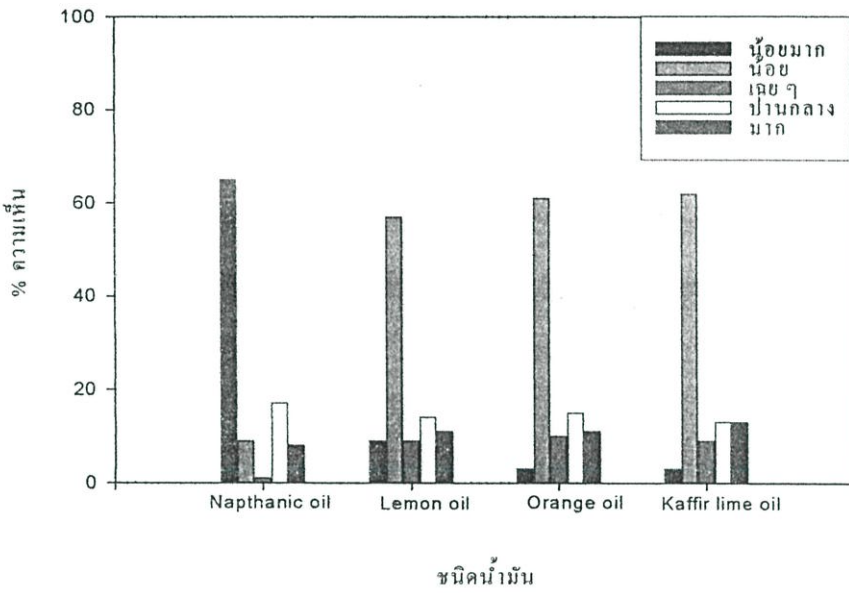


รูปที่ 4.36 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่ของเขม่าดำที่พบในยางผสมสูตรที่ใส่น้ำมันมะกรูด ปริมาณต่างกันกับขนาดของเขม่าดำ

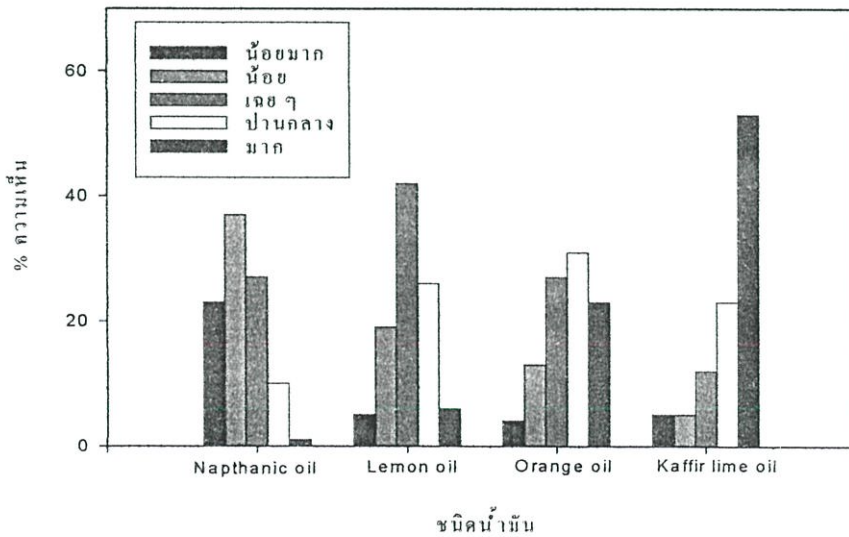
4.7 ผลของน้ำมันที่มีต่อกลิ่นของยางผสมสูตร

จากผลการศึกษากลิ่นของยางผสมสูตร ดังแสดงในรูปที่ 4.37 4.38 และตารางที่ 4.4 ได้มีการจัดทำแบบสอบถาม (Questionnaires) (ภาคผนวก ค) เพื่อสอบถามความคิดเห็นเกี่ยวกับกลิ่นของน้ำมันหอมระเหยที่ใส่ในยางผสมสูตร จากคนที่มีอาชีพ อายุ เพศ และการศึกษาต่างกัน ทั้งหมดเป็นจำนวน 100 คน แบ่งออกเป็น เพศ (เพศหญิง 51 % เพศชาย 49 %) อายุ (ช่วงอายุ 15-25 ปี 33 % ช่วงอายุ 26-35 ปี 34 % ช่วงอายุ 36-45 ปี 31 % อายุ 46 ปีขึ้นไป 2%) การศึกษา (ประถมศึกษา 5 % มัธยมศึกษา 18% ปริญญาตรี 65% สูงกว่าปริญญาโท 12%) อาชีพ (นักเรียนนักศึกษา 35% แม่บ้าน 7% ข้าราชการ 20% รัฐวิสาหกิจ 15% เอกชน 16% ธุรกิจส่วนตัว 7 %) ประสิทธิภาพในการดมกลิ่น (หมายถึง ขณะทำการทดสอบผู้ทำการทดสอบไม่ได้เป็นหวัด) ดีมาก 66 % ดี 18% พอใช้ 13% แย่ 2% แย่มาก 1% กลิ่นที่รบกวนขณะทำแบบสอบถาม ไม่มี 99% มี 1 %

จากผลของการทำแบบสอบถาม ซึ่งใช้โปรแกรมทางสถิติ (SPSS version 9.01 บริษัท ไมโครซอฟท์ จำกัด) ในการวิเคราะห์และแสดงผล ดังแสดงในรูปที่ 4.37 และ 4.38 พบว่า ชีงงาน ชั้นที่ 1 (ยางผสมน้ำมันแอฟทานิก 5 phr) มีความแรงของกลิ่นน้อยมาก ซึ่งคนส่วนใหญ่ชอบน้อย ชั้นงานชั้นที่ 2 (ยางผสมน้ำมันมะนาว 5 phr) มีความแรงของกลิ่นน้อย ซึ่งคนส่วนใหญ่จะไม่มีความคิดเห็น ชั้นงานชั้นที่ 3 (ยางผสมน้ำมันส้ม 5 phr) มีความแรงของกลิ่นน้อย ซึ่งคนส่วนใหญ่จะชอบปานกลาง ชั้นงานชั้นที่ 4 (ยางผสมน้ำมันส้ม 5 phr) มีความแรงของกลิ่นน้อย ซึ่งคนส่วนใหญ่จะชอบมาก

