

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

**การพัฒนาสารเติมแต่งไฮบริดสำหรับป้องกันการเสื่อมสภาพยาง
จากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์และปิโตรเลียมแว็กซ์**

**DEVELOPMENT OF HYBRID ADDITIVES FOR RUBBER
ANTIOXIDATION FROM CASHEW NUT SHELL LIQUID (CNSL)
AND PETROLEUM WAXES**



ศกขพญ.....
เลขทะเบียน... 116790
รับ, เดือน, ปี... 15 ส.ย. 2554



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
KMITL 2010-EN-M-220-029
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**DEVELOPMENT OF HYBRID ADDITIVES FOR RUBBER
ANTIOXIDATION FROM CASHEW NUT SHELL LIQUID (CNSL)
AND PETROLEUM WAXES**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้เฉพาะเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
KMUTL 2010-EN-M-220-029
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2010

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาสารเติมแต่งไฮบริดสำหรับป้องกันการเสื่อมสภาพยาง จากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์และปิโตรเลียมเว็กซ์
นักศึกษา	นายเศรษฐการ พรหมศิริ
รหัสนักศึกษา	50061154
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
พ.ศ.	2553
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ. ดร. สุรัตน์ อารีรัตน์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการพัฒนาสารเติมแต่งไฮบริด (hybrid additives, HA) จากน้ำมันจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (cashew nut shell liquid, CNSL) สำหรับการใช้เป็นสารป้องกันการเสื่อมสภาพ (antioxidant) ในยางธรรมชาติ (natural rubber, NR) และในขณะเดียวกัน สารเติมแต่งไฮบริดยังสามารถทำหน้าที่เป็นสารช่วยผสม (compatibilizer) ได้อีกด้วย โดยทำการศึกษาในยางผสมระหว่างยาง NR และยางเอธิลีนโพรพิลีนไดอีนโมโนเมอร์ (ethylene propylene diene monomer, EPDM) ที่สัดส่วน 75:25 โดยน้ำหนัก สารเติมแต่ง HA เป็นของแข็งที่ผสมกันระหว่างแว็กซ์ (wax) กับคาร์ดานอล (cardanol) ซึ่งมีอยู่ในน้ำมัน CNSL ในการเตรียมสารเติมแต่ง HA ทำได้โดยการตกผลึกร่วม (co-precipitation) ระหว่างแว็กซ์กับคาร์ดานอล ซึ่งน้ำมัน CNSL ที่ใช้เตรียมสารเติมแต่ง HA เป็นน้ำมัน CNSL ที่ผ่านการปรับสภาพ (treated CNSL) ด้วยปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน (decarboxylation) และน้ำมัน CNSL ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ (crude CNSL) โดยนำน้ำมัน CNSL กับแว็กซ์ที่กำหนดสัดส่วนคงที่ที่ร้อยละ 27 โดยน้ำหนักของแว็กซ์ มาผสมกันที่อุณหภูมิ 90 °C แล้วจึงทำการตกผลึกร่วมที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 30 °C) ได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารเติมแต่ง HA จากน้ำมัน CNSL ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ (HA-C) และจากน้ำมัน CNSL ที่ผ่านการปรับสภาพ (HA-T) จากนั้นนำสารเติมแต่ง HA ทั้งสองเกรด (HA-C และ HA-T) มาผสมในยางเพื่อศึกษาและเปรียบเทียบความสามารถในการป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากโอโซน (ozone resistance) และความร้อน (thermal ageing resistance) กับ Wingstay-L® และคาร์ดานอลสังเคราะห์ในปริมาณ 0.6 phr โดยในการศึกษาจะทำการปรับเปลี่ยนปริมาณของสารเติมแต่ง HA ในปริมาณเท่ากับ 0 ถึง 10.0 ส่วนในร้อยส่วนยาง (phr)

จากการศึกษาผลเวลาสำหรับการปรับสภาพน้ำมัน CNSL ด้วยปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันที่อุณหภูมิ 160 °C พบว่าการปรับสภาพน้ำมัน CNSL เป็นระยะเวลา 30 นาที สามารถปรับเพิ่มเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณของคาร์บอนอลีนน้ำมัน CNSL จากที่มีประมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ช่วยเพิ่มได้เป็น ร้อยละ 82 โดยน้ำหนัก

จากการศึกษาและเปรียบเทียบผลของสารเติมแต่ง HA ต่อความสามารถในการป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากโอโซนและความร้อนของตัวอย่างยาง NR พบว่าตัวอย่างยาง NR ที่ผสม สารเติมแต่ง HA-T ในปริมาณเท่ากับ 2.0 phr ส่งผลให้ตัวอย่างยาง NR มีความสามารถในการป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากโอโซนและความร้อนได้ดีขึ้น ในส่วนของการศึกษาผลของการทำหน้าที่เป็นสารช่วยผสมในยางผสม พบว่าการผสมสารเติมแต่ง HA-T ในปริมาณเท่ากับ 5.0 และ 10.0 phr ทำให้ยางผสมมีการผสมเข้ากันได้ดี (compatible) และมีการยึดเกาะระหว่างเฟส (phases) ของยาง NR และยาง EPDM ที่ดีขึ้น โดยส่งผลให้ยางผสมมีความสามารถในการป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากโอโซนและความร้อนได้ดีขึ้น



Thesis Title	Development of Hybrid Additives for Rubber Antioxidation from Cashew Nut Shell Liquid (CNSL) and Petroleum Waxes
Student	Mr. Settakhan Promsiri
Student ID.	50061154
Degree	Master of Engineering
Program	Chemical Engineering
Year	2010
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Surat Areerat

ABSTRACT

This research aims to the develop hybrid additives (HA) from cashew nut shell liquid (CNSL), it can be used as an antioxidant agent in natural rubber (NR). Moreover, it can be functioned as a compatibilizer for rubber blends between NR and ethylene propylene diene monomer (EPDM). The blending ratio of NR/EPDM in this research was 75:25 by wt. HA additive was prepared in solid form by blending between wax and cardanol. After hot melt mixing at constant temperature 90 °C, and given wax composition about 27% by wt. wax/cardanol blends were cooled at room temperature (about 30 °C) then co-precipitation process of wax/CNSL was taken place. There were two grades of HA additive in which HA-C grade was prepared from crude CNSL and HA-T grade was prepared from treated CNSL. The treatment of CNSL by decarboxylation could enrich the amount of cardanol. HA additives were studied and compared the efficiency of being antioxidance in terms of ozone and thermal aging resistance performance with Wingstay-L[®] and synthesized cardanol of 0.6 phr. The amount of HA additives were varied from ranging of 0 to 10.0 phr.

From investigating of the effect of reaction time on cardanol content in CNSL at 160 °C in a range of 0 to 60 min, it was found that the reaction time of 30 min the cardanol content in CNSL increased from 10% by wt. to 82% by wt.

From the experimental results, the effect of HA additive content on ozone and thermal aging resistance, it was found that the addition of HA-T additive of 2.0 phr could improve greater ozone and thermal aging resistance of the rubber compound. The results of the effect of HA additives on the compatibility in a 75/25 NR/EPDM blend found that the addition of HA-T additives of 5.0 and 10.0 phr as a compatibilizer in a blend improved the compatible and good interfacial adhesion between the two phases resulted in greater ozone and thermal aging resistance.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาจาก ผศ.ดร.สุรัตน์ อารีรัตน์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ข้าพเจ้ารู้สึกทราบบ้างในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบพระคุณคณะกรรมการที่ตรวจทานวิทยานิพนธ์และคณาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุก ๆ ท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ฝ่ายอุตสาหกรรม สัญญาโครงการ เลขที่ RDG 5050100 ที่สนับสนุนทุนวิจัย และสถาบันวิจัย양ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการทดสอบตัวอย่าง

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในสาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกคนที่ช่วยหาข้อมูลเชิงเศรษฐศาสตร์ การลงทุนสร้างโรงงานผลิตสารเติมแต่งไฮบริด

ขอขอบคุณบัณฑิตศึกษาและบัณฑิตวิทยาลัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่างๆ

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ อ. พรทิพา อ่อนน้อม บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกเรื่องๆ ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

เศรษฐการ พรหมศิริ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	IV
สารบัญ.....	V
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญรูป.....	X
สัญลักษณ์.....	XIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.4 ขั้นตอนของงานวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ยาง.....	4
2.1.1 ยางธรรมชาติ.....	4
2.1.2 ยางสังเคราะห์.....	4
2.2 สารเติมแต่งสำหรับยาง.....	5
2.2.1 สารทำให้ยางคงรูป.....	5
2.2.2 สารตัวเติม.....	5
2.2.3 สารช่วยในกระบวนการผลิต.....	5
2.2.4 สารตัวเร่งปฏิกิริยา.....	6
2.2.5 สารกระตุ้นหรือสารเสริมตัวเร่ง.....	6
2.2.6 สารป้องกันยางเสื่อมสภาพ.....	6
2.3 น้ำมันจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์.....	13
2.4 กระบวนการตกผลึกร่วมระหว่างเว็กซ์กับคาร์ดานอล.....	16
2.5 กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ยาง.....	21
2.5.1 การออกสูตรเคมียาง.....	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.2 การผสมยาง.....	21
2.5.3 การขึ้นรูปยาง.....	23
2.5.4 การคงรูปยาง.....	24
2.6 สมบัติและการทดสอบสมบัติของผลิตภัณฑ์ยาง.....	25
2.6.1 ความแข็ง.....	25
2.6.2 สมบัติแรงดึง.....	25
2.6.3 ความต้านทานการฉีกขาด.....	25
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	26
บทที่ 3 วิธีการทดลอง.....	30
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	30
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	30
3.3 วิธีการทดลอง.....	31
3.3.1 การวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนอลในน้ำมัน CNSL ด้วยเทคนิค GC-MS.....	31
3.3.2 การศึกษาการตกผลึกของแว็กซ์กับคาร์บอนอลในน้ำมัน CNSL.....	32
3.3.3 การสังเกตอุณหภูมิการหลอมเหลวของของผสมระหว่างแว็กซ์กับน้ำมัน CNSL ในหลอดแคปิลลารี (capillary tube).....	32
3.3.4 การวิเคราะห์สมบัติเชิงความร้อน.....	33
3.3.5 การเตรียมยางสูตร NR.....	34
3.3.6 การเตรียมยางสูตร NR/EPDM.....	34
3.3.7 การขึ้นรูปยาง.....	35
3.3.8 การทดสอบสมบัติความต้านทานต่อโอโซน.....	35
3.3.9 การทดสอบสมบัติความต้านทานต่อการบ่มเร่งด้วยความร้อน.....	36
3.3.10 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของยางผสมระหว่าง NR และ EPDM.....	36
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล.....	37
4.1 ผลของเวลาสำหรับการปรับสภาพน้ำมัน CNSL ต่อปริมาณของคาร์บอนอลที่ได้.....	37
4.2 ผลการศึกษาพฤติกรรมการตกผลึกร่วมของแว็กซ์กับน้ำมัน CNSL.....	39
4.2.1 ผลการสังเกตการตกผลึกร่วมแว็กซ์กับน้ำมัน CNSL.....	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2.2 ผลการวิเคราะห์สมบัติเชิงความร้อนของแวกซ์กับน้ำมัน CNSL ปรับสภาพ.....	40
4.2.3 ผลการศึกษาพฤติกรรมการตกผลึกร่วมของแวกซ์กับน้ำมัน CNSL ปรับสภาพที่อุณหภูมิต่างๆ.....	40
4.2.4 ผลการศึกษาค่าคงที่สมดุลของแข็ง-ของเหลวของคาร์คานอล ในแวกซ์ผสมน้ำมัน CNSL.....	42
4.3 ผลของสารเติมแต่งไฮบริดต่อระยะเวลาการคงรูปของยางธรรมชาติ.....	42
4.4 ผลของสารเติมแต่งไฮบริดต่อความสามารถในการป้องกัน การเสื่อมสภาพของยาง NR.....	43
4.4.1 ผลของความต้านทานต่อโอโซน.....	43
4.4.2 ผลของความต้านทานต่อการบ่มเร่งด้วยความร้อน.....	48
4.5 ผลของสารเติมแต่งไฮบริดต่อความสามารถในการช่วยผสม ยาง NR กับยาง EPDM.....	51
4.5.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของตัวอย่างยาง NR/EPDM.....	51
4.5.2 ผลการทดสอบความต้านทานต่อโอโซน.....	52
4.5.3 ผลสมบัติเชิงกลของตัวอย่างยาง NR/EPDM ที่ผ่านการบ่มเร่งด้วยความร้อน.....	54
บทที่ 5 ผลการคำนวณเชิงเศรษฐศาสตร์การผลิตสารเติมแต่งไฮบริด.....	59
5.1 ผลการคำนวณต้นทุนการผลิตสารเติมแต่งไฮบริด.....	59
5.2 การประเมินความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์การสร้างโรงงานผลิต สารเติมแต่งไฮบริด.....	60
บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง.....	66
6.1 ผลของเวลาสำหรับการปรับสภาพน้ำมัน CNSL ต่อ ปริมาณของคาร์คานอลที่ได้.....	66
6.2 ผลการศึกษาพฤติกรรมการตกผลึกร่วมของแวกซ์กับน้ำมัน CNSL.....	66
6.3 ผลของสารเติมแต่งไฮบริดต่อความสามารถในการป้องกัน การเสื่อมสภาพของยาง NR.....	66
6.4 ผลของสารเติมแต่งไฮบริดต่อการช่วยผสมยาง NR กับยาง EPDM.....	66
6.5 ผลการคำนวณเชิงเศรษฐศาสตร์การผลิตสารเติมแต่งไฮบริด.....	67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ขึ้นต้นการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บรรณานุกรม.....	68
ภาคผนวก.....	71
ภาคผนวก ก. ผลการประมาณปริมาณคาร์บอนด้วยเทคนิค GC-MS และ GC-FID.....	72
ภาคผนวก ข. ผลการวิเคราะห์สมบัติเชิงความร้อนด้วยเครื่อง DSC และ การสังเกตอุณหภูมิการตกผลึกในหลอดแคปปีลารีด้วยกล้องดิจิตอล.....	82
ภาคผนวก ค. ผลการคำนวณค่า K_i^{SL} จากการทดลองและ แบบจำลองอุณหพลศาสตร์.....	84
ภาคผนวก ง. ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของยาง NR และยาง NR/EPDM.....	87
ภาคผนวก จ. ผลการคำนวณเชิงเศรษฐศาสตร์การลงทุนผลิตสารเติมแต่ง HA.....	90
ประวัติผู้เขียน.....	96