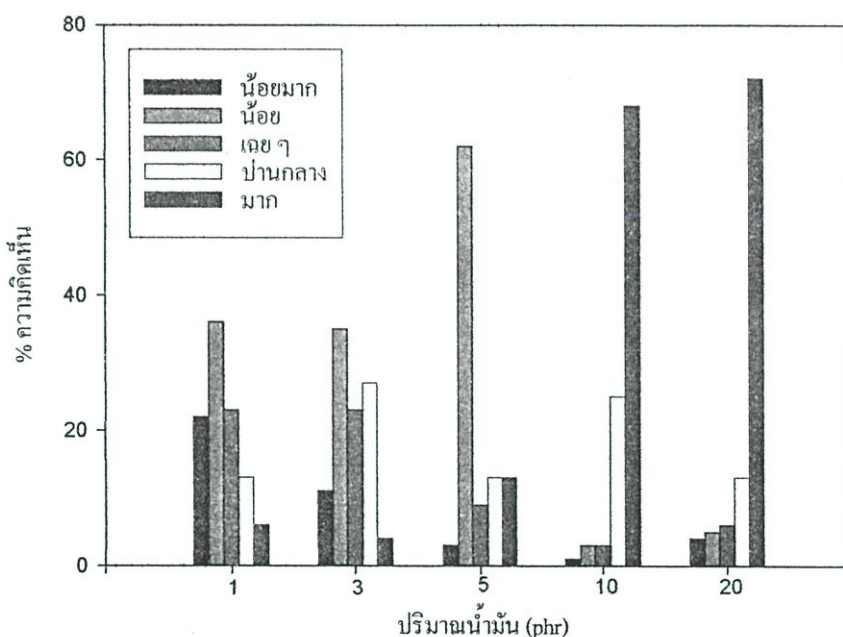


รูปที่ 4.37 ผลจากแบบสอบถามเรื่องความแรงของกลิ่นที่ชนิดน้ำมันต่าง ๆ ที่ปริมาณ 5 phr

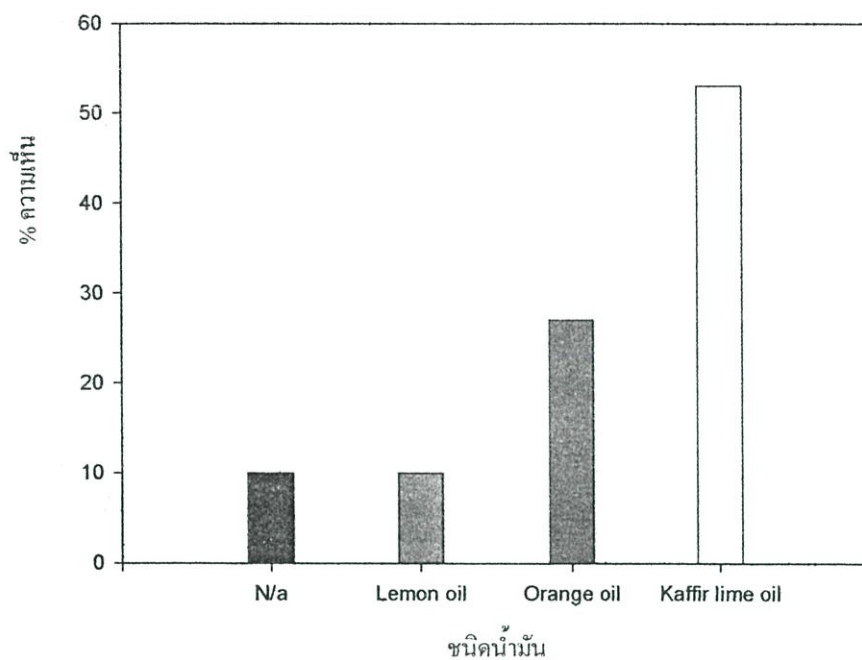


รูปที่ 4.38 ผลการทดสอบเรื่องความชอบกลิ่นของน้ำมันชนิดต่าง ๆ ที่ปริมาณน้ำมัน 5 phr

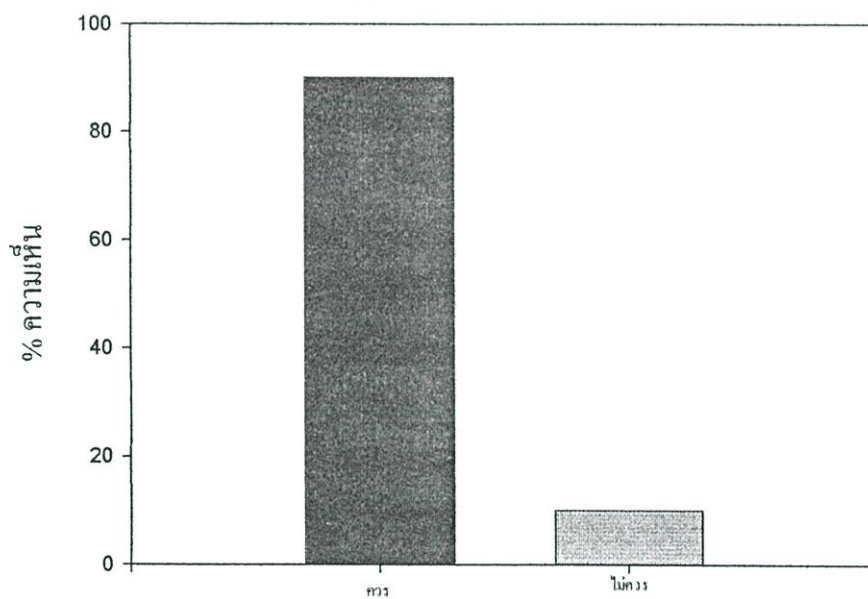
เมื่อทำการเปรียบเทียบความหอมของน้ำมันมะกรูดที่ใส่ในยางผสมสูตรในปริมาณต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.39 พบว่า ยางผสมสูตรที่ใส่น้ำมันมะกรูด 1 phr และยางผสมสูตรที่ใส่น้ำมันมะกรูด 5 phr จะมีความหอมของกลิ่นน้อยกว่ายางผสมสูตรที่ใส่น้ำมันมะกรูด 10 phr และยางผสมสูตรที่ใส่น้ำมันมะกรูด 20 phr จากผลสำรวจความคิดเห็น จากรูปที่ 4.40 พบว่าคนส่วนใหญ่อยากให้อย่างที่ใส่กันอยู่ทั่วไปมีกลิ่นของน้ำมันมะกรูดมากที่สุด โดยเป็นกลิ่นของน้ำมันมะกรูด 53 % น้ำมันส้ม 27 % น้ำมันมะนาว 10% และเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.41 ในการประยุกต์ใช้งานของยางผสมน้ำมันหอมระเหย จากกราฟคนส่วนใหญ่มีความเห็นว่าควรจะไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมถึง 90 % สำหรับงานที่จะประยุกต์ใช้นั้นจากสามารถดูได้จากตารางที่ 4.4 พบว่า จากผลสำรวจความคิดเห็นอยากจะให้ประยุกต์ใช้เป็นวัสดุดับกลิ่นในห้องน้ำ วัสดุดับกลิ่นในห้องน้ำชาย ยางปูพื้นรถยนต์เป็นส่วนใหญ่



รูปที่ 4.39 สรุปผลการทดสอบกลิ่นของยางผสมสูตรที่ใส่น้ำมันมะกรูดปริมาณต่างกันจากแบบสอบถาม



รูปที่ 4.40 สรุปผลการทดสอบกลิ่นของยางผสมสูตรที่ใส่น้ำมันหอมระเหยต่างกันจากแบบสอบถาม



รูปที่ 4.41 ความสัมพันธ์ระหว่าง%ความเห็นของความต้องการยางผสมสูตรที่ใส่น้ำมันหอมระเหยไปใช้ในอุตสาหกรรม

ตารางที่ 4.4 การประยุกต์ใช้งานของยางที่ใส่น้ำมันหอมระเหย

การประยุกต์ใช้	% ความเห็น
ยางปูพื้นรถยนต์	15 %
พื้นรองเท้า	6 %
วัสดุดับกลิ่นในห้องน้ำชาย	32 %
วัสดุดับกลิ่นในห้องน้ำ	34 %
ยางปูพื้นกันลื่น	7 %
ฟองน้ำยาง เช่น หมอน ที่นอน	5 %
อื่นๆ	1 %

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาจากน้ำมันหอมระเหย ได้แก่ น้ำมันมะนาว น้ำมันส้ม และน้ำมันมะกรูด เพื่อใช้เป็นสารเติมแต่งหลายหน้าที่ (Multifunctional additives) สำหรับยางธรรมชาติ ได้แก่ สารหล่อลื่น (Lubricants) สารช่วยกระบวนการผลิต (Processing aids) และสารให้กลิ่น (Odorants) จากการทำวิจัยเปรียบเทียบสมบัติต่างๆ ของยางผสมสูตรที่ใช้ น้ำมันหอมระเหยกับยางผสมสูตรที่ใช้ น้ำมันจากปิโตรเลียมที่ใช้อยู่ในอุตสาหกรรมยางในปัจจุบัน (น้ำมันอะโรติก น้ำมันแนฟทานิก และน้ำมันพาราฟิน) พบว่า น้ำมันหอมระเหยสามารถทดแทนน้ำมันจากปิโตรเลียมได้ น้ำมันหอมระเหยช่วยทำให้ยางนิ่มและไม่ทำให้สมบัติต่างๆ ของยางเปลี่ยนไป ได้แก่ ลักษณะการเชื่อมโยง และสมบัติเชิงกล

เมื่อพิจารณาถึงผลของปริมาณน้ำมันที่มีต่อสมบัติต่างๆ ของยางผสมสูตรพบว่า เมื่อปริมาณเพิ่มขึ้น น้ำมันหอมระเหยสามารถทำหน้าที่เป็นสารทำให้นิ่มได้เช่นเดียวกับน้ำมันจากปิโตรเลียม ยืนยันจากผลของค่าความหนืดมูนิ ร้อยละการดึงตัว และความหนาแน่นเชื่อมโยง มีแนวโน้มลดลงเช่นเดียวกับน้ำมันจากปิโตรเลียม ส่วนร้อยละการยืด ณ จุดขาด ที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้นไม่ส่งผลต่อลักษณะการเชื่อมโยงของยางผสมสูตร

จากการสุ่มตัวอย่างกลุ่มผู้บริโภคด้วยแบบสอบถามเรื่องกลิ่นของน้ำมันหอมระเหยในยางผสมสูตร พบว่า ผู้บริโภคมีความพึงพอใจในกลิ่นของยางผสมสูตรที่ใส่น้ำมันหอมระเหยมากกว่าน้ำมันจากกระบวนการปิโตรเลียม โดยเรียงลำดับความพึงพอใจจากมากไปน้อย คือ น้ำมันมะกรูด น้ำมันส้ม น้ำมันมะนาว และน้ำมันแนฟทานิก นอกจากนี้กลุ่มผู้บริโภคยังสนับสนุนให้ใช้ในอุตสาหกรรมถึง 90 %

ข้อเสนอแนะ

1. ควรจะนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้งานจริง และทำการทดสอบเหมือนที่ทำได้ในงานวิจัยนี้ทั้งหมด รวมถึงผลทางสถิติด้วย
2. ศึกษาผลของเวลาที่มีผลต่อสมบัติต่างๆ ของยางผสมสูตร โดยเฉพาะกลิ่นของยาง
3. ควรนำน้ำมันที่สกัดจากพืชชนิดอื่นมาทำการศึกษา เช่นเดียวกับงานวิจัยนี้ โดยเฉพาะพืชผลทางการเกษตรของไทย เช่น น้ำมันจากเมล็ดยางพารา ซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับสินค้าเกษตร