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สมบัติเด่นและสมบัติค้อยของยางชนิดต่างๆ.....	10
3.1 ภาวะการวิเคราะห์ตัวอย่างแก้วซ์กับน้ำมัน CNSL ด้วยอัตรา 2 °C ต่อนาที.....	33
3.2 สูตรการผสมยางธรรมชาติกับสารเติมแต่ง.....	34
3.3 สูตรการผสมยาง NR/EPDM กับสารเติมแต่ง.....	35
3.4 เกรดของความต้านทานต่อโอโซน.....	36
4.1 ลักษณะทางกายภาพของผสมที่อุณหภูมิต่างๆ.....	39
4.2 ระดับความต้านทานต่อโอโซนของตัวอย่างยาง NR.....	45
4.3 สมบัติของสารป้องกันการเสื่อมสภาพ.....	46
4.4 ระดับความต้านทานต่อโอโซนของตัวอย่างยาง NR/EPDM.....	55
5.1 การคำนวณต้นทุนการผลิตสารเติมแต่ง HA ในปริมาณ 1 กิโลกรัมของ HA.....	59
5.2 รายละเอียดของอุปกรณ์และเครื่องจักร.....	60
ก.1 พื้นที่ฟีดของสารมาตรฐานคาร์บอนอลที่ความเข้มข้น 0.01- 1 มก./ชม. ³	76
ก.2 พื้นที่ฟีดของตัวอย่างน้ำมัน CNSL ไม่ปรับสภาพและปรับสภาพ 30 และ 60 นาที.....	77
ก.3 พื้นที่ฟีดของสารมาตรฐานคาร์บอนอลที่ความเข้มข้น 0.1- 2 มก./ชม. ³	79
ก.4 พื้นที่ฟีดของตัวอย่างร้อยละ 27 33 และ 83 โดยน้ำหนักแก้วซ์.....	80
ข.1 อุณหภูมิการหลอมเหลวของของผสม.....	83
ข.1 สมบัติเชิงความร้อนของตัวอย่างแก้วซ์/น้ำมัน CNSL ปรับสภาพ.....	83
ค.1 ผลการคำนวณค่า K_{car}^{SL}	85
ค.2 สมบัติของสารที่ใช้คำนวณค่า K_{SL}	86
ง.1 สมบัติเชิงกลของตัวอย่างยาง NR ก่อนการอบเร่งด้วยความร้อน.....	88
ง.2 สมบัติเชิงกลของตัวอย่างยาง NR หลังการอบเร่งด้วยความร้อน.....	88
ง.3 สมบัติเชิงกลของตัวอย่างยาง NR/EPDM ก่อนการอบเร่งด้วยความร้อน.....	89
ง.4 สมบัติเชิงกลของตัวอย่างยาง NR/EPDM หลังการอบเร่งด้วยความร้อน.....	89
จ.1 รายละเอียดของอุปกรณ์และเครื่องจักร.....	91
จ.2 การประมาณราคาค่าการก่อสร้างโครงการ.....	91
จ.3 รายละเอียดของกระแสเงินในแต่ละปี.....	92
จ.4 การคำนวณค่าใช้จ่ายในการดำเนินกระบวนการผลิตรายปี.....	93

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 กลไกการเกิดปฏิกิริยาระหว่างยางกับออกซิเจน.....	6
2.2 กลไกการเสื่อมสภาพของยางเนื่องจากโอโซน.....	7
2.3 กลไกการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาลูกลูโซ่.....	8
2.4 ภาพตัดขวางความหนาของชั้นแว็กซ์ (ภาพถ่ายที่กำลังขยาย X 2000 เท่า).....	9
2.5 แสดงลักษณะของโครงสร้างจุลภาคของยางผสม.....	12
2.6 กลไกการช่วยผสมของบล็อกหรือกราฟต์โคพอลิเมอร์.....	13
2.7 สูตรโครงสร้างของสารประกอบในน้ำมัน CNSL.....	14
2.8 ปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันของกรดอนาคาร์ดิก.....	14
2.9 กลไกการป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากออกซิเดชันของคาร์ดานอล.....	15
2.10 กลไกการช่วยผสมยางผสมของคาร์ดานอล.....	15
2.11 การตกผลึกร่วมของแว็กซ์กับน้ำมัน CNSL.....	16
2.12 กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ยาง.....	21
2.13 ส่วนประกอบและลักษณะการทำงานของเครื่องผสมแบบ 2 ลูกกลิ้ง.....	22
2.14 ลำดับการผสมยาง.....	23
2.15 เครื่องกวดระบบไฮดรอลิก.....	24
2.16 เครื่อง oscillating disc rheometer.....	24
3.1 ชุดอุปกรณ์สำหรับการทำปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันที่อุณหภูมิ 160 °C.....	31
3.2 อุปกรณ์สำหรับสังเกตอุณหภูมิการหลอมเหลวของของผสมแว็กซ์กับน้ำมัน CNSL.....	33
3.3 แสดงลักษณะการเสื่อมสภาพของยาง.....	36
4.1 ผลของเวลาปรับสภาพน้ำมัน CNSL ต่อปริมาณของคาร์ดานอล.....	38
4.2 ร้อยละโดยน้ำหนักของคาร์ดานอลในน้ำมัน CNSL ปรับสภาพและไม่ปรับสภาพ.....	38
4.3 เทอร์โมแกรมการตกผลึกของแข็ง.....	40
4.4 อุณหภูมิตกผลึกของแว็กซ์ผสม.....	41
4.5 ผลของอุณหภูมิการตกผลึกต่อค่า K_{cur}^{SL}	42
4.6 ผลของสารเติมแต่ง HA ต่อระยะเวลาการคงรูปของยาง NR ที่อุณหภูมิ 150 °C ความดัน 80 กก.ต่อซม. ²	43

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.7 ภาพถ่ายรอยแตกของตัวอย่างยาง NR ที่ผสมสารเติมแต่ง HA จากน้ำมัน CNSL ไม่ปรับสภาพ (HA-C) และปรับสภาพ (HA-T) (ภาพถ่ายที่กำลังขยาย X 40 เท่า).....	44
4.8 การเปรียบเทียบความสามารถในการป้องกันการเสื่อมสภาพของตัวอย่างยาง NR ที่ผสม สารเติมแต่ง HA ในปริมาณ 1.0 และ 2.0 phr.....	47
4.9 ผลของปริมาณสารเติมแต่ง HA ต่อความต้านทานการฉีกขาด.....	49
4.10 ผลของปริมาณสารเติมแต่ง HA ต่อความแข็ง.....	49
4.11 ผลของปริมาณสารเติมแต่ง HA ต่อความต้านทานแรงดึง.....	50
4.12 ผลของปริมาณสารเติมแต่ง HA ต่อระยะการยืดที่จุดขาด.....	51
4.13 โครงสร้างจุลภาคของยางผสมระหว่างยาง NR (เฟลสซีเททา) กับยาง EPDM (เฟลสซีชิวา) ที่สัดส่วนการผสม 75:25 เมื่อผสมสารเติมแต่ง HA ในปริมาณต่าง ๆ (ภาพถ่ายที่ กำลังขยาย X 5000 เท่า).....	53
4.14 ภาพถ่ายรอยแตกของตัวอย่างยาง NR/EPDM ที่ผสมสารเติมแต่ง HA.....	54
4.15 ผลของปริมาณสารเติมแต่ง HA ต่อความต้านทานการฉีกขาด.....	56
4.16 ผลของปริมาณสารเติมแต่ง HA ต่อความแข็ง.....	57
4.17 ผลของปริมาณสารเติมแต่ง HA ต่อความต้านทานแรงดึง.....	58
4.18 ผลของปริมาณสารเติมแต่ง HA ต่อระยะการยืดที่จุดขาด.....	58
5.1 กระบวนการผลิตสารเติมแต่ง HA จากน้ำมัน CNSL.....	60
5.2 ผังกระแสเงินสดหลักในมุมมองของโครงการ.....	63
5.3 ผังกระแสเงินสดสุทธิในมุมมองของโครงการ.....	64
5.4 การประมาณหาจุดคุ้มทุนในการผลิตสารเติมแต่ง HA.....	65
ก.1 โครมาโทแกรมของสารมาตรฐานคาร์ดานอลที่ความเข้มข้น 0.01 มก./ชม. ³	73
ก.2 โครมาโทแกรมของสารมาตรฐานคาร์ดานอลที่ความเข้มข้น 0.1 มก./ชม. ³	73
ก.3 โครมาโทแกรมของสารมาตรฐานคาร์ดานอลที่ความเข้มข้น 0.3 มก./ชม. ³	74
ก.4 โครมาโทแกรมของสารมาตรฐานคาร์ดานอลที่ความเข้มข้น 0.5 มก./ชม. ³	74
ก.5 โครมาโทแกรมของสารมาตรฐานคาร์ดานอลที่ความเข้มข้น 0.7 มก./ชม. ³	74
ก.6 โครมาโทแกรมของสารมาตรฐานคาร์ดานอลที่ความเข้มข้น 1 มก./ชม. ³	75
ก.7 แมสสเปกตรัมของสารมาตรฐานคาร์ดานอล.....	75
ก.8 calibration curve ของสารมาตรฐานคาร์ดานอล (มก./ชม. ³).....	76
ก.9 โครมาโทแกรมของสารมาตรฐานคาร์ดานอลที่ความเข้มข้น 0.1 มก./ชม. ³	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก.10 calibration curve ของสารมาตรฐานคาร์คานอล	79
ก.11 โครมาโทแกรมของตัวอย่างร้อยละ 27 33 และ 83 โดยน้ำหนักแวกซ์	80
ข.1 การเปลี่ยนแปลงเฟสของของผสมแวกซ์กับน้ำมัน CNSL (กำลังขยาย x 16 เท่า)	83
ค.1 ขั้นตอนการคำนวณค่า K_1^{SL}	85



สัญลักษณ์

ตัวอักษรตัวใหญ่

- C = ค่าความจุความร้อน (แคลลอรี่/(กรัม•เคลวิน))
F = จำนวนโมลของของผสม
 ΔH^f = เอนทาลปีของการหลอมเหลว (แคลลอรี่/โมล)
 K^{sl} = ค่าคงที่สมดุลของแข็ง-ของเหลว
L = จำนวนโมลของผสมเฟสของเหลว
MW = น้ำหนักโมเลกุล (กรัม/โมล)
R = ค่าคงที่ของก๊าซ (แคลลอรี่/(โมล•เคลวิน))
S = จำนวนโมลของผสมเฟสของแข็ง
T = อุณหภูมิ, สัมบูรณ์
V = ปริมาตรเชิงโมล (ซม.³/โมล)

ตัวอักษรตัวเล็ก

- f = จำนวนโมล
 f = สัมประสิทธิ์ฟูกาซิติ
 \hat{f} = ฟูกาซิติ
 l = จำนวนโมล
 x = สัดส่วนโมล
 s = จำนวนโมล

ตัวอักษรกรีก

- δ = พารามิเตอร์การละลาย (แคลลอรี่/ซม.³)^{1/2}
 γ = สัมประสิทธิ์แอกติวิตี

ตัวห้อย

- i = องค์ประกอบของของผสม
 m = ของผสม

ตัวยก

O = สถานะมาตรฐาน

L = เฟสของเหลว

S = เฟสของแข็ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันโรงงานกะเทาะเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ มีการใช้เมล็ดมะม่วงหิมพานต์ เป็นวัตถุดิบจำนวนมาก จากข้อมูลของสำนักงานสถิติจังหวัดอุบลราชธานี[1] และสำนักงานเกษตรจังหวัดระนอง[2] ซึ่งทั้งจังหวัดอุบลราชธานีและระนองเป็นแหล่งปลูกมะม่วงหิมพานต์ที่สำคัญของประเทศไทย พบว่าทั้งสองจังหวัดมีปริมาณผลผลิตมะม่วงหิมพานต์ในปี 2548 ถึง 2550 รวมกันประมาณปีละ 6,771 2,285 และ 5,303 ตัน ตามลำดับ ทำให้มีปริมาณของเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์เป็นของเสียเหลือใช้มีจำนวนมากตามกำลังการผลิตที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดปัญหาต่อเกษตรกรและผู้ประกอบการในการกำจัด รวมทั้งยังส่งผลกระทบต่อภาวะแวดล้อมอีกด้วย โดยทั่วไปเปลือกของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์มีส่วนประกอบของกรดอนุคาร์บิก (anacardic acid) และคาร์ดอล (cardol) ที่เป็นแอลกอฮอล์กลุ่มของสารประกอบฟีนอลชนิดหนึ่งในปริมาณมากกว่าร้อยละ 90 [3,4,5] สารประกอบในน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (cashew nut shell liquid, CNSL) เหล่านี้ เมื่อนำมาผสมหรือทำปฏิกิริยากับสารเคมีอื่นๆ จะได้สารใหม่ที่มีประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมมากมายหลายชนิด น้ำมัน CNSL จึงนับว่าเป็นสารชนิดหนึ่งที่ทรงคุณค่าต่ออุตสาหกรรมอย่างกว้างขวางมาก [6] ประโยชน์ที่สำคัญของน้ำมัน CNSL ได้แก่ การผลิตเป็นเรซิน แล็กเกอร์ ส่วนผสมเรซินสำหรับผลิต ผ้าเบรคหรือคลัทช์ของเครื่องยนต์ ใช้ผสมสีทาป้องกันเชื้อรา และยังทำกาวประเภทฟีนอลิกรีซิน เป็นต้น

สำหรับการวิจัยนี้ เป็นการพัฒนาการใช้ประโยชน์จากน้ำมัน CNSL เพื่อการผลิตสารป้องกันการเสื่อมสภาพและสารช่วยผสมสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติ (natural rubber, NR) [7,8,9] โดยทั่วไปนั้นในอุตสาหกรรมยางจะใช้สารป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากการออกซิเดชัน โดยที่นิยมใช้กันมี 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ กลุ่มอนุพันธ์ของเอมีน (amine derivatives) และกลุ่มอนุพันธ์ของฟีนอล (phenol derivatives) ซึ่งในกลุ่มของสารประกอบฟีนอลนั้นนิยมใช้กันมาก เนื่องจากเป็นสารป้องกันการเสื่อมที่สามารใช้ได้สำหรับยางสีและยางผสมเขม่าดำ สำหรับข้อดีอีกประการหนึ่งของการนำอนุพันธ์ของฟีนอลมาใช้ คืออนุพันธ์ของฟีนอลมีความสามารถในการละลายใน ยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ได้เป็นอย่างดี และอนุพันธ์ของฟีนอลที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงและยังสามารถช่วยป้องกันการระเหยในระหว่างขั้นตอนการผสมอีกด้วย [7] แต่อย่างไรก็ตามอนุพันธ์ของฟีนอลที่นำมาใช้เป็นสารเติมแต่งสำหรับยางในเชิงพาณิชย์นั้น โดยส่วนใหญ่ได้จากการสังเคราะห์จากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ซึ่งมีต้นทุนการผลิตที่สูงและยังมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย ดังนั้นการพัฒนาไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากนำไปใช้

สารประกอบฟีนอลจากผลิตภัณฑ์เหลือใช้ทางการเกษตร เช่น การเตรียมจากน้ำมัน CNSL ซึ่งมีส่วนประกอบประเภทฟีนอลเป็นองค์ประกอบหลัก จึงมีความน่าสนใจสำหรับการทำวิจัยเพื่อช่วยพัฒนาเป็นอุตสาหกรรมเคมีที่ใช้วัตถุดิบจากผลผลิตเหลือใช้ทางการเกษตร โดยโครงการวิจัยนี้จึงเน้นเพื่อการผลิตสารป้องกันการเสื่อมสภาพจากน้ำมัน CNSL ซึ่งเป็นวัตถุดิบเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีภายในประเทศเป็นจำนวนมาก โดยคาดว่าจะทำให้ผลิตภัณฑ์อย่างธรรมชาติมีความสามารถป้องกันการเสื่อมสภาพดีขึ้น และยังสามารถพัฒนาเป็นสารเติมแต่งเพื่อปรับปรุงการผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางสังเคราะห์ ซึ่งการผลิตสารเติมแต่งจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรทำให้อุตสาหกรรมภายในประเทศมีต้นทุนในการผลิตต่ำ และยังเป็นการพัฒนาอุตสาหกรรมการผลิตสารเคมีที่ใช้สำหรับอุตสาหกรรมภายในประเทศ ช่วยลดการนำเข้าสารเคมีจากต่างประเทศ ทำให้เพิ่มศักยภาพในการแข่งขันด้านอุตสาหกรรมยางของประเทศไทยอีกด้วย

แต่อย่างไรก็ตามน้ำมัน CNSL เป็นสารประกอบในสภาพของเหลวที่อุณหภูมิห้อง ทำให้ไม่สะดวกในการนำไปประยุกต์ใช้กับการผสมยางคอมพาวด์ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะศึกษาและพัฒนาสารเติมแต่งประเภทสารประกอบฟีนอลจากน้ำมัน CNSL สำหรับป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากออกซิเดชันให้อยู่ในรูปผลึกของแข็งที่เรียกว่า ไฮบริด (hybrid) ซึ่งจะได้สารเติมแต่งภายในลักษณะของ multi – functions ที่สามารถทำหน้าที่ทั้งการป้องกันการเสื่อมสภาพและยังสามารถทำหน้าที่เป็นสารช่วยผสมในขณะเดียวกัน ทำให้สะดวกและง่ายในการนำไปใช้ในกระบวนการผสมยาง แนวทางการพัฒนาสารเติมแต่งไฮบริดนี้สามารถทำได้โดยการตกผลึกร่วมกับสารประกอบพาราฟินและไมโครคริสตัลไลน์แวกซ์ เนื่องจากสารประกอบพาราฟินและไมโครคริสตัลไลน์แวกซ์เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีโซ่กิ่งและโซ่ตรงในลักษณะเช่นเดียวกับโครงสร้างของคาร์บอนอลที่มีโซ่ตรงของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน จากลักษณะโครงสร้างที่คล้ายคลึงกันเช่นนี้ช่วยทำให้สามารถทำการตกผลึกร่วมได้โดยใช้พาราฟินและไมโครคริสตัลไลน์แวกซ์

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาการผลิตสารประกอบฟีนอลจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ผสมแวกซ์เป็นสารป้องกันการเกิดออกซิเดชัน (antioxidants) และสารช่วยผสม (compatibilizer)
2. เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการปรับปรุงสมบัติของยาง NR และยางผสม
3. เพื่อพัฒนาขั้นตอนการผลิตในระดับกึ่งอุตสาหกรรมและการศึกษาความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์การผลิตสารเติมแต่งไฮบริด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาการปรับสภาพน้ำมัน CNSL ด้วยปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันที่อุณหภูมิ 160 °C เป็นระยะเวลา 30 และ 60 นาที
2. ทดลองตกผลึกร่วมเวิร์กซ์กับน้ำมัน CNSL ที่อุณหภูมิ 20 30 40 และ 50 °C
3. ศึกษาผลของสารเติมแต่งไฮบริดต่อการป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากโอโซนและความร้อนในยาง NR (ผสมผงเขม่าดำ) โดยเปรียบเทียบกับ Wingstay-L[®] และคาร์ดานอลสังเคราะห์ในปริมาณเท่ากับ 0.6 phr
4. ศึกษาผลของสารเติมแต่งไฮบริดต่อการช่วยผสมยางผสมระหว่างยาง NR และยาง EPDM ที่สัดส่วน 75:25 โดยน้ำหนัก

1.4 ขั้นตอนของงานวิจัย

1. ศึกษาการปรับสภาพน้ำมัน CNSL
2. ทดลองตกผลึกร่วมเวิร์กซ์กับน้ำมัน CNSL สำหรับพัฒนาเป็นสารเติมแต่งไฮบริด
3. ศึกษาองค์ประกอบและสมบัติของสารเติมแต่งไฮบริดที่พัฒนาขึ้นสำหรับการผสมยาง
4. ทดลองผสมสารเติมแต่งไฮบริดกับยาง NR และยางผสม NR/EPDM ที่สัดส่วนต่างๆ
5. ทดสอบสมบัติเชิงกลและสมบัติการป้องกันการเสื่อมสภาพของผลิตภัณฑ์ยาง
6. เปรียบเทียบสมบัติป้องกันการเสื่อมสภาพของผลิตภัณฑ์ยางที่ผสมสารเติมแต่งไฮบริดที่พัฒนาจากจากน้ำมัน CNSL และเวิร์กซ์ กับ Wingstay-L[®] และคาร์ดานอลสังเคราะห์

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

1. ทราบถึงอัตราส่วนที่เหมาะสมของสารเติมแต่งไฮบริดที่ทำให้มีความสามารถในการป้องกันการเสื่อมสภาพได้ดี
2. เพิ่มมูลค่าให้กับเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและลดการนำเข้าสารเติมแต่งสำหรับยางจากต่างประเทศ
3. ผลการคำนวณเชิงเศรษฐศาสตร์ความน่าจะเป็นสำหรับการผลิตสารเติมแต่งไฮบริด
4. ลดผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อมพร้อมกับการกำจัดขยะเป็นพิษจากน้ำมัน CNSL

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ยาง (rubber)[9-11]

2.1.1 ยางธรรมชาติ (natural rubber, NR)

ยางธรรมชาติเป็นพอลิไอโซพรีน (polyisoprene) มีการจัดเรียงตัวของโครงสร้างโมเลกุลแบบอสัณฐาน (amorphous) ยาง NR เป็นยางที่มีความยืดหยุ่น (elasticity) สูงเพราะโครงสร้างโมเลกุลของยางมีลักษณะม้วนงอขดไปมาบิดเป็นเกลียวได้ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลเป็นแรงแวนเดอร์วาลส์ ละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว ทั้งยังมีความต้านทานแรงดึง (tensile strength) มีความต้านทานการฉีกขาด (tear resistance) และทนต่อการขัดสี (abrasion resistance) ที่ดี ทั้งนี้เนื่องจากขณะถูกยืดออกยาง NR สามารถเกิดการตกผลึกได้ (strain induced crystallization) จึงเหมาะกับการใช้งานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานที่มีการสั่นสะเทือนของเครื่องจักร หรือใช้รองรับน้ำหนักงานทุกประเภท เช่น ยางล้อรถยนต์ ยางล้อเครื่องบิน ยางรองแท่นเครื่องในรถยนต์ ยางรองแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น อย่างไรก็ตามในการใช้งานยังมีความจำกัด เนื่องจากมีสมบัติเชิงกลต่ำและสมบัติทางกายภาพไม่เสถียร คือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นยางจะอ่อนแ่้มและเหนียว แต่จะแข็งและเปราะเมื่ออุณหภูมิต่ำ

2.1.2 ยางสังเคราะห์ (synthetic rubber)

ยางสังเคราะห์เป็นพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ขึ้นเพื่อใช้ทดแทนความต้องการในการใช้ยาง NR ซึ่งการใช้งานยังมีจำกัด โดยยางสังเคราะห์ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อให้ได้ยางที่มีสมบัติตามต้องการในการใช้งานที่สภาวะต่าง ๆ ตัวอย่างยางสังเคราะห์และการใช้งาน ได้แก่

- ยางสไตรีนบิวตาไดอีน (styrene-butadiene rubber, SBR) เป็นยางสังเคราะห์ที่มีความต้านทานต่อการเสียดสี มีความต้านทานไฟฟ้าสูง นิยมใช้ผลิตเป็นฉนวนหุ้มสายไฟ ท่อยาง ยางสายพานและบรรจุภัณฑ์อาหาร
- ยางคลอโรพรีน (chloroprene rubber, CR) เป็นยางสังเคราะห์ที่มีความต้านทานต่อสภาพอากาศ ความร้อนและโอโซน น้ำมัน ไฟ และกรด-เบส นิยมนำมาใช้ในการผลิตยางพันลูกกลิ้ง ยางขอบหน้าต่างและยางรองคอกสะพาน
- ยางเอธิลีนโพรพิลีนไดอีนโมโนเมอร์ (ethylene propylene diene monomer, EPDM) เป็นยางสังเคราะห์ที่มีเสถียรภาพทางเคมีสูง มีความต้านทานต่อความร้อน โอโซนและออกซิเจนได้ดีมาก มักใช้ในอุตสาหกรรมชิ้นส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ หงสน อีกทั้งห้ามมีเหตุดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ การใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรมมักมีการใช้ในลักษณะของยางผสม ที่เป็น การนำยางตั้งแต่ 2 ชนิด มาผสมให้อยู่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน (blending) ได้เป็นยางผสม ซึ่งมีสมบัติ ที่ดีของยางแต่ละชนิดมารวมกัน เพื่อลดต้นทุนและเป็นการปรับปรุงคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ยาง ให้มีสมบัติเฉพาะทางมากขึ้น เช่น สมบัติความต้านทานต่อโอโซน น้ำมัน สารเคมี ตัวทำละลาย ชนิดต่าง ๆ และการใช้งานกลางแจ้ง เป็นต้น

2.2 สารเติมแต่งสำหรับยาง[9]

ยางดิบมีสมบัติเชิงกลที่ต่ำและลักษณะทางกายภาพไม่เสถียรขึ้นอยู่กับกระบวนการเปลี่ยนแปลง ของอุณหภูมิ จึงไม่เหมาะสมที่จะนำยางดิบมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ยาง ได้โดยตรงจำเป็นต้องมีการ พัฒนาและปรับปรุงคุณภาพของยางด้วยการผสมกับสารเคมีต่างๆ ซึ่งเรียกว่า สารเติมแต่ง เพื่อ ปรับปรุงสมบัติของยางให้ได้ตามความเหมาะสมกับสภาพการใช้งานของผลิตภัณฑ์ยางนั้นๆ และ นำยางคอมปาวด์ที่ผสมสารเติมแต่ง ไปผ่านกระบวนการคงรูปเพื่อให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่าง โมเลกุลยาง ซึ่งสารเติมแต่งที่ใช้ในการผสมยาง สามารถจำแนก ได้ดังนี้

2.2.1 สารทำให้ยางคงรูป (vulcanizing agent or curing agent)

เป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่ต้องผสมในยาง เพื่อให้โมเลกุลของยางเกิดการเชื่อม โยง กันเป็นโครงสร้างตาข่าย 3 มิติ ทำให้อยู่ในสถานะที่ยืดหยุ่นได้สูง มีความทนทาน และมี สมบัติที่เสถียรไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ สารทำให้ยางคงรูปสามารถแบ่งได้เป็น 2 ระบบ ได้แก่ ระบบที่ใช้กำมะถัน (sulfur) นิยมใช้ในยาง NR และยางสังเคราะห์ที่มีพันธะคู่ใน โมเลกุล เป็นจำนวนมาก และระบบที่ใช้เปอร์ออกไซด์ (peroxide) ซึ่งนิยมใช้ในยางที่มีพันธะคู่ใน โมเลกุล ต่ำ นอกจาก 2 ระบบดังกล่าว ยังมีการใช้สารคงรูปพวกโลหะออกไซด์ เช่น แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) และซิงค์ออกไซด์ (zinc oxide, ZnO) ในยางสังเคราะห์บางชนิด เช่น ยางนีโอพรีน

2.2.2 สารตัวเติม (filler)

เป็นสารที่ใช้ผสมกับยางเพื่อช่วยเสริมแรง (reinforcement) ให้ผลิตภัณฑ์ยางมีสมบัติ เชิงกลที่ดีขึ้น เพื่อทำให้อย่างคอมปาวด์มีสมบัติเฉพาะที่เหมาะสมกับกระบวนการผลิต หรือเพื่อช่วย ลดต้นทุนการผลิต สารตัวเติมที่ช่วยเสริมแรงจะเรียกว่า สารเสริมแรง (reinforcing filler) ซึ่งจะ เป็นสารที่มีขนาดอนุภาคที่เล็กมาก ได้แก่ ผงเขม่าดำ (carbon black) เกรดต่างๆ และผงเขม่าขาว หรือ ซิลิกา เป็นต้น ส่วนสารตัวเติมที่ไม่ช่วยเสริมแรง (inert filler or non - reinforcing filler) แต่ นิยมใช้เพื่อลดต้นทุนการผลิต ได้แก่ ดินขาว (clay) แป้ง แคลเซียมคาร์บอเนต เป็นต้น

2.2.3 สารช่วยในกระบวนการผลิต (processing aids)

เป็นองค์ประกอบที่เติมในยางเพื่อช่วยให้กระบวนการผลิตในขั้นตอนต่างๆ เป็นไปได้อย่าง ง่ายยิ่งขึ้น สารในกลุ่มนี้ช่วยลดระยะเวลาและพลังงานที่ใช้ในการผลิต เช่น สารที่ช่วยให้ยางนุ่มใน

ระหว่างการบดผสม ได้แก่ พวกน้ำมัน (oils) และสารเคมีย่อยยาง (peptizer) เช่น Pepton22 สารบางตัวยังช่วยควบคุมไม่ให้ยางมีความหุนตัว (nerve) สูงมากเกินไปเพราะจะทำให้สารเคมีที่เป็นผงเข้าเนื้อยางได้ยากในระหว่างการบดผสม เพราะยางจะพันลูกกลิ้งยาก สารพวกนี้ ได้แก่ factice

2.2.4 สารตัวเร่งปฏิกิริยา (accelerators)

เป็นสารที่ช่วยทำให้ปฏิกิริยาระหว่างยางและกำมะถันเกิดได้เร็วขึ้น ลดระยะเวลาที่ใช้ในการคงรูปยาง ทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้ปริมาณกำมะถันที่มากเกินไป และยางคงรูปมีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น ได้แก่ สารตัวเร่งปฏิกิริยาแบบช้า ปานกลาง หรือเร็ว เช่น เอมีน (amines) กัวนีนีน (guanidine) ไทยูแรม (thiurams) และ แซนเทต (xanthates)

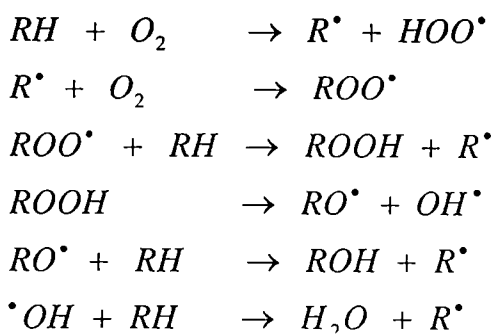
2.2.5 สารกระตุ้นหรือสารเสริมตัวเร่ง (activator)