เอกสารอ้างอิง

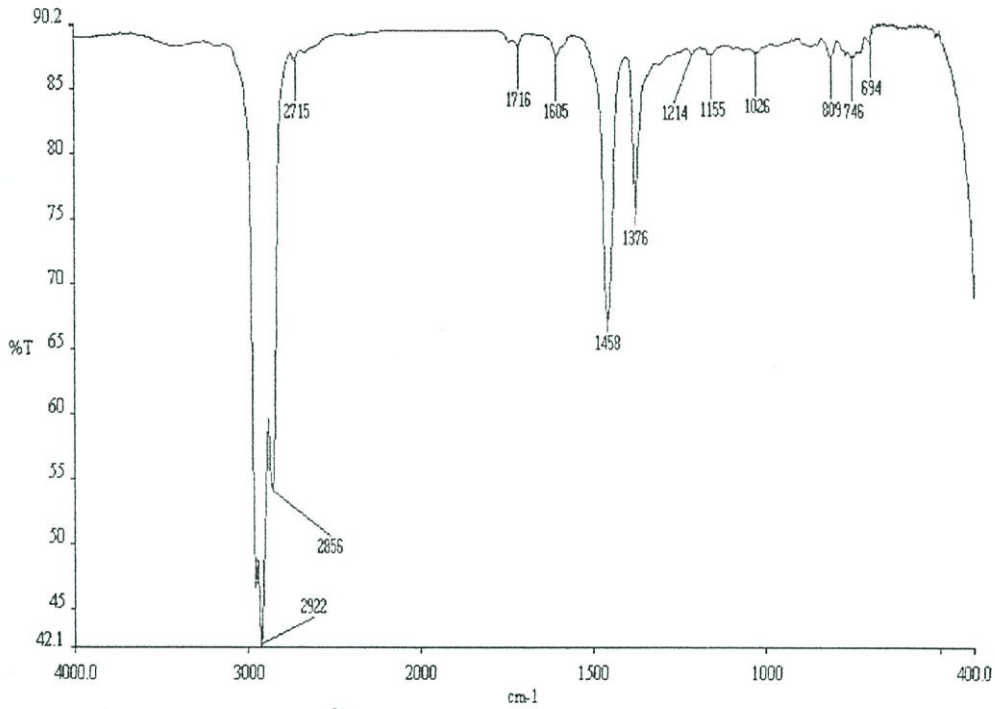
- [1] สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2545. **สถิติยางแห่งประเทศไทย**. ปีที่ 31. ฉบับที่ 3 : หน้า 5
- [2] อธิพิณ แจ่มชัด. 2545. **เทคโนโลยีการยาง**. กรุงเทพฯ : ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [3] วิเศษ อัครวิทยากุล. 2542. **การปลูग्มะนาว**. [online]. Available : <http://www.dalynew.co.th>
- [4] วิจิต สุวรรณปรีชา. 2530. **ยางพารา**. กรุงเทพฯ : อักษรบัณฑิต.
- [5] พรพรรณ นิธิอุทัย และ บุญธรรม นิธิอุทัย. 2528. **สารเคมีสำหรับยาง**. พิมพ์ครั้งที่ 1. บัดตานี้ : ภาควิชาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- [6] มาลินี ชัยศุกกิจสินธ์. 2543. **เคมีพอลิเมอร์**. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [7] กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. 2546. **อุตสาหกรรมน้ำมันหอมระเหย**. [online]. Available : <http://www.mog.co.th/searching>
- [8] แอล พี. เอ.โอเยน และ เอ็นกูเยน แยนดิง. 2542. **พืชให้น้ำมัน**. นนทบุรี : สหมิตรพรีนติ้ง.
- [9] กรมส่งเสริมการส่งออก. **มะนาว**. [online]. Available : <http://www.smethai.net/searching>
- [10] วิเศษ อัครวิทยากุล. **การปลูग्มะนาว**. กรุงเทพฯ : โครงการหนังสือเกษตรชุมชน.
- [11] Weiss, E.A. 1997. **Essential Oil Crop**. 1st ed. Wallingford : CAB International.
- [12] กรมวิชาการเกษตร. 2546. **ผลมะนาว**. [online]. Available : <http://www.isolotto.com/searching>
- [13] Florida Thailand. **Kaffir lime oil**. [online]. Available : <http://www.thaifloriade.thainet.net/searching>
- [14] Roger, B. 1999. **Handbook of Polymer Testing : Physical Methods**. New York : Marcel Dekker.
- [15] Grosberg, A. 1993. **Polymer Characteristic**. Berlin : Marcel Dekker.
- [16] Chris, R. 1986. **Polymer Extrusion**. Munich : Hanser.
- [17] ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ และชาคริต สิริสิงห. 2544. **พฤติกรรมกลไกของพอลิเมอร์ หลอมเหลวและการนำไปใช้**. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยมหิดล.
- [18] Menon A.R.R. et.al. 1997. " Vulcanization of Natural Rubber Modified with Cashaw Nut Shell Liquid and Its Phosphorylated Derivative- a

- Comparative Study." *Polymer*. Vol. 39 : 4033-4036
- [19] Menon, A.R.R. 1997. "Stress-Relaxation Characteristics of Natural Rubber Modified with Phosphorylated Cashew Nut Shell Liquid Prepolymer." *Journal of Applied Polymer Science*. Vol. 65 : 2183-2189
- [20] Menon A.R.R. et.al. 1999. "Cure Characteristics and Physicomechanical Properties of Natural Rubber Modified with Phosphorylated Cashew Nut Shell Liquid Prepolymer-A Comparison with Aromatic Oil." *Journal of Applied Polymer Science*. Vol. 73 : 813-818
- [21] Nandan V. et.al. 1999. "Rubber Seed Oil: A Multipurpose Additive in NR and SBR Compounds." *Journal of Applied Polymer Science*. Vol. 72 : 487-492
- [22] Aigbodion A.I. et.al. 2000. "Processability Characteristics and Physico-mechanical Properties of Natural Rubber Modified with Rubber Seed Oil and Epoxidized Rubber Seed Oil." *Journal of Applied Polymer Science*. Vol. 77. 1413-1418
- [23] Kundu P.P. 2000. "Improvement of Filler-Rubber Interaction by the Coupling Action of Vegetable Oil in Carbon Black Reinforced Rubber." *Journal of Applied Polymer Science*. Vol. 75 : 735-739
- [24] Kundu P.P. and Kukreja T.R. 2002. "Surface Modification of Carbon Black by Vegetable Oil-Its Effect on the Rheometric, Hardness, Abrasion, Rebound Resilience, Tensile, Tear, and Adhesion Properties." *Journal of Applied Polymer Science*. Vol.84 : 256-260
- [25] นิพนธ์ วงศ์พิเศษสิริกุล. 2541 ปฏิบัติการเคมีอุตสาหกรรม 2. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [26] ASTM D 412. 1992. "Standard Test Method for Rubber Property. : Tensile." *The American Society for Testing and Materials*.
- [27] ASTM D 2240. 1992. "Standard Test Method for Rubber Property. : Durometer." *The American Society for Testing and Materials*.
- [28] ASTM D 1646. 1992. "Standard Test Method for Rubber Property. : Rubber Viscosity and Vulcanization Characteristics Mooney Viscometer." *The American Society for Testing and Materials*.

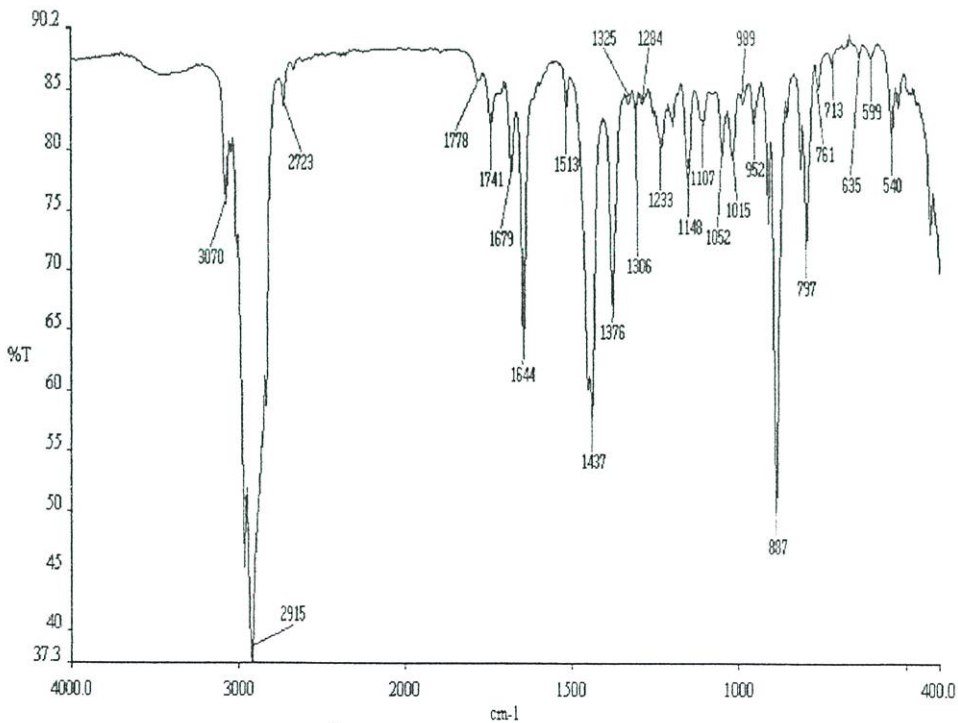
- [29] ASTM D 2084. 1992. "Standard Test Method for Rubber Property. : Vulcanization Characteristics Using Oscillating Disk Cure Meter." The American Society for Testing and Materials.
- [30] มอก.44-2516. 2524. "มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำมันรำสำหรับบริโภค" .
กรุงเทพฯ : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 2
- [31] Sirisinha C. and Sittichokchuchai W. 2000. "Influence of Some Additives on State-of-Mix, Rheological, Tensile, and Dynamic Mechanical Properties in SBR Compounds ." *Journal of Applied Polymer Science* . Vol. 80 : 2474-2482
- [32] บุญธรรม นิธิอุทัย และ ปรีชา ป้องภัย. 2530. *คู่มือปฏิบัติการเทคโนโลยียาง*. ปัตตานี : ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ภาคผนวก

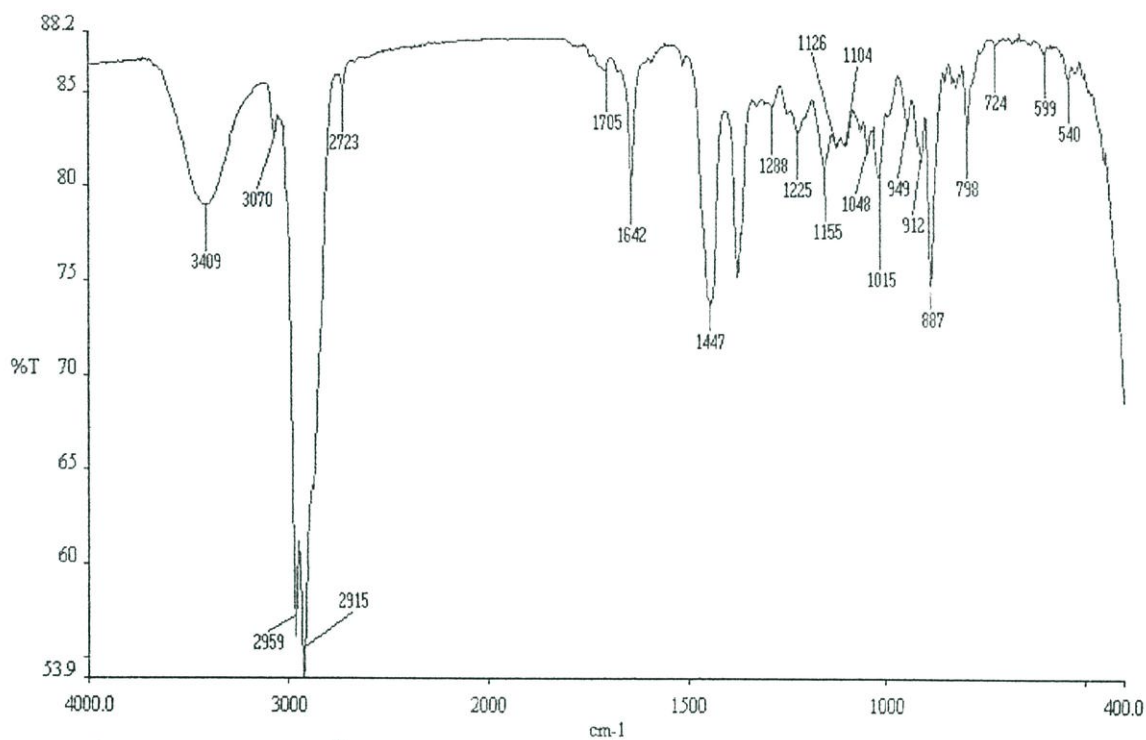
ภาคผนวก ก
การศึกษาองค์ประกอบในน้ำมัน



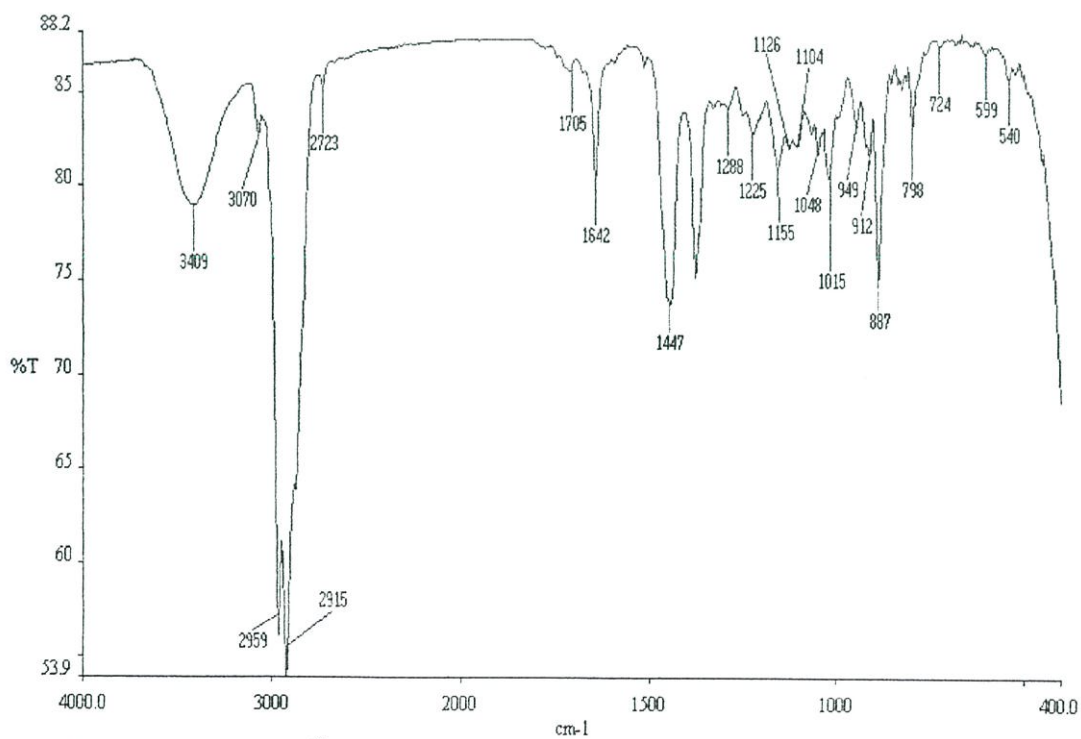
รูปที่ ก.1 สเปกตรัมของน้ำมันแอฟทานิกวิเคราะห์โดย Infrared Spectrophotometer