เป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับระบบการคงรูปด้วยกำมะถัน เพราะช่วยเร่งอัตราการวัลคาไนซ์ยางให้เร็วขึ้น โดยการทำให้สารเร่งมีความว่องไวต่อปฏิกิริยา เพื่อจะได้ประสิทธิภาพมากขึ้น เร่งอัตราการวัลคาไนซ์ยางให้เร็วขึ้น และปรับปรุงสมบัติของผลิตภัณฑ์ยางให้ดียิ่งขึ้นโดยทำให้ยางมีค่าโมดูลัสสูงขึ้น ได้แก่ กรดสเตียริก (stearic acid) และซิงค์ออกไซด์

2.2.6 สารป้องกันยางเสื่อมสภาพ (antidegradants)[9]

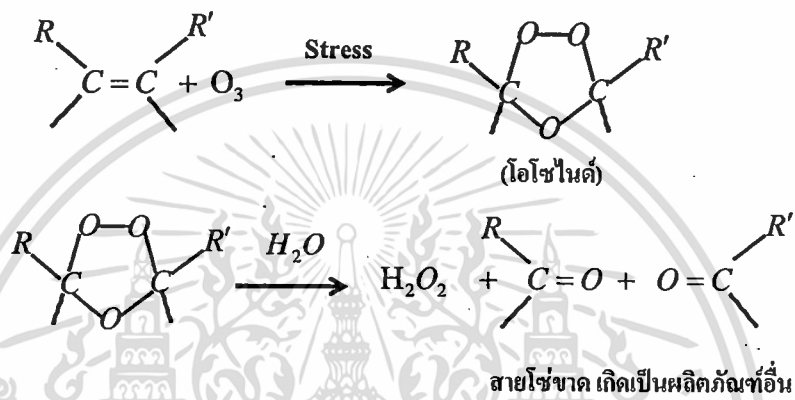
ยางส่วนใหญ่ที่มีพันธะคู่อยู่ในโมเลกุลเป็นยางที่เสื่อมสภาพได้ง่าย โดยเฉพาะในภาวะการใช้งานที่ต้องสัมผัสกับแสงแดด ออกซิเจน โอโซน ความร้อน รวมทั้งการใช้งานที่ต้องมีการหักงอเชิงกลตลอดเวลา ซึ่งกลไกการเสื่อมสภาพของยางสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

การเสื่อมสภาพเนื่องจากออกซิเจน ออกซิเจนในอากาศสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ที่หลงเหลืออยู่ในโมเลกุลของยางได้ เรียกปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นว่า ปฏิกิริยาออกซิชัน ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้จะปฏิกิริยาถูกโซ่ที่เกิดผ่านอนุมูลอิสระ (R^\bullet) ผลิตภัณฑ์ชนิดแรกที่เกิดในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน คือ ไฮโดรเพอร์ออกไซด์ ซึ่งไฮโดรเพอร์ออกไซด์เป็นผลิตภัณฑ์ที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา โดยแตกตัวต่อไปให้อนุมูลอิสระที่พร้อมจะทำปฏิกิริยาถูกโซ่ต่อไป ดังแสดงในสมการรูปที่ 2.1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และห้ามการนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.1 กลไกการเกิดปฏิกิริยาระหว่างยางกับออกซิเจน
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเสื่อมสภาพเนื่องจากโอโซน ยางที่มีโครงสร้างไม่อิ่มตัว เมื่อใช้งานในภาวะที่ถูกยึด ออกภายใต้สภาพอากาศทั่วไปจะเกิดรอยแตกขึ้นที่ผิว (surface crack) รอยแตกนี้จะขยายตัวเมื่อ ยางได้รับแรงซ้ำๆ (cyclic load) การสั่น หรือการพับ (flexing) ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพเนื่องจาก โอโซนในบรรยากาศดังแสดงได้ดังรูปที่ 2.2 โดยโอโซนจะเข้าทำปฏิกิริยากับยางที่พันธะคู่เกิด เป็นโครงสร้างของวงโอโซน (ozonide) โอโซนที่เกิดขึ้นนี้จะไม่เสถียรและว่องไวต่อการ เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ทำให้เกิดการขาดของสายโซ่โมเลกุล (chain cleavage) หากยางอยู่ ภายใต้อุณหภูมิและความเครียด (stress) และรอยแตกที่เกิดขึ้นจะลึกขึ้นเรื่อยๆ เมื่อปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 2.2 กลไกการเสื่อมสภาพของยางเนื่องจากโอโซน

การเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อน (heat aging) ความร้อนเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ยาง เกิดปฏิกิริยาต่างๆ ได้ เช่น การสลายตัวเชิงความร้อนของการเชื่อมโยงและการเกิดปฏิกิริยา ไฮโดรไลซิสของยางที่ว่องไวต่อความชื้น ซึ่งจะทำให้ยางอ่อนตัว นอกจากนี้ ความร้อนยังสามารถ ทำให้ยางเกิดการเชื่อมโยงต่อไปได้ (ทั้งภายในและระหว่างโมเลกุล) ส่งผลให้ยางมีความแข็ง เพิ่มขึ้น การเสื่อมสภาพจากความร้อนภายใต้ภาวะที่ออกซิเจนจะเกิดขึ้นได้ช้ากว่าในภาวะที่มี ออกซิเจนมาก

การล้าตัว (fatigue) เมื่อยางเกิดรอยแตกขึ้นที่บริเวณผิวของยางและจะขยายใหญ่ขึ้นเมื่อ มีแรงกระทำ จนในที่สุดจะทำให้ยางเกิดการประลัย (failure) รอยแตกที่เกิดขึ้นมักมีทิศทางใน แนวตั้งฉากกับทิศทางของความเค้น ความต้านทานต่อการล้าตัวขึ้นอยู่กับชนิดของยาง ความหนาแน่นและชนิดของการเชื่อมโยง อีกทั้ง ความต้านทานต่อการล้าตัวจะเพิ่มขึ้นเมื่อยางมี ความหนาแน่นของการเชื่อมโยงสูงหรือมีส่วนของการเชื่อมโยงแบบพอลิซัลไฟด์ที่สูงขึ้น

การเกิดรอยแตกต่อเนื่อง (crazing effect) เมื่อยางคงรูปที่ต้องสัมผัสกับแสง อัลตราไวโอเล็ตเป็นเวลานาน ทำให้เกิดรอยแตกขนาดเล็กและต่อเนื่องกันแบบไร้อทิศทางที่ แน่นนอนอยู่บนพื้นผิว เรียกรอยแตกในลักษณะนี้ว่า craze โดยรอยแตกที่เกิดขึ้นมีลักษณะคล้ายผิว

แตกที่เหี่ยวหรือคล้ายลายบนผิวหนังของช้าง เมื่อยางได้รับรังสีนานมากขึ้น พื้นผิวยางก็จะแข็งและ ไม่ว่องไวใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถมองเห็นสารตัวเดิมในยางได้ มองคล้ายกับการเกิดการแพร่ของสารตัวเดิม ปฏิกิริยาการนี้
เช่นนี้มักพบในยางที่มีสีอ่อนๆ เพราะยางที่มีผงเขม่าดำเป็นสารตัวเดิมจะสามารถดูดซึม รังสีที่มี
พลังงานสูงได้จึงไม่เกิดการเสื่อมสภาพในลักษณะเช่นนี้

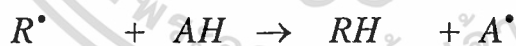
ดังนั้น การป้องกันการเสื่อมสภาพของยางจึงมีความสำคัญต่ออายุการใช้งานของ
ผลิตภัณฑ์ยาง เพราะเมื่อยางเกิดการเสื่อมสภาพสมบัติต่างๆ ของยางก็จะด้อยลง การเสื่อมสภาพที่
เกิดขึ้นอาจสังเกตเห็นได้จากการแข็งตัว การอ่อนตัว รวมถึงการล้าตัวหรือการขยายตัวของรอย
แตก โดยทั่วไปการป้องกันการเสื่อมสภาพที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมสามารถทำได้ดังต่อไปนี้

2.2.6.1 การปรับปรุงสมบัติการป้องกันการเสื่อมสภาพของยาง NR โดยการผสม สารป้องกันการเสื่อมสภาพ

สารป้องกันการเสื่อมสภาพของยางที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมจะมีกลไกในการ
ป้องกันการเสื่อมสภาพได้ 2 ลักษณะ คือ

1. กลไกการป้องกันการเสื่อมสภาพโดยการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่

สารป้องกันการเสื่อมสภาพในกลุ่มนี้ได้แก่สารประกอบที่เป็นอนุพันธ์ของ
เอมีน (amine derivatives) และกลุ่มอนุพันธ์ของฟีนอล (phenol derivatives) เป็นกลุ่มที่มี
ประสิทธิภาพในการป้องกันการเสื่อมสภาพสูงที่สุดในการป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากการล้า
ตัวและโอโซน ทั้งภายใต้การเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบสถิตและแบบพลจัต ซึ่งกลไกการป้องกัน
การเสื่อมสภาพแสดงได้ดังรูปที่ 2.3 โดยสารในกลุ่มนี้ (AH) จะเข้าทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระที่
เกิดจากโอโซนหรือออกซิเจนทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ของยาง ได้เป็นอนุมูลอิสระ (A[•]) ใหม่ที่ไม่
ส่งผลทำให้ยางเกิดการเสื่อมสภาพได้ ช่วยลดการเกิดรอยแตกและยังทำให้รอยแตกเกิดขึ้นได้ยาก
ยิ่งขึ้น อีกทั้ง ยังช่วยลดอัตราเร็วในการขยายตัวของรอยแตกอีกด้วย



รูปที่ 2.3 กลไกการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่

สารในกลุ่มของสารประกอบฟีนอลนั้นนิยมใช้กันมาก เนื่องจากเป็น
สารป้องกันการเสื่อมที่สามารใช้ได้สำหรับยางสีและยางผสมเขม่าดำ สำหรับข้อดีอีกประการ
หนึ่งของการนำอนุพันธ์ของฟีนอลมาใช้ คืออนุพันธ์ของฟีนอลมีความสามารถในการละลายใน
ยาง NR และยางสังเคราะห์ได้เป็นอย่างดี และอนุพันธ์ของฟีนอลที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงและยัง
สามารถช่วยป้องกันการระเหยในระหว่างขั้นตอนการผสมได้อีกด้วย

2. กลไกการป้องกันการเสื่อมสภาพโดยการป้องกันการเข้าทำปฏิกิริยากับยาง[12]

สารป้องกันการเสื่อมสภาพในกลุ่มนี้คือ แวกซ์ โดยแวกซ์ที่ถูกผสมในยางเมื่อ
ถูกนำมาใช้งานจะแพร่ออกมาและเกิดเป็นชั้นฟิล์มบางๆ เคลือบอยู่ที่บริเวณพื้นผิวของยาง[13,14] การค้า
ไม่ ซึ่งทำหน้าที่ในการป้องกันไม่ให้โอโซนเข้าไปทำปฏิกิริยากับยางดังแสดงในรูปที่ 2.4 ภายใต

ประสิทธิภาพในการป้องกันการเสื่อมสภาพของแว็กซ์จะขึ้นอยู่กับความหนาของชั้นแว็กซ์ โดยทั่วไปแว็กซ์แบ่งเป็น 3 ชนิด คือ

1. พาราฟินแว็กซ์ (paraffin waxes) เป็นแว็กซ์ประเภทไฮโดรคาร์บอนแบบโซ่ตรง มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 350 - 420 กรัม/โมล และมีความเป็นผลึกสูงโดยจุดหลอมเหลวประมาณ 38 - 74 °C

2. ไมโครคริสตัลไลน์แว็กซ์ (microcrystalline waxes) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกากที่เหลือ ของกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบ หรือจากก้นถังของน้ำมันดิบ โดยมีลักษณะโครงสร้างเป็นกิ่ง (branch) และเป็นวง (cyclic) มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 490 - 800 กรัม/โมล และมีจุดหลอมเหลวประมาณ 57 - 100 °C

3. เซมิไมโครคริสตัลไลน์แว็กซ์ (semi - microcrystalline waxes) เป็นแว็กซ์ที่ผสมระหว่างพาราฟินแว็กซ์และไมโครคริสตัลไลน์แว็กซ์ ทำให้มีลักษณะ โครงสร้างเป็นกิ่งและเป็นวงมากกว่าพาราฟินแว็กซ์ แต่น้อยกว่าไมโครคริสตัลไลน์แว็กซ์



รูปที่ 2.4 ภาพตัดขวางความหนาของชั้นแว็กซ์ (ภาพถ่ายที่กำลังขยาย X 2000 เท่า)[15]

จากความแตกต่างทางลักษณะ โครงสร้างและจำนวนคาร์บอนของแว็กซ์ พบว่ามีผลต่อการแพร่ของแว็กซ์และประสิทธิภาพในการป้องกันโอโซน การเติมแว็กซ์ผสมในยางจัดเป็นสารป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากโอโซนในสภาวะที่อยู่นิ่ง แว็กซ์ทำหน้าที่เป็นสารป้องกันโอโซนได้โดยการแพร่ออกมาและเกิดเป็นชั้นฟิล์มบางๆ เคลือบอยู่ที่ผิวหน้าของยางเปรียบเสมือนเป็นกำแพงป้องกันการเข้าทำปฏิกิริยาของโอโซนในอากาศได้ แต่อย่างไรก็ดีถ้ายางได้รับแรงสั่นสะเทือนหรือแรงแบบไดนามิกส์ ฟิล์มแว็กซ์จะไม่สามารถใช้ป้องกันยางได้แว็กซ์ที่นิยมใช้ในการป้องกันการเสื่อมสภาพของยางเนื่องจากโอโซน ได้แก่ พาราฟินแว็กซ์ และไมโครคริสตัลไลน์แว็กซ์ เมื่อพิจารณาความสามารถในการป้องกันโอโซนของพาราฟินแว็กซ์และไมโครคริสตัลไลน์แว็กซ์ จะพบว่าพาราฟินแว็กซ์สามารถนำมาใช้เป็นสารป้องกันโอโซนได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ (ประมาณ 40 °C) แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความสามารถในการละลายของ

พาราฟินแว็กซ์จะสูงขึ้นด้วย ทำให้พาราฟินแว็กซ์ละลายในยางได้มากขึ้นส่งผลให้ชั้นฟิล์มที่ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดขึ้นมีความหนาไม่เพียงพอที่จะเคลือบป้องกันผิวของยางได้ แต่สำหรับไมโครคริสตัลไลน์ แวกซ์จะสามารถใช้เป็นสารป้องกันการเสื่อมสภาพของยางเนื่องจากโอโซนได้ดีกว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเนื่องจากไมโครคริสตัลไลน์แวกซ์มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่าพาราฟินแวกซ์ ดังนั้นการแพร่ออกมาที่ผิวยางเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้ช่วงอุณหภูมิของการใช้งานอยู่ในช่วงกว้าง

ดังนั้นการใช้แวกซ์ในการป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากโอโซนที่ดียิ่งควรจะใช้ แวกซ์ที่ผสมกันระหว่างพาราฟินแวกซ์และไมโครคริสตัลไลน์แวกซ์ ซึ่งจากการศึกษาของ กานหาและคณะ[15] ที่ศึกษาประสิทธิภาพในการป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากโอโซนของ แวกซ์ที่ผสมระหว่างพาราฟินแวกซ์ ($C_{24}H_{50}$) และไมโครคริสตัลไลน์แวกซ์ ($C_{32}H_{66}$) พบว่าการผสมที่สัดส่วนของไมโครคริสตัลไลน์แวกซ์ร้อยละ 40 – 50 โดยน้ำหนัก ทำให้เกิดความหนาของชั้นฟิล์มแวกซ์อยู่ในช่วง 6 – 8 ไมครอน สามารถป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากโอโซน ในยางธรรมชาติได้เป็นอย่างดี

2.2.6.2 การปรับปรุงสมบัติการป้องกันการเสื่อมสภาพของยาง NR โดยการทำ ยางผสม[16,17,18]

การทำยางผสมเป็นการนำยางตั้งแต่ 2 ชนิด ที่มีสมบัติเด่นที่แตกต่างกันมาผสมให้อยู่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน (blending) ได้ยางผสมที่มีสมบัติที่ดีของยางแต่ละชนิดดังตัวอย่างในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สมบัติเด่นและสมบัติด้อยของยางชนิดต่างๆ

ยาง	สมบัติเด่น	สมบัติด้อย
NR	1) ความแข็งแรง	1) ความต้านทานต่อความร้อน O_2 และ O_3
	2) ความยืดหยุ่น	2) ความต้านทานต่อการซึมผ่านของก๊าซ
		3) ความต้านทานต่อน้ำมัน
SBR	1) ความต้านทานต่อการเสียดสี	1) ความต้านทานต่อความร้อน O_2 และ O_3
	2) ความต้านทานต่อไฟฟ้า	2) ความต้านทานต่อการซึมผ่านของก๊าซ
		3) ความต้านทานต่อน้ำมัน
PB	1) ความยืดหยุ่น	1) ความต้านทานความร้อน O_2 และ O_3
	2) ความต้านทานต่อการสึกกร่อน	2) ความต้านทานต่อการซึมผ่านของก๊าซ
		3) ความต้านทานต่อน้ำมัน
EPDM	1) ความต้านทานต่อความร้อน O_2 และ O_3	1) ความต้านทานต่อการซึมผ่านของก๊าซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำยางผสมระหว่างยาง NR กับยางสังเคราะห์ที่มีสมบัติที่ดีต่อการต้านทานการเสื่อมสภาพ เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้ในการปรับปรุงสมบัติการป้องกันการเสื่อมสภาพของยาง NR ให้ดีขึ้น การปรับปรุงสมบัติความต้านทานต่อการเสื่อมสภาพของยาง NR โดยการทำเป็นยางผสมเป็นวิธีที่สะดวกและสามารถทำได้ง่ายในโรงงานอุตสาหกรรม ตัวอย่างเช่น

- ยางผสมระหว่างยาง EPDM กับ NR เพื่อปรับปรุงความทนต่อโอโซนของ NR
- ยางผสมระหว่างยาง BR กับ NR เพื่อปรับปรุงความทนต่อการสึกกร่อนของ NR
- ยางผสมระหว่างยาง NR กับ SBR เพื่อปรับปรุงสมบัติการยึดติดของ SBR

แต่อย่างไรก็ตาม การปรับปรุงสมบัติการป้องกันการเสื่อมสภาพของยาง NR โดยการทำเป็นยางผสมมักจะมีปัญหาเกี่ยวกับการผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันของยางต่างชนิดกัน โดยธรรมชาติแล้วจะเป็นไปได้ยาก ดังนั้น ยางผสมที่ได้จึงไม่สามารถละลายเป็นเนื้อเดียวกันได้ในระหว่างกระบวนการผสม และพบว่าเมื่ออยู่ในสถานะที่เป็นของแข็ง ยางชนิดหนึ่งจะกระจายอยู่ในเนื้อหรือเมทริกซ์ที่ต่อเนื่อง (continuous matrix) ของยางอีกชนิดหนึ่ง ทั้งนี้การกระจายตัวดังกล่าวต้องเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ มิฉะนั้น จะทำให้เกิดเป็นข้อบกพร่อง (defects) ของผลิตภัณฑ์ยาง และส่งผลให้สมบัติเชิงกลของยางผสมต่ำกว่าของยางบริสุทธิ์ได้ ดังนั้นจึงต้องพิจารณาถึงสภาพเข้ากันได้ (compatibility) ของยางที่นำมาผสมกันซึ่งบางชนิดสามารถเข้ากันได้ดี บางชนิดไม่สามารถเข้ากันได้เนื่องจากมีโครงสร้างที่ต่างกัน จึงไม่สามารถกระจายตัวอย่างอิสระเกิดการแยกชั้น นอกจากนี้ ยังมีปัจจัยทางพลังงาน (energy factor) ที่ทำให้ยางทั้งสองชนิดผสมเข้ากันไม่ได้ นั่นคือ พลังงานที่ใช้ในการผสมผสาน โมเลกุลหรือสายโซ่ของยาง เช่น การดูดกลืนพลังงานความร้อนของยางแต่ละชนิดที่ต่างกัน ดังนั้น เมื่อนำยาง A และ B มาผสมในอัตราส่วนต่างๆ โดยสภาพการผสมของยางผสมสามารถพิจารณาได้เป็น 4 ลักษณะ ดังต่อไปนี้

1. ละลายเข้ากันได้ (miscible) สำหรับยางที่มีความสามารถในการละลายซึ่งกันและกันได้อย่างสมบูรณ์ในระดับโมเลกุล ทำใหยางผสมที่ได้เป็นเนื้อเดียวกัน

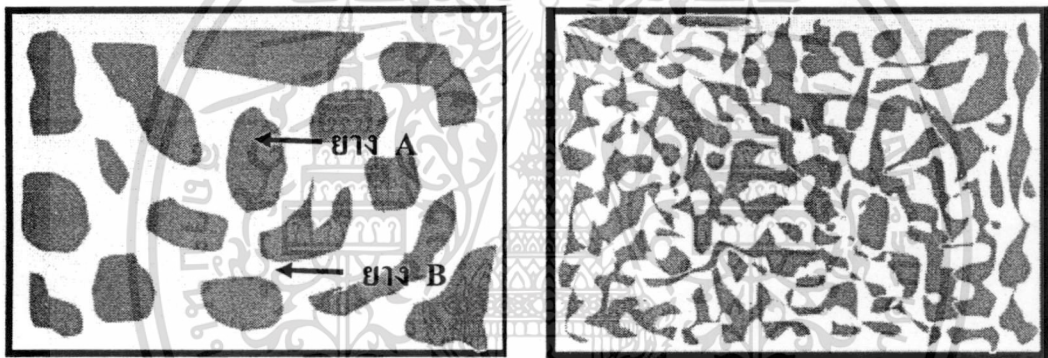
2. การผสมเข้ากันได้แบบกึ่งหนึ่ง (semi-compatible) เมื่อยางสองชนิดผสมกันแล้วไม่ละลายเข้ากันและแยกออกเป็นเฟส (separate phase) โดยยางที่เป็นองค์ประกอบหลักจะเกิดเป็นเฟสเมทริกซ์แบบต่อเนื่อง และสมบัติของยางผสมที่ได้จะมีแนวโน้มเหมือนกับยางที่เป็นองค์ประกอบหลัก ในขณะที่ยางรองจะเกิดเป็นโดเมนกระจายตัว (dispersed domain) และมีผลเพียงเล็กน้อยต่อสมบัติของผสมยางที่ได้

3. ไม่สามารถผสมเข้ากันได้ (incompatible) เมื่อยางสองชนิดไม่สามารถละลายซึ่งกันและกันได้อย่างสมบูรณ์ และเกิดการแยกออกเป็นเฟสโดยอาจจะมีการดึงดูระหว่างกันเล็กน้อยระหว่างผิว (interface) ของเฟสทั้งสอง ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของยางผสม มีผลให้ความต้านทานต่อทางความร้อนหรือทางเคมี ลดต่ำลงมากกว่ายางแต่ละตัวที่มีอยู่ไปใช้

ระบบผสม โดยเฉพาะความแข็งแรงและระยะการยึดที่จุดขาดซึ่งบ่งบอกให้ทราบถึงความไม่สามารถละลายเข้ากันได้

4. ร่วมผสม (synergistic) งามผสมอาจแสดงสมบัติที่ดีกว่าอย่างแต่ละตัวที่นำมาผสมเนื่องจากการปรับปรุงส่วนผสมที่สำคัญในทางปฏิบัติ ซึ่งโดยทั่วไปอาจเป็นพวกที่ไม่ละลายเข้ากันทำให้เกิดเป็น โดเมนยางที่ไม่ต่อเนื่องและไม่ทำให้เกิดการเบี่ยงเบนอย่างรุนแรงในด้านความแข็งแรง ความแข็ง ความเบี่ยงเบนทางความร้อนและความต้านทานต่อสารเคมีของเมตริกซ์ต่อเนื่อง แต่พันธะระหว่างผิว (interface bonding) แข็งแรงพอที่จะส่งผ่านความเค้นระหว่างเฟสทั้งสองและด้วยเหตุผลนี้จึงเกิดการรวมสมบัติที่ดีที่สุดในแต่ละเฟส

นอกจากนี้ ในการพิจารณาสภาพการผสมเข้ากันได้สามารถพิจารณาได้จากโครงสร้างจุลภาคของยางผสม ซึ่งจะแสดงลักษณะการกระจายของเฟสยางทั้งสองชนิด ดังแสดงในรูปที่ 2.5



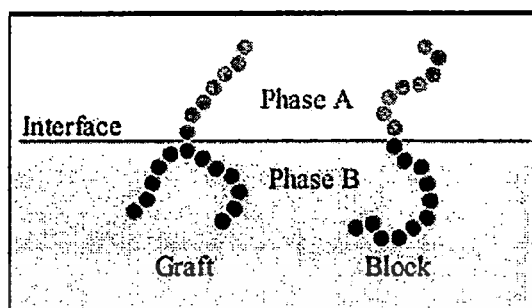
a) แสดงโครงสร้างของยางผสมแบบที่ยางตัวหนึ่งกระจายอยู่ในยางอีกตัวหนึ่ง

b) แสดงโครงสร้างของยางผสมแบบที่ยางทั้งสองตัวกระจายอยู่ร่วมกันยางในแต่ละส่วนเชื่อมถึงกัน

รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะของโครงสร้างจุลภาคของยางผสม[16]

โครงสร้างของยางผสมที่ไม่สามารถเข้ากันได้ นั้นเรียกว่า heterogeneous ดังแสดงในรูปที่ 2.5(a) ซึ่งจะมีลักษณะเป็น continuous phase ของยางหลักชนิดหนึ่งกระจายตัวอยู่ในยางซึ่งจะแยกกันอยู่อย่างชัดเจน โดยมีลักษณะเป็น phase boundary โดยรูปร่างและขนาดของเฟสที่กระจายและองศาการกระจายตัวนั้นจะขึ้นอยู่กับสมบัติการไหลของยางผสม ซึ่งสามารถปรับปรุงลักษณะทางสัณฐานวิทยานี้ได้โดยใช้สารช่วยผสม (compatibilizer) โดยผสมลงในยางเพื่อช่วยในการละลายและลดแรงดึงผิวซึ่งกันและกันระหว่างเฟสที่แยกกันอยู่ของยางหลักทั้งสองชนิด ทำให้ขนาดของอนุภาคเฟสที่กระจายตัวลดลง และเป็นการเพิ่มแรงยึดติดระหว่างผิวของแต่ละเฟสด้วย ทำให้ยางผสมสามารถรับและกระจายแรงได้มากขึ้น โดยทั่วไปสารช่วยผสมที่ใช้ในอุตสาหกรรมเป็นบล็อกหรือกราฟต์โคพอลิเมอร์ (block or graft copolymer) ที่มีองค์ประกอบของยางหลักทั้งสองชนิดแสดงได้ดังรูปที่ 2.6 ทำให้สามารถละลายได้ในทั้งสองเฟสและทำตัวไม่ว่การณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นสะพานเชื่อมระหว่างเฟสทั้งสองอย่างผสมที่ใช้สารช่วยผสมจะแสดงสมบัติที่ดีกว่าอย่างผสมที่ไม่ใช้สารช่วยผสม



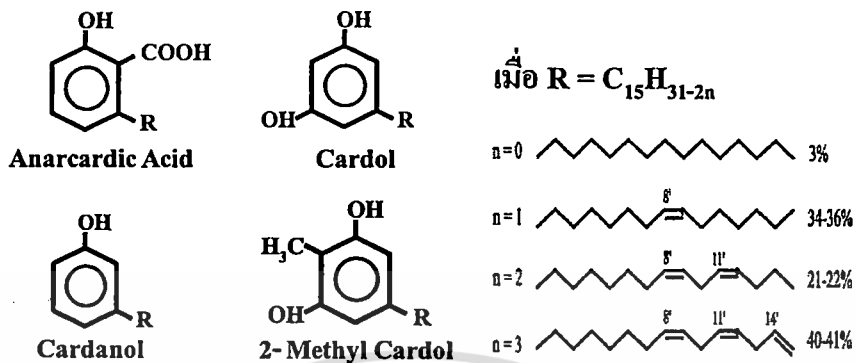
รูปที่ 2.6 กลไกการช่วยผสมของบล็อกหรือกราฟต์โคพอลิเมอร์[17]

จากการศึกษาในเบื้องต้นของคณะผู้วิจัย [15] เกี่ยวกับกลไกการป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากโอโซนในยาง NR ของแวกซ์ โดยแวกซ์ที่ใช้ศึกษาเป็นแวกซ์ผสมระหว่างพาราฟินและไมโครคริสตัลไลน์แวกซ์ซึ่งเตรียมได้จากกระบวนการตกผลึกร่วมระหว่างพาราฟินและไมโครคริสตัลไลน์แวกซ์ จากการศึกษาดังกล่าวพบว่าสามารถควบคุมการตกผลึกของพาราฟินและไมโครคริสตัลไลน์แวกซ์ ซึ่งเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีโซ่กิ่งและโซ่ตรงได้ และจากการศึกษารายงานวิจัยที่เกี่ยวกับการใช้น้ำมัน CNSL สำหรับการป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากการออกซิเดชันในยาง NR [7] และจากความรู้ดังกล่าวทำให้สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการแยกสารคาร์ดานอลออกจากน้ำมัน CNSL ซึ่งคาร์ดานอลเป็นสารที่มีสมบัติในการป้องกันการเกิดออกซิเดชัน เมื่อพิจารณาจากลักษณะโครงสร้างของคาร์ดานอลที่มีโซ่ตรงของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในลักษณะเช่นเดียวกับสารประกอบพาราฟินแวกซ์ ทำให้สามารถทำการตกผลึกร่วมได้โดยใช้พาราฟินแวกซ์ได้เป็นของแข็งระหว่างแวกซ์กับคาร์ดานอลสำหรับใช้เป็นสารป้องกันการเสื่อมสภาพและยังสามารถใช้เป็นสารช่วยผสมในยางผสมระหว่างยางที่มีขั้วกับยางที่ไม่มีขั้วได้อีกด้วย ตัวอย่างเช่น ยางผสมระหว่างยาง NR และยาง EPDM