รูปที่ ก.2 สเปกตรัมของน้ำมันมะนาววิเคราะห์โดย Infrared Spectrophotometer

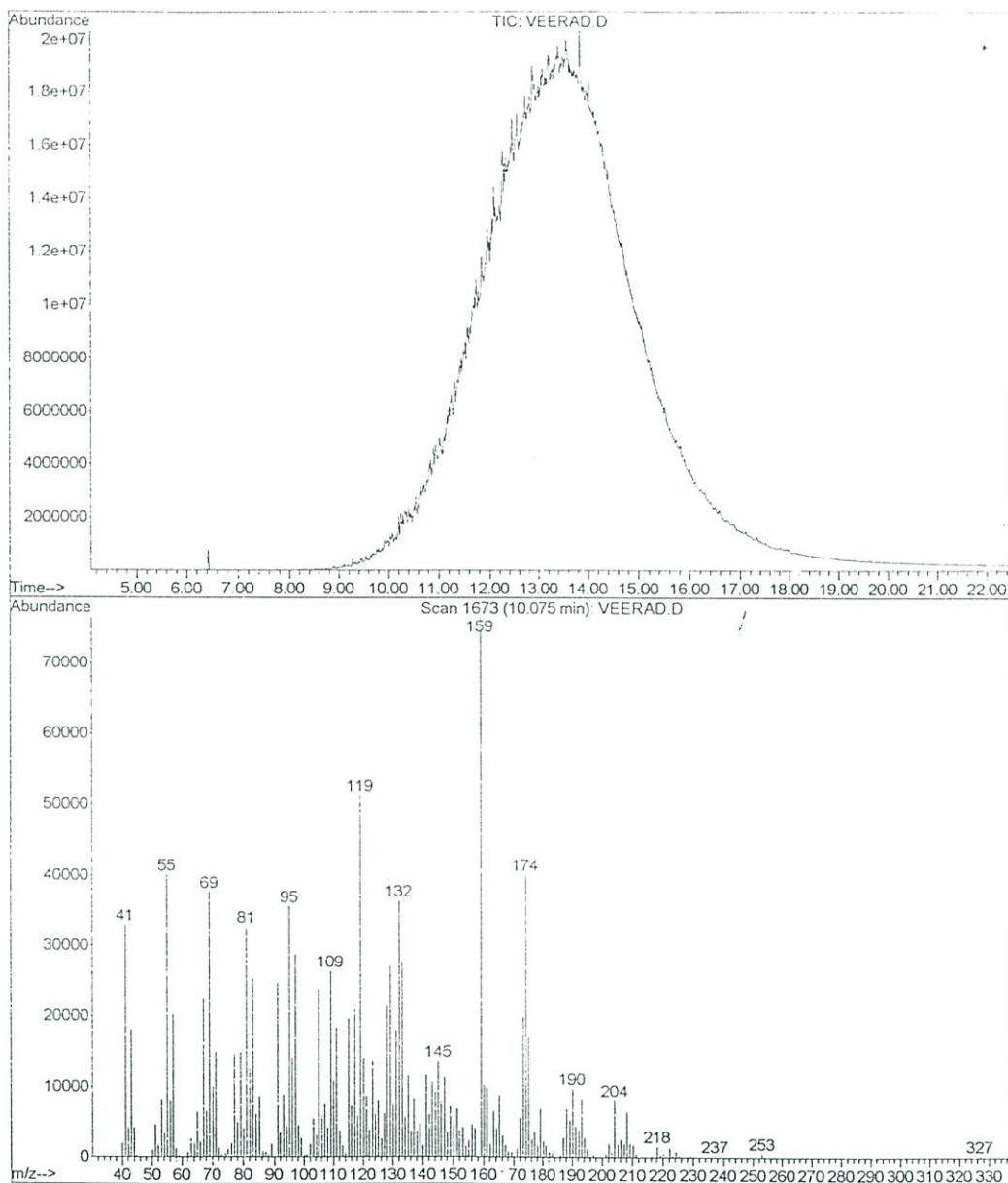


รูปที่ ก.3 สเปกตรัมของน้ำมันส้มวิเคราะห์โดย Infrared Spectrophotometer



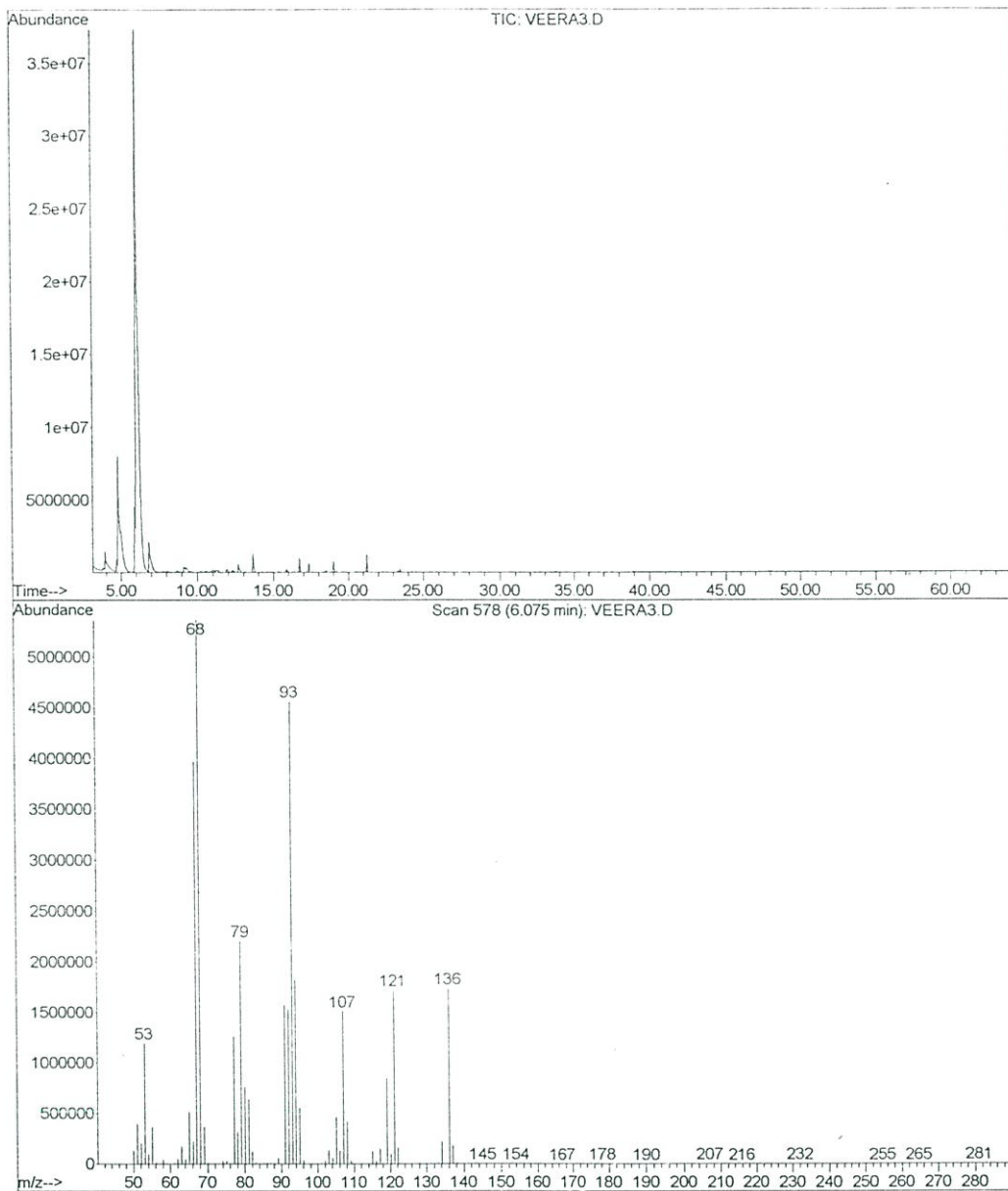
รูปที่ ก.4 สเปกตรัมของน้ำมันมะกอกวิเคราะห์โดย Infrared Spectrophotometer