2.3 น้ำมันจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (cashew nut shell liquid, CNSL)

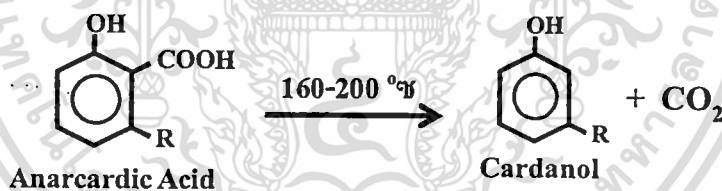
จากรายงานผลการวิจัยของ Kumar และคณะ [3,19,20] โดยทั่วไปพบว่าน้ำมัน CNSL ซึ่งมีสารประกอบประเภทฟีนอลเป็นองค์ประกอบหลักตามรูปที่ 2.7 มีสารประกอบฟีนอลที่มีชื่อทางเคมีว่า คาร์ดานอล มีสมบัติในการป้องกันการเกิดออกซิเดชันและยังเป็นสารช่วยผสมในยางได้อีกด้วย ในกระบวนการแยกคาร์ดานอล จากน้ำมัน CNSL นั้นที่นิยมใช้มี 2 วิธีคือ การสกัดด้วยตัวทำละลายโดยตรง (solvent extracted CNSL) โดยวิธีนี้จะได้ปริมาณของคาร์ดานอลร้อยละ ๕๐-๖๐ ของน้ำมัน CNSL เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10 - 20 โดยน้ำหนัก และการปรับสภาพน้ำมัน CNSL โดยวิธีการทำปฏิกิริยาที่ 180 - 200 °C โดยใช้ด่างเป็นสารเร่งปฏิกิริยาจะได้คาร์ดานอลร้อยละ 80 - 90 โดยน้ำหนัก



รูปที่ 2.7 สูตรโครงสร้างของสารประกอบในน้ำมัน CNSL

จากการศึกษาของ Gonsalves และคณะ[19] พบว่าในน้ำมัน CNSL มีกรดอนาคาร์ดิกเป็นส่วนประกอบสำคัญโดยมีร้อยละ 80 โดยน้ำหนัก และเป็นสารที่มีความคงตัวสูง แต่อย่างไรก็ตามเมื่อกรดอนาคาร์ดิกได้รับความร้อนจะเกิดการดีคาร์บอกซิเลชันไปเป็นคาร์ดานอลปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันจะยังเกิดได้ง่ายที่อุณหภูมิประมาณ 160-200 °C [21] ดังรูปที่ 2.8

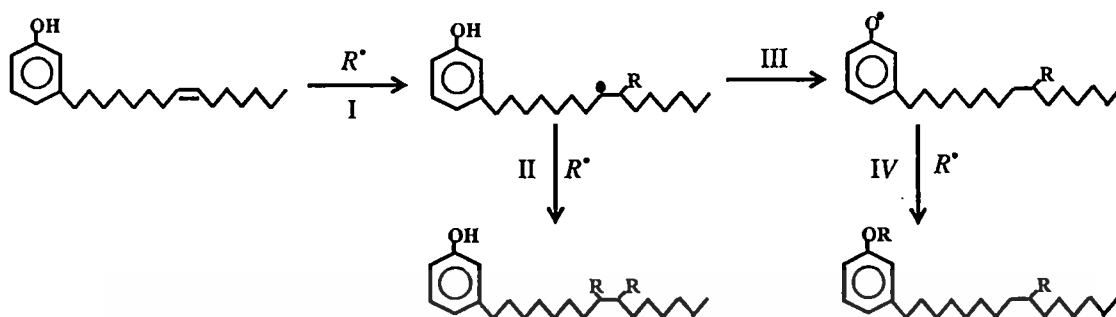


รูปที่ 2.8 ปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันของกรดอนาคาร์ดิก

จากปัญหาของยางธรรมชาติที่มีพันธะคู่จำนวนมาก ทำให้ง่ายต่อการเสื่อมสภาพเนื่องจากการทำปฏิกิริยากับออกซิเจน และสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ยางที่ต้องใช้ยางธรรมชาติผสมกับยางสังเคราะห์ พบว่ายางแต่ละชนิดมีโครงสร้างสายโซ่แตกต่างกันจึงไม่สามารถกระจายตัวได้อย่างอิสระ ทำให้ยางผสมไม่เข้ากัน (immiscible) เกิดการแยกเฟส มีส่วนทำให้สมบัติเชิงกลและสมบัติอื่นๆ ต่ำกว่าเดิม ซึ่งได้กล่าวข้างต้น จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นในอุตสาหกรรมยางจึงจำเป็นต้องใช้สารเติมแต่งหลายชนิดเพื่อช่วยปรับปรุงสมบัติของผลิตภัณฑ์ยาง

สำหรับการเลือกใช้คาร์ดานอลเป็นสารป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากการเกิดออกซิเดชันในยางนั้น สามารถอธิบายโดยใช้กลไกดังรูปที่ 2.9 ซึ่งกลไกการป้องกันการเสื่อมสภาพของคาร์ดานอลเป็นกลไกการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาถูกโซ่ เมื่อผลิตภัณฑ์ยางทำไปใช้

ปฏิกิริยากับออกซิเจนเกิดอนุมูลอิสระขึ้น อนุมูลอิสระจะเข้าทำปฏิกิริยากับพันธะคู่หรือหมู่ไฮดรอกซิลของคาร์ดานอลทำให้ผลิตภัณฑ์ยางมีความเสถียรและมีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น



รูปที่ 2.9 กลไกการป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากออกซิเดชันของคาร์ดานอล[7]

นอกจากนี้แล้วคาร์ดานอลที่มีโครงสร้างของส่วนมีขั้วกับไม่มีขั้ว ทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นสารช่วยผสมในยางผสมระหว่างยางที่มีขั้ว เช่น ยาง NR และยางที่ไม่มีขั้ว เช่น ยาง EPDM ดังแสดงในรูปที่ 2.10 โดยคาร์ดานอลสามารถที่จะละลายได้ในยางทั้งสองชนิด ส่งผลให้มีการยึดเกาะที่ดีระหว่างเฟสของยาง NR และเฟสของยาง EPDM



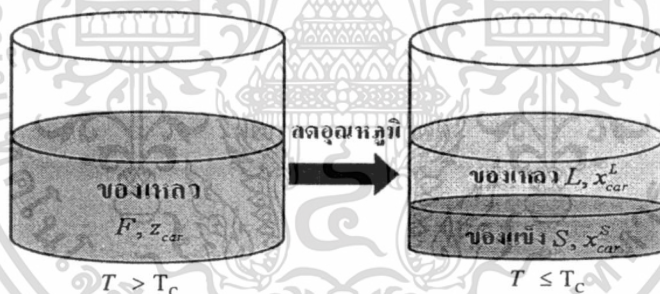
รูปที่ 2.10 กลไกการช่วยผสมยางผสมของคาร์ดานอล

แต่อย่างไรก็ตามน้ำมัน CNSL เป็นสารประกอบในสภาพของเหลวที่อุณหภูมิห้อง ทำให้ไม่สะดวกในการนำไปประยุกต์ใช้กับการผสมยางคอมพาวด์ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะศึกษาและพัฒนาสารเติมแต่งประเภทสารประกอบฟีนอลจากน้ำมัน CNSL สำหรับป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากออกซิเดชันให้อยู่ในรูปผลึกของแข็งที่เรียกว่า ไฮบริด (hybrid) ซึ่งจะได้สารเติมแต่งยางในลักษณะของ multi - functions ที่สามารถทำหน้าที่ทั้งการป้องกันการเสื่อมสภาพและยังสามารถทำหน้าที่เป็นสารช่วยผสมในขณะเดียวกัน ทำให้สะดวกและง่ายในการนำไปใช้ในกระบวนการผสมยาง แนวทางการพัฒนาสารเติมแต่งไฮบริดนี้ สามารถทำได้โดยการตกผลึกร่วมกับสารประกอบพาราฟินและไมโครคริสตัลไลน์แว็กซ์ เนื่องจากสารประกอบพาราฟินและไมโครคริสตัลไลน์แว็กซ์เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีโซ่กิ่งและโซ่ตรงในลักษณะไม่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน อีกทั้งยังมีเม็ดตบแต่งเนื้อหยา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่นเดียวกับโครงสร้างของคาร์ดานอลที่มีโซ่ตรงของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน จากลักษณะโครงสร้างที่คล้ายคลึงกันเช่นนี้ช่วยทำให้สามารถทำการตกผลึกร่วมได้โดยใช้พาราฟินและไมโครคริสตัลไลน์แวกซ์ โดยจะทำการศึกษาการตกผลึกร่วมที่จะทำให้ได้สัดส่วนของการผสมระหว่างแวกซ์กับน้ำมัน CNSL ที่ทำให้มีปริมาณของคาร์ดานอลผสมในปริมาณที่มากพอสำหรับการพัฒนาเป็นสารเติมแต่ง HA

2.4 กระบวนการตกผลึกร่วมระหว่างแวกซ์กับคาร์ดานอล

จากการศึกษาในเบื้องต้นของคณะผู้วิจัย [15,22] ที่ศึกษาเกี่ยวกับการตกผลึกระหว่างสารประกอบประเภทพาราฟินและไมโครคริสตัลไลน์แวกซ์ ซึ่งเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีโซ่กิ่งและโซ่ตรง ทำให้สามารถประยุกต์กับการแยกสารคาร์ดานอลออกจากน้ำมัน CNSL [13] เมื่อพิจารณาจากลักษณะโครงสร้างของคาร์ดานอลที่มีโซ่ตรงของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในลักษณะเช่นเดียวกับสารประกอบพาราฟินแวกซ์ โดยจากโครงสร้างทางโมเลกุลที่คล้ายคลึงกันนี้ทำให้สามารถทำการตกผลึกร่วมได้โดยใช้พาราฟินและไมโครคริสตัลไลน์แวกซ์ดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 การตกผลึกร่วมของแวกซ์กับน้ำมัน CNSL

โดยตัวห้อย car คือคาร์ดานอล T_c คืออุณหภูมิตกผลึก และ x_{car}^S, x_{car}^L คือ ปริมาณ (สัดส่วนโมล) ของคาร์ดานอลในเฟสของแข็งหรือของเหลวตามลำดับ จากของผสมแวกซ์กับน้ำมัน CNSL ในสถานะของเหลวที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิตกผลึก เมื่อลดอุณหภูมิให้ต่ำกว่าอุณหภูมิตกผลึกของผสมแวกซ์กับน้ำมัน CNSL จะเกิดการตกผลึกร่วมของแวกซ์กับคาร์ดานอล โดย x_{car}^S แสดงถึงปริมาณของคาร์ดานอลที่สามารถตกผลึกร่วมกับแวกซ์ได้ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากการคำนวณแบบแฟลช (flash calculation)[23] ภายใต้เงื่อนไขของสมดุลเฟสระหว่างของแข็งและของเหลว โดยเทอมที่แสดงถึงความสามารถในการเกิดการตกผลึกเป็นของแข็ง แสดงในเทอมของค่าคงที่สมดุลของแข็ง-ของเหลว (K^{SL}) ซึ่งเป็นอัตราส่วนของสัดส่วนโมลขององค์ประกอบที่เป็นของแข็งต่อสัดส่วนโมลขององค์ประกอบที่เหลืออยู่ในของเหลว ในงานวิจัยนี้จะพิจารณาค่าคงที่สมดุลของแข็ง-ของเหลวของคาร์ดานอล (K^{SL}) ตามสมการที่ (1)

$$K_{car}^{SL} = \frac{x_{car}^S}{x_{car}^L} \quad (1)$$

โดยตัวห้อย *car* คือคาร์บอนดอล และจากสมการที่ (1) ปริมาณ (สัดส่วนโมล) ของคาร์บอนดอลในเฟสของแข็ง (x_{car}^S) หรือของเหลว (x_{car}^L) สามารถวิเคราะห์ได้ด้วยเทคนิค GC-FID และในการศึกษาจะทำการเปรียบเทียบ K_{car}^{SL} ดังแสดงในสมการที่ (1) กับค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองอุณหพลศาสตร์ของสมดุลของแข็ง-ของเหลว[25-29] ซึ่งได้จากการเท่ากันของฟูกาซิตี (Fugacity) ของคาร์บอนดอลที่มีอยู่ในสารละลายผสมในเฟสของแข็งและของเหลว ดังแสดงในสมการที่ (2)

$$\hat{f}_{car}^S = \hat{f}_{car}^L \quad (2)$$

โดย $\hat{f}_{car}^S, \hat{f}_{car}^L$ คือฟูกาซิตีของคาร์บอนดอลในผลึกของแข็งและของเหลวที่ได้จากสารละลายผสมระหว่างแก๊ซกับน้ำมัน CNSL ปรับสภาพ ซึ่งสามารถแสดงได้ในลักษณะความสัมพันธ์ในเทอมของสัดส่วนโมล สัมประสิทธิ์ฟูกาซิตีมาตรฐาน สัมประสิทธิ์แอกติวิตี และค่า Poynting factor สำหรับเฟสของเหลวและของแข็งของคาร์บอนดอลแสดงได้ดังสมการที่ (3) และ (4) ตามลำดับ

$$\hat{f}_i^L = \gamma_i^L f_i^{0L} x_i^L \exp\left[\int \left(\frac{V_i^L}{RT}\right) dP\right] \quad (3)$$

$$\hat{f}_i^S = \gamma_i^S f_i^{0S} x_i^S \exp\left[\int \left(\frac{V_i^S}{RT}\right) dP\right] \quad (4)$$

เมื่อแทนค่าฟูกาซิตีจากสมการที่ (3) และ (4) ในสมการที่ (2) และจัดรูปสมการในเทอมของค่า K_{car}^{SL} แสดงได้ดังสมการที่ (5)

$$K_{car}^{SL} = \frac{x_{car}^S}{x_{car}^L} = \frac{\gamma_{car}^L f_{car}^{0L}}{\gamma_{car}^S f_{car}^{0S}} \exp\left[\int \frac{(V_{car}^L - V_{car}^S)}{RT} dP\right] \quad (5)$$

เนื่องจากทำการตกผลึกที่ความดันคงที่ 1 บรรยากาศทำให้สามารถละทิ้งเทอม Poynting factor ในสมการที่ (5) ได้

งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้การประมาณค่าอัตราส่วนของสัมประสิทธิ์แอกติวิตีและฟูกาซิตีมาตรฐานของคาร์บอนดอล จากผลการศึกษาการตกผลึกของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันดิบ ที่พัฒนาขึ้นโดย P. Leelavanichkul และคณะ[28] ที่สามารถทำนายการตกผลึกของเอทิลเบนซีนในน้ำมันดิบได้อย่างถูกต้อง เนื่องจากคาร์บอนดอลมีโครงสร้างของส่วนที่เป็นอะลิฟาติกไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนคาร์บอน 15 อะตอม เช่นเดียวกับสารประกอบพาราฟิน แสดงได้ดังสมการที่ (6) และ (7) ตามลำดับ

$$\frac{f_{car}^{OL}}{f_{car}^{OS}} = \exp \left[\frac{\Delta H_{car}^f}{RT} \left(1 - \frac{T}{T_{car}^f} \right) - \frac{1}{RT} \int_T^{T_{car}^f} (C_P^L - C_P^S) dT + \frac{1}{R} \int_T^{T_{car}^f} \frac{C_P^L - C_P^S}{T} dT \right] \quad (6)$$

$$\frac{\gamma_{car}^L}{\gamma_{car}^S} = \exp \left[\frac{V_{car}}{RT} \left((\delta_m^L - \delta_{car}^L)^2 - (\delta_m^S - \delta_{car}^S)^2 \right) \right] \quad (7)$$

โดยอัตราส่วนฟูกาซิตีของคาร์ดานอลในเฟสของเหลวต่อของแข็งในเทอมด้านซ้ายมือของสมการที่ (6) หาได้จากความสัมพันธ์ของสมบัติเชิงความร้อนของคาร์ดานอล เช่น เอนทัลปีและอุณหภูมิการหลอมเหลว และค่าความจุความร้อน เป็นคั่น และสำหรับอัตราส่วนของสัมประสิทธิ์แอกติวิตีของคาร์ดานอล ในเฟสของเหลวต่อของแข็งในเทอมด้านซ้ายมือของสมการที่ (7) ซึ่งใช้แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงสมบัติของคาร์ดานอลในลักษณะของสารละลายนั้น สามารถแสดงในเทอมของพารามิเตอร์การละลายของคาร์ดานอลในสารละลาย ที่เปลี่ยนแปลงในส่วนเฟสของเหลวและของแข็ง ตามลำดับ โดย δ_{car} คือ พารามิเตอร์การละลายของคาร์ดานอล และเมื่อแทนค่าสัมประสิทธิ์แอกติวิตีและอัตราส่วนฟูกาซิตี จากสมการที่ (6) และ (7) ลงในสมการที่ (5) สามารถจัดรูปสมการใหม่ได้ดังสมการที่ (8)

$$K_{car}^{SL} = \exp \left[\frac{\Delta H_{car}^f}{RT} \left(1 - \frac{T}{T_{car}^f} \right) - \frac{1}{RT} \int_T^{T_{car}^f} (C_P^L - C_P^S) dT + \frac{1}{R} \int_T^{T_{car}^f} \frac{C_P^L - C_P^S}{T} dT + \frac{V_{car}}{RT} \left((\delta_m^L - \delta_{car}^L)^2 - (\delta_m^S - \delta_{car}^S)^2 \right) \right] \quad (8)$$

ในเทอมของความแตกต่างของความร้อน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงเฟสจากของเหลวเป็นของแข็งของคาร์ดานอลสามารถประมาณได้ดังสมการที่ (9)

$$\Delta C_{Pcar} = C_{Pcar}^L - C_{Pcar}^S = aMW_{car} + bT \quad (9)$$

เมื่อ $a = 0.3033$ แคลลอรี่/(กรัม·เคลวิน)

$b = -4.635 \times 10^{-4}$ แคลลอรี่/(กรัม·เคลวิน²)

เมื่อทำการแทนที่เทอมของผลต่างของค่าความจุความร้อนในสมการที่ (8) ด้วยสมการที่ (9) แล้วทำการอินทิเกรตและจัดรูปสมการใหม่ได้ดังสมการที่ (10)
 เอกสารนี้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นเอกสารอ้างอิงเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$K_{car}^{SL} = \exp \left[\frac{\Delta H_{car}^f}{RT} \left(1 - \frac{T}{T_{car}^f} \right) - \frac{bMW_{car}}{RT} \left(\frac{(T_{car}^f)^2}{T} + T - 2T_{car}^f \right) + \frac{V_{car}}{RT} \left((\delta_m^L - \delta_{car}^L)^2 - (\delta_m^S - \delta_{car}^S)^2 \right) \right] \quad (10)$$

จากสมการที่ (10) พบว่าสามารถประมาณค่าคงที่ของสมมูลของแข็ง-ของเหลวของคาร์ดานอล ที่มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิในการตกผลึกร่วมระหว่างแร็กซ์กับคาร์ดานอลได้ ซึ่งจากสมการจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าค่าคงที่ของสมมูลมีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับอุณหภูมิการตกผลึกร่วม โดยที่พารามิเตอร์อื่นที่ปรากฏอยู่ในสมการ สามารถหาได้จากการวัดด้วยเครื่องมือวัดสมบัติของวัสดุเชิงความร้อน เช่น ค่า ΔH_{car}^f และ T_{car}^f คือ ค่าเอนทาลปีของการหลอมเหลวและอุณหภูมิการหลอมเหลวของคาร์ดานอลสามารถวัดค่าได้ด้วยเทคนิค DSC และสำหรับค่าพารามิเตอร์การละลายในสมการที่ (10) ขององค์ประกอบที่เป็นแร็กซ์และสารประกอบอนุพันธ์ของฟีนอล สามารถประมาณได้จากผลการศึกษาของ P. Leelavanichkul และคณะ [28]

$$\delta_{wax}^L = 8.6 - \exp(2.219195 - 0.54907MW_{wax}^{0.3}) \quad (11)$$

$$\delta_{car}^L = 8.8 - \exp(2.219195 - 0.54907MW_{car}^{0.3}) \quad (12)$$

และพารามิเตอร์การละลายในเฟสของของแข็งและของผสมของแต่ละองค์ประกอบประมาณได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\delta_i^S = \left[\frac{\Delta H_i^f}{V_i} + \delta_i^{L2} \right]^{0.5} \quad (13)$$

$$\delta_m^L = \sum \phi_i^L \delta_i^L \quad \text{และ} \quad \delta_m^S = \sum \phi_i^S \delta_i^S \quad (14)$$

$$\phi_i^L = x_i^L V_i^L (\sum x_i^L V_i^L)^{-1} \quad (15)$$

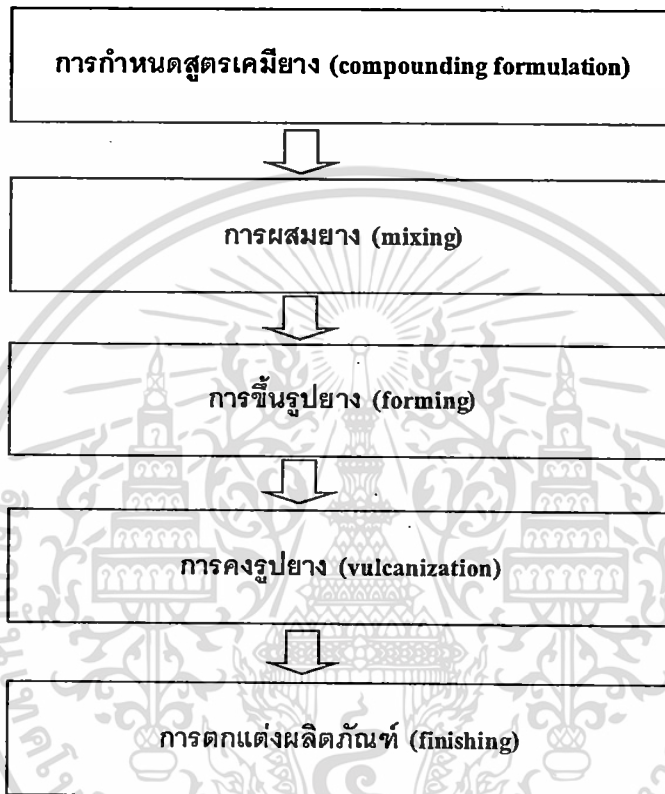
$$\phi_i^S = x_i^S V_i^S (\sum x_i^S V_i^S)^{-1} \quad (16)$$

จากสมการที่ (15) และ (16) สามารถที่จะหาสัดส่วน โมลของเฟสของเหลวและของแข็งได้ โดยการทำให้ flash calculation ดังสมการที่ (17) เป็นการหาสมมูลมวลรวมและสมการที่ (18) เป็นการหาสมมูลองค์ประกอบในส่วนของคาร์ดานอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ยาง[10]

จากสารเติมแต่ง HA ที่เตรียมได้จากกระบวนการตกผลึกร่วมมาศึกษาความสามารถในการป้องกันการเสื่อมสภาพในยาง NR และสำหรับการช่วยผสมในยางผสมระหว่างยาง NR และยาง EPDM โดยกระบวนการเตรียมตัวอย่างยางสำหรับทดสอบความต้านทานต่อการเสื่อมสภาพนั้น สามารถแสดงเป็นขั้นตอนหลักๆ ได้เป็น 5 ขั้นตอน ดังแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ยาง

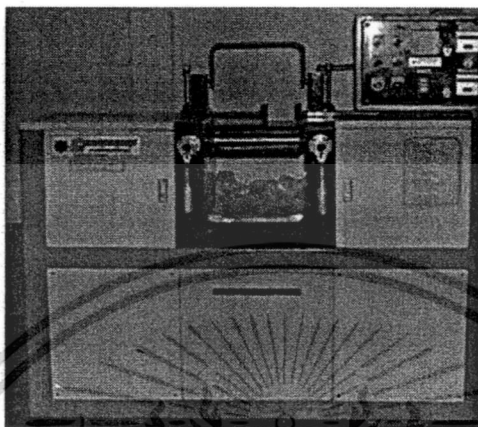
2.5.1 การกำหนดสูตรเคมียาง

การกำหนดสูตรยางเป็นขั้นตอนแรกที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อสมบัติหรือคุณภาพของผลิตภัณฑ์ยาง เพื่อที่กำหนดชนิดของสารเคมีซึ่งมีหน้าที่ต่างๆ กัน ให้มีปริมาณที่เหมาะสมสำหรับผสมในยาง โดยสูตรยางที่ใช้ในการศึกษาเป็นสูตรทั่วไปที่ใช้ในเชิงพาณิชย์และเป็นการทำให้ยางคงรูปด้วยกำมะถัน ใช้ DPG และ CBS เป็นตัวเร่ง และมีซิงค์ออกไซด์และกรดสเตียริกทำหน้าที่เป็นสารกระตุ้น

2.5.2 การผสมยาง

หลังจากออกสูตรยางแล้ว ขั้นตอนต่อมาคือการผสมยางโดยมีจุดประสงค์สำคัญเพื่อให้สารเคมีชนิดต่างๆ โดยเฉพาะสารตัวเติมแตกตัวได้ดี (dispersive mixing) และกระจายตัวได้อย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งเนื้อยาง (distributive mixing) ซึ่งการแตกตัวที่ดีทำให้ผลิตภัณฑ์ยางที่ได้มีคุณภาพไม่แวกรวมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้กดแปลงเนื้อยาง และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดี โดยเครื่องผสมยางที่ใช้โดยทั่วไปมีหลายชนิดแต่ที่ใช้ในการผสมสารเคมีในการศึกษานี้ ใช้เครื่องผสมแบบ 2 ลูกกลิ้ง (two-roll mill) ซึ่งเป็นเครื่องผสมยางที่นิยมใช้กันทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรม โดยส่วนประกอบและลักษณะการทำงานของเครื่องผสมแบบ 2 ลูกกลิ้ง แสดงได้ในรูปที่ 2.13

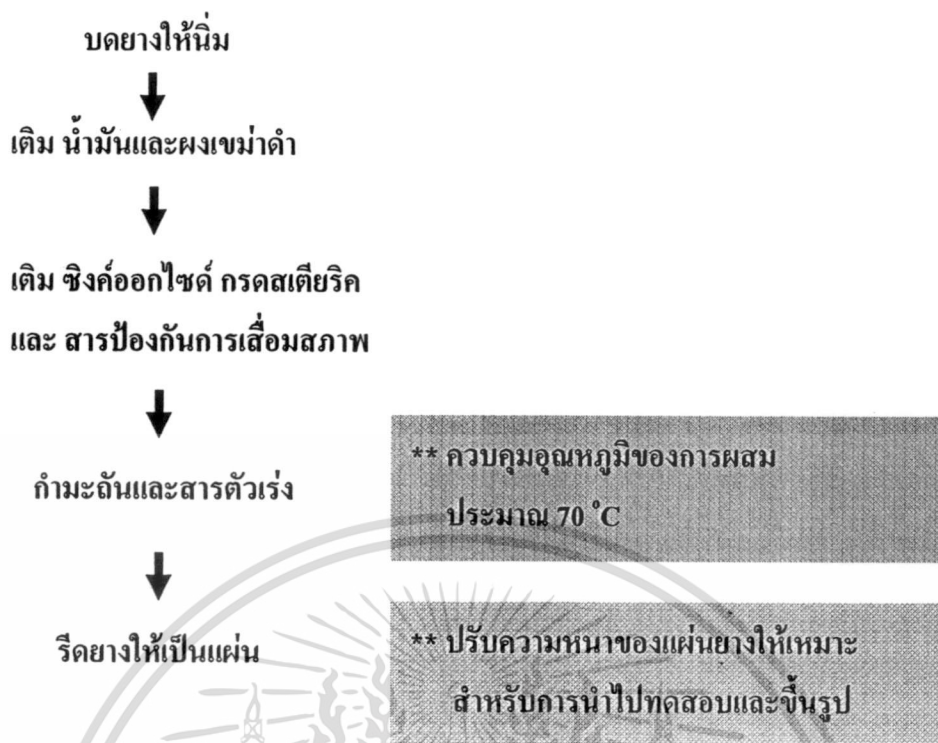


รูปที่ 2.13 ส่วนประกอบและลักษณะการทำงานของเครื่องผสมแบบ 2 ลูกกลิ้ง[10]

จากรูปลูกกลิ้ง 2 ลูกจะหมุนเข้าหากัน แต่อัตราเร็วของการหมุนของลูกกลิ้งแต่ละลูกจะหมุนแตกต่างกัน คือลูกกลิ้งด้านหน้า (ด้านที่ติดกับผู้ปฏิบัติงาน) หมุนด้วยอัตราเร็วที่ต่ำกว่าลูกกลิ้งด้านหลังประมาณ 1.05 ถึง 1.20 เท่า ซึ่งอัตราส่วนของความเร็วของลูกกลิ้งนี้ (1:1.05 หรือ 1:1.20) เรียกว่า friction ratio การที่ลูกกลิ้งทั้ง 2 ลูกหมุนด้วยอัตราเร็วที่ต่างกันทำให้เกิดแรงเฉือนขึ้นในบริเวณช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งทั้งสอง นอกจากนี้ ภายในบริเวณด้านในของลูกกลิ้งแต่ละลูกมีการเจาะรูให้เป็นช่องหรือโพรงสำหรับให้ของเหลว (เช่น น้ำ หรือน้ำมัน) ไหลผ่าน เพื่อให้ความร้อนหรือระบายความร้อนที่เกิดขึ้นจากการขัดสี (frictional heat)