le : C:\MSDCHEM\1\DATA\VEERA\SNAPSHOT\VEERAD.D
 erator : Arunchai
 quired : 17 Jan 2003 23:59 using AcqMethod PANA
 strument : Instrumen
 mple Name: Napthanic
 sc Info :
 al Number: 4



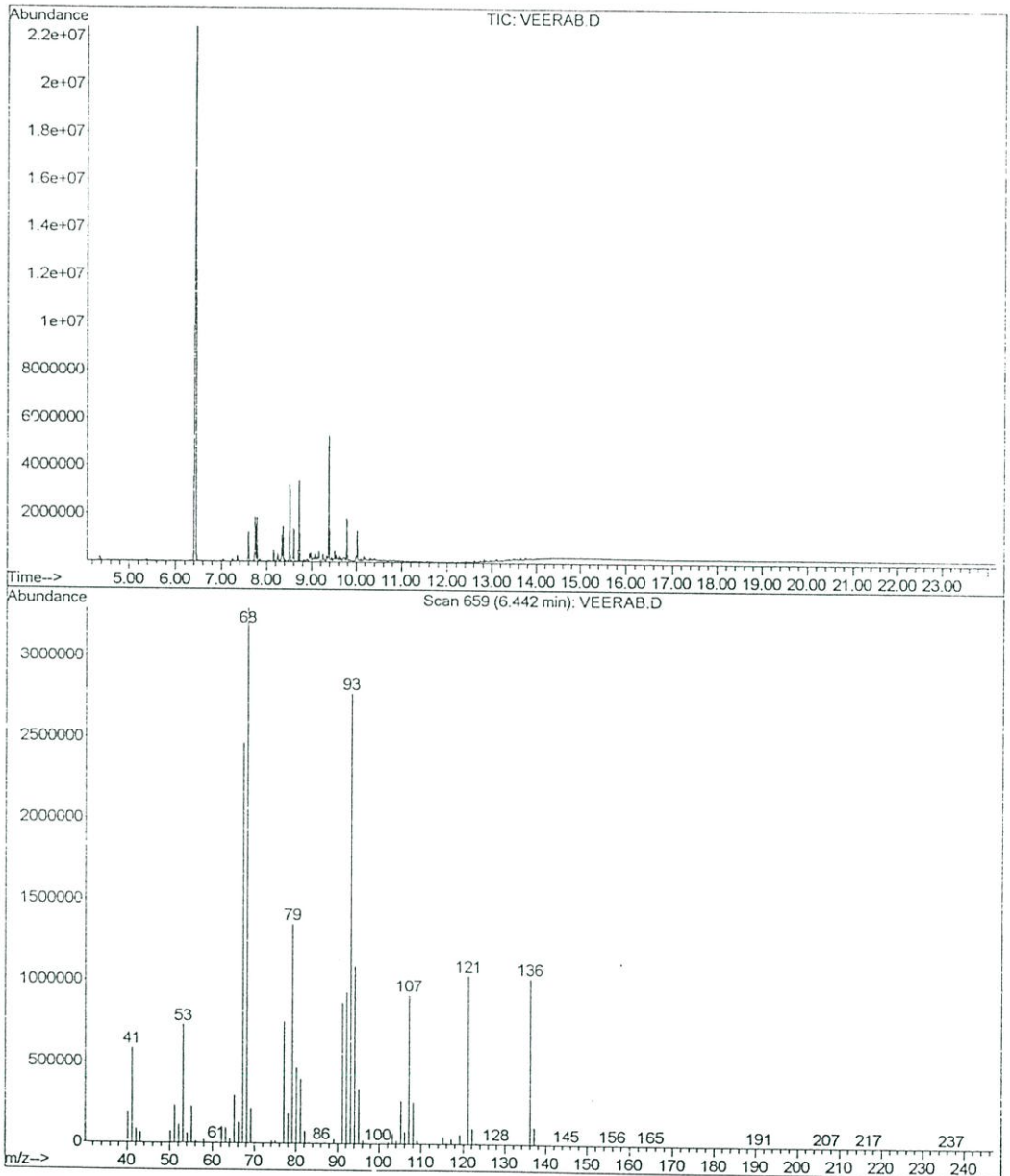
รูปที่ ก.5 สเปกตรัมของน้ำมันแนฟทานิกวิเคราะห์โดย GC-MS

File : C:\MSDCHEM\1\DATA\VEERA\VEERA3.D
Operator : Arunchai
Acquired : 14 Jan 2003 23:06 using AcqMethod VEERA
Instrument : Instrumen
Sample Name: Lemon Oil
Misc Info :
Vial Number: 3



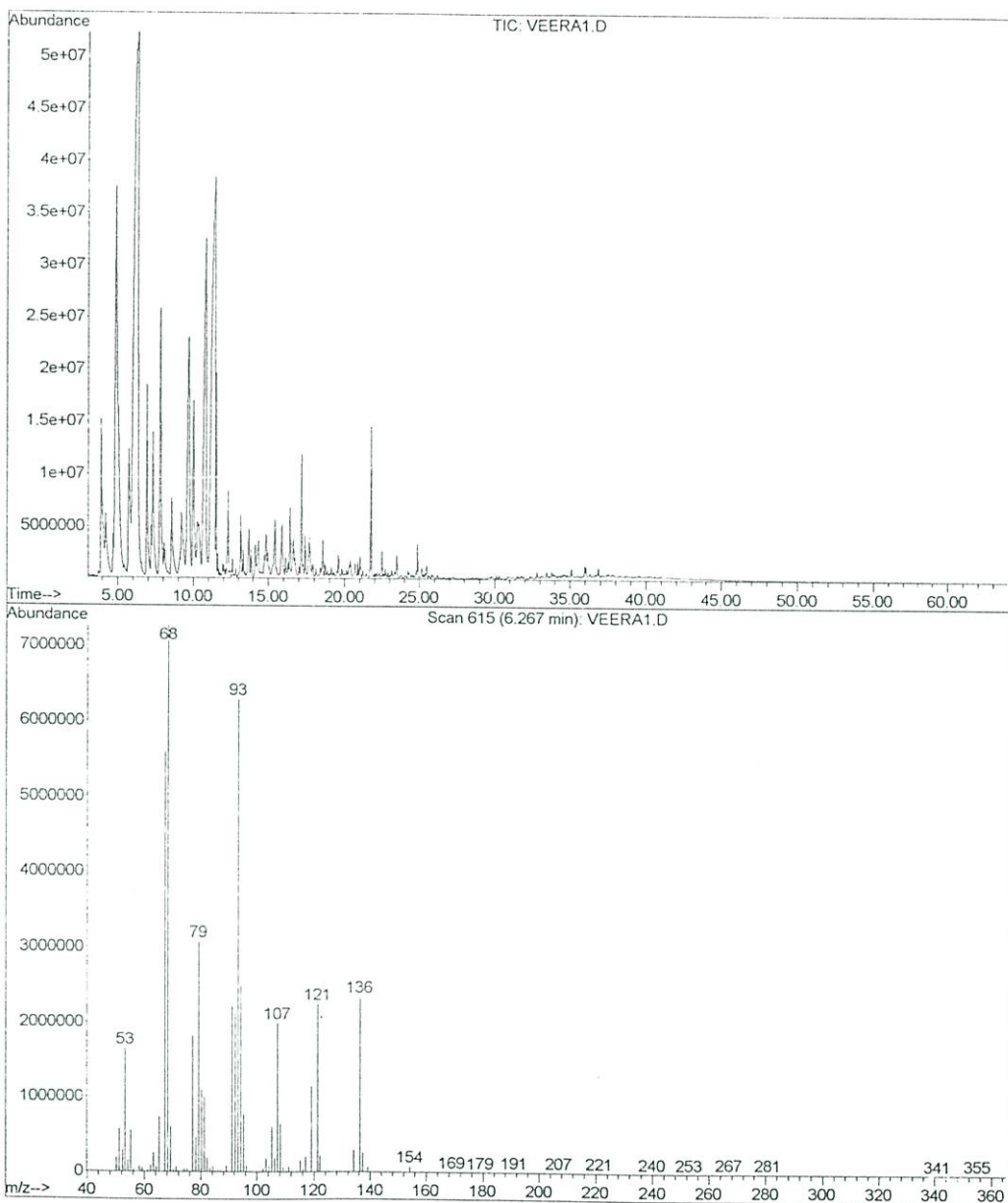
รูปที่ ก.6 สเปกตรัมของน้ำมันมะนาววิเคราะห์โดย GC-MS

File : C:\MSDCHEM\1\DATA\VEERA\VEERAB.D
Operator : Arunchai
Acquired : 17 Jan 2003 22:57 using AcqMethod PANA
Instrument : Instrumen
Sample Name: Orange Oil
Misc Info :
Vial Number: 2



รูปที่ ก.7 สเปกตรัมของน้ำมันส้มวิเคราะห์โดย GC-MS

File : C:\MSDCHEM\1\DATA\VEERA\VEERA1.D
 Operator : Arunchai
 Acquired : 14 Jan 2003 2:24 using AcqMethod VEERA
 Instrument : Instrumen
 Sample Name: Kaffir lime Oil
 Misc Info :
 Vial Number: 1



รูปที่ ก.8 สเปกตรัมของน้ำมันมะกรูดวิเคราะห์โดย GC-MS

ภาคผนวก ข
การศึกษากลิ่นของยางผสมสูตรที่ใส่น้ำมันหอมระเหย

ตาราง ข.1 ผลของความแรงของชั้นงานที่ 1 2 3 และ 4 โดยสุ่มถามจากคนจำนวน 100 คน

ชั้นที่	น้ำมัน	ความแรงของกลิ่น (%)				
		มาก	ปานกลาง	เฉยๆ	น้อย	น้อยมาก
1	แนฟทานิก	8	17	1	9	65
2	มะนาว	11	14	9	57	9
3	ส้ม	11	15	10	61	3
4	มะกรูด	13	13	9	62	3

ตาราง ข.2 ผลของความชอบชั้นงานที่ 1 2 3 และ 4 โดยสุ่มถามจากคนจำนวน 100 คน

ชั้นที่	น้ำมัน	ความชอบ (%)					
		ไม่มี ความ เห็น	มาก	ปาน กลาง	เฉยๆ	น้อย	น้อยมาก
1	แนฟทานิก	2	1	10	27	37	23
2	มะนาว	2	6	26	42	19	5
3	ส้ม	2	23	31	27	13	4
4	มะกรูด	2	53	23	12	5	5

ตาราง ข.3 ผลของความหอมของชั้นงานที่ 5 6 7 และ 8 โดยสุ่มถามจากคนจำนวน 100 คน

ชั้นที่	ปริมาณ น้ำมัน มะกรูด (phr)	ความหอมของกลิ่น (%)				
		มาก	ปานกลาง	เฉยๆ	น้อย	น้อยมาก
5	1	6	13	23	36	22
6	3	4	27	23	35	11
7	10	68	25	3	3	1
8	20	72	13	6	5	4

ตาราง ข.4 ผลของความต้อการให้ใช้ในอุตสาหกรรมโดยสุ่มถามจากคนจำนวน 100 คน

น้ำมัน	% ไม่ความต้อการให้ใช้ในอุตสาหกรรม	% ความต้อการให้ใช้ในอุตสาหกรรม
แนฟทานิก	97	3
มะนาว	88	12
ส้ม	82	18
มะกรูด	22	78

ประวัติผู้เขียน

นางสาววีรณัฐ สระแก้ว เกิดเมื่อวันที่ 22 พฤษภาคม 2521 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีการศึกษา 2542 และได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท ที่คณะวิทยาศาสตร์ สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปี 2543