ในขั้นตอนการบดผสม (mixing step) ยางให้มีประสิทธิภาพและบดยางให้มีความสม่ำเสมอ นั้น ลำดับขั้นตอนการเติมสารเคมีต่างๆ ต้องเป็นไปตามขั้นตอนอย่างถูกต้อง หลักการโดยทั่วไปคือ หลังจากการบดยางให้ نرم ก็จะมีการเติมสารที่บดให้กระจายในเนื้อยางได้ยากก่อนเช่น ซิงค์ออกไซด์ กรดสเตียริก ผงเขม่าดำ เพราะช่วงนี้อุณหภูมิในการบดยังต่ำ และยางมีความหนืดสูง แรงกระทำเชิงกลจึงมีมาก จากนั้นจึงเติมสารตัวเติมที่ไม่เสริมแรง สารอื่นๆ และน้ำมัน สารที่แนะนำให้เติมลำดับสุดท้าย คือ สารตัวเร่ง กำมะถัน และสารป้องกันยางตาย (scorch) ยางที่ได้หลังจากที่ผสมสารเคมีต่างๆ เรียบร้อยแล้วจะเรียกว่า ยางคอมปาวด์ รูปที่ 2.14 แสดงลำดับของการบดผสมโดยทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 ลำดับการผสมยาง

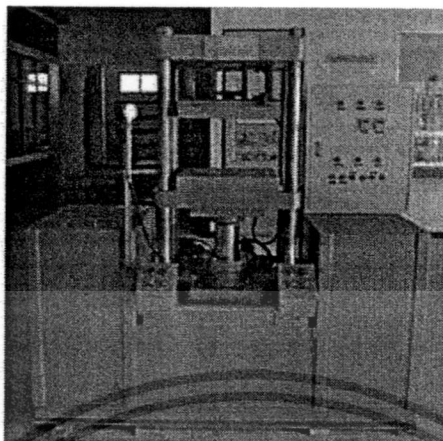
2.5.3 การขึ้นรูปยาง

จากยางที่ผสมสารเคมีหรือยางคอมปาวด์ที่ได้ มาทำการขึ้นรูปซึ่งกระบวนการขึ้นรูปเป็นขั้นตอนที่สำคัญในกระบวนการผลิตยางที่มีรูปร่างต่างๆ ตามต้องการก่อนที่จะนำไปคงรูปต่อไป โดยทั่วไป การขึ้นรูปยางคอมปาวด์ให้เป็นผลิตภัณฑ์สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 เทคนิคใหญ่ๆ ได้แก่ การใช้แม่พิมพ์ (moulding) การอัดรีด (extrusion) และการใช้เครื่องรีดแบบหลายลูกกลิ้งหรือที่เรียกว่า เครื่องคาลเ็นเดอร์ (calendar)

สำหรับในงานวิจัยนี้ ทำการขึ้นรูปยางโดยใช้แม่พิมพ์แบบกดอัด (compression moulding) การขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์แบบกดอัดเป็นการขึ้นรูปยางพร้อมๆ กับการคงรูป โดยอาศัยความร้อนและแรงอัด การขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์เป็นวิธีการที่ใช้กันมากในการขึ้นรูปยางโอริง ประเก็น ยางรองแท่นเครื่อง พื้นรองเท้า หรือแม้แต่ยางล้อรถยนต์ เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่ายและไม่ต้องลงทุนทางด้านเครื่องจักรสูง เพราะทั้งเครื่องกดอัดและแม่พิมพ์มีราคาไม่สูงมากนัก เครื่องกดอัดที่นิยมใช้ ได้แก่ เครื่องกดอัดระบบไฮดรอลิกดังแสดงในรูปที่ 2.15 จากรูปจะเห็นว่าเครื่องกดอัดประกอบด้วยแผ่นกดอัด (platen) จำนวนแผ่น (บน-ล่าง) หรือในบางกรณีอาจมีมากกว่า 2 แผ่น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกรออกแบบเครื่องกดอัดให้เหมาะกับการขึ้นรูป แผ่นกดอัดจะทำหน้าที่เลื่อนขึ้นลงด้วยระบบไฮดรอลิกเพื่ออัดและส่งผ่านแรงดันไปสู่แม่พิมพ์ที่อยู่ตรงกลางระหว่างแผ่นกดอัดทั้งสอง นอกจากเครื่องกดอัดจะต้องได้รับการออกแบบให้มีแรงอัดที่สูงเพียงพอสำหรับการใช้งาน

แล้ว ยังต้องได้รับการออกแบบให้ความร้อนและควบคุมอุณหภูมิของแผ่นกดอัดให้คงที่ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างการใช้งานอีกด้วย โดยทั่วไป แหล่งให้ความร้อนแก่แผ่นกดอัด ได้แก่ ใอน้ำ น้ำมันร้อน หรือไฟฟ้า เป็นต้น

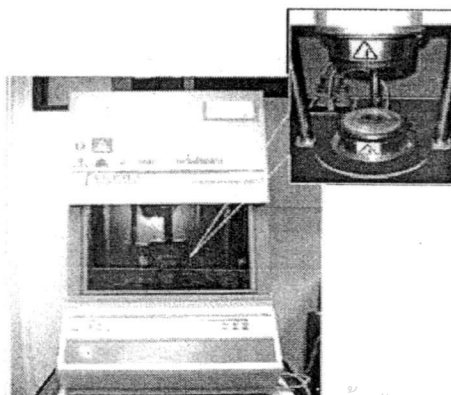


รูปที่ 2.15 เครื่องกดอัดระบบไฮดรอลิก

2.5.4 การคงรูปยาง[10]

การทำให้ยางคงรูปหรือทำให้ยางสุก คือการทำให้ยางเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงระหว่าง สายโมเลกุลหรือที่เรียกกันว่า ปฏิกิริยาวัลคาไนเซชัน เกิดเป็นโครงสร้างตาข่าย 3 มิติ ส่งผลให้ยางเกิดการเปลี่ยนแปลงจากอ่อนข้างอ่อน (มีความเป็นพลาสติกสูง) ไปเป็นยางที่มีความยืดหยุ่นดีและแข็งแรง มีสมบัติเชิงกลที่เสถียรและไม่ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมากนัก และทำให้ยางมีความต้านทานต่อการเสื่อมสภาพได้ดียิ่งขึ้น จึงสามารถนำยางไปใช้ได้อย่างกว้างขวาง ปฏิกิริยาวัลคาไนเซชันต้องอาศัยสารเคมีในกลุ่มที่ทำให้ยางคงรูป (vulcanizing or curing agents) และความร้อนเพื่อให้สารดังกล่าวสามารถเกิดปฏิกิริยาได้

ในการทดสอบปฏิกิริยาการคงรูป (vulcanization test) หลังจากกระบวนการผสมยางกับสารเคมี ยางคอมปาวด์ที่ได้จะต้องนำไปทดสอบลักษณะการคงรูป ก่อนทุกครั้งเพื่อวิเคราะห์ระยะเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาการคงรูป (t_{90}) ที่เหมาะสมของยาง เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบลักษณะการคงรูปของยาง ได้แก่ oscillating disc rheometer (ODR) ดังแสดงในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 เครื่อง oscillating disc rheometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีมติเห็นชอบให้เผยแพร่เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 สมบัติและการทดสอบสมบัติของผลิตภัณฑ์ยาง[10,11]

ในการนำยางไปใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ใดๆ นั้น จำเป็นต้องมีความรู้เกี่ยวกับสมบัติพื้นฐานของยางรวมถึงวิธีการทดสอบสมบัติเหล่านี้ด้วย เพราะสมบัติพื้นฐานบางอย่างของยาง เช่น ความแข็งและความต้านทานต่อแรงดึง มักถูกนำไปใช้ในการควบคุมคุณภาพของสินค้า นอกจากนี้ แล้วการเปลี่ยนแปลงของสมบัติดังกล่าวเนื่องจากการเสื่อมสภาพในระหว่างการใช้งาน จะส่งผลต่ออายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ยางที่ภาวะต่างๆ ดังนั้นในการศึกษาความสามารถในการป้องกันการเสื่อมสภาพของผลิตภัณฑ์ยาง สามารถวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการป้องกันการเสื่อมสภาพได้จากการเปลี่ยนแปลงของสมบัติเชิงกลของผลิตภัณฑ์ยางก่อนและการอบเร่งด้วยภาวะ ซึ่งจะช่วยในการพิจารณาถึงประสิทธิภาพในการป้องกันการเสื่อมสภาพของยางผสมสูตรต่างๆ ได้

2.6.1 ความแข็ง (hardness)

ความแข็ง หมายถึงความต้านทานของพื้นผิวต่อการทะลุทะลวงของตัวกด (indenter) ที่มีขนาดเฉพาะและภายใต้แรงกดที่กำหนด เครื่องวัดความแข็งของยางมีหลายชนิดแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวกดและแรงที่ใช้กดลงบนพื้นผิว สเกลที่ใช้วัดจะเริ่มตั้งแต่ศูนย์ (สำหรับยางที่อ่อนมากๆ) จนถึง 100 (สำหรับยางที่แข็งมาก) แรงที่ใช้กดอาจมาจากน้ำหนักที่คงที่หรืออาจใช้สปริงแทนก็ได้ หน่วยที่ใช้สำหรับวัดความแข็งของยางมีอยู่ 2 หน่วย คือ IRHD (international rubber hardness degree) และชอร์ (shore unit) ซึ่งการวัดความแข็งในหน่วย IRHD นั้นจะใช้ลูกกลมแข็ง (rigid ball) แทนตัวกดและแรงกดมาจากน้ำหนักที่คงที่ ส่วนเครื่องวัดความแข็งที่ใช้หน่วยชอร์นั้นเรียกว่าเครื่องคูโรมิเตอร์ (durometer) ซึ่งมีหลายแบบ แต่ที่นิยมใช้กันมากที่สุดมีอยู่ 2 แบบ คือแบบชอร์เอ (shore A) และแบบชอร์ดี (shore D)

2.6.2 สมบัติแรงดึง (tensile properties)

สมบัติแรงดึง ได้แก่ ความต้านทานแรงดึง (tensile strength) ระยะการยืดที่จุดขาด (elongation at break) และ โมดูลัส (modulus) ซึ่งสมบัติต่างๆ เหล่านี้สามารถวัดได้โดยการเตรียมชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นรูปเป็นแผ่นมีความหนาประมาณ 2 มม. จากนั้นนำแผ่นยางตัดด้วยเครื่องตัดตัวอย่างให้เป็นรูปมาตรฐานคัมเบลล์ (dumbbell) นำตัวอย่างยางได้จะถูกดึงด้วยอัตราการดึงคงที่ (constant crosshead speed) ด้วยเครื่องทดสอบที่เรียกว่า universal testing machine

2.6.3 ความต้านทานการฉีกขาด (tear strength)

ค่าความต้านทานการฉีกขาดคือ แรงที่มากที่สุดต่อหนึ่งหน่วยความหนาที่ต้องใช้ในการฉีกชิ้นตัวอย่างออกเป็น 2 ส่วน มีหน่วยเป็นนิวตันต่อมิลลิเมตร ความต้านทานการฉีกขาดจะขึ้นอยู่กับระดับของการเชื่อมโยงยางที่ได้รับการคงรูปที่อุณหภูมิค่าและใช้ระยะเวลาใน

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคงรูปน้อยจะมีค่าความต้านทานการฉีกขาดสูง การทดสอบสมบัติการต้านทานการฉีกขาดของยางสามารถทำได้โดยการวัดแรงดึงสูงสุดที่ทำให้ฉีกขาดออกจากกัน ซึ่งลักษณะการทดสอบคล้ายคลึงกับการทดสอบสมบัติแรงดึงคือจะดึงฉีกขาดด้วยด้วยเครื่อง universal testing machine ที่อัตราของการดึงตามที่ระบุไว้ตามมาตรฐาน อย่างไรก็ตามการทดสอบความต้านทานการฉีกขาดจะแตกต่างจากการทดสอบความต้านทานแรงดึงตรงที่รูปร่างของฉีกขาด

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการทำงานวิจัยคณะผู้วิจัยได้ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ซึ่งได้แก่ การศึกษากระบวนการแยกพาราฟินแว็กซ์กับไมโครคริสตัลไลน์แว็กซ์ การใช้แว็กซ์ในการป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากโอโซน กระบวนการแยกคาร์บอนออกจากน้ำมัน CNSL งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการใช้คาร์บอนอลเป็นสารป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากการออกซิเดชันในยาง NR และงานวิจัยที่เกี่ยวกับการปรับปรุงความสามารถในการละลายเข้ากันของยางผสม โดยใช้สารช่วยผสม ซึ่งแสดงได้ดังต่อไปนี้

ประพนธ์ และคณะ[22] ได้ศึกษาการละลายของพาราฟินแว็กซ์ในตัวทำละลายโทลูอีน ซึ่งสัมพันธ์กับอุณหภูมิการละลายและคุณสมบัติเชิงความร้อนของแว็กซ์ เช่น อุณหภูมิของการหลอมเหลวของแว็กซ์ ค่าความร้อนของการหลอมเหลวของแว็กซ์ รวมทั้งนำเสนอการทำนายค่าการละลายของพาราฟินแว็กซ์ในตัวทำละลายโทลูอีน โดยประยุกต์ใช้สมการแวนเดอร์วาลส์ร่วมกับกฎการผสม เพื่อคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์แอกติวิตีของระบบระหว่างพาราฟินแว็กซ์กับตัวทำละลายโทลูอีน พบว่าสามารถแยกพาราฟินแว็กซ์กับไมโครคริสตัลไลน์แว็กซ์ได้ ทำให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมยางได้

เสรษฐกร และคณะ[15] ได้ทำการศึกษาต่อจากประพนธ์ และคณะ[22] เพื่อนำแว็กซ์มาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมยางในส่วนของการป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากโอโซน โดยทำการทดลองตกผลึกพาราฟินแว็กซ์กับไมโครคริสตัลไลน์แว็กซ์ให้ได้เป็นสารประกอบในสภาพของแข็ง การเตรียมตัวอย่างแว็กซ์ทำได้โดยการหลอมแว็กซ์ผสมด้วยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 140 °C เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นตกผลึกแว็กซ์ผสม นำแว็กซ์ผสมที่ได้มาทดสอบสมบัติทางกายภาพ เพื่อใช้ในการป้องกันการเสื่อมสภาพของยางธรรมชาติเนื่องจากโอโซน จากการศึกษาพบว่าการผสมระหว่างพาราฟินแว็กซ์กับไมโครคริสตัลไลน์แว็กซ์ที่อัตราส่วน 40 และ 50 โดยน้ำหนักของไมโครคริสตัลไลน์แว็กซ์ ทำให้ได้สัดส่วนการตกผลึกแว็กซ์ร่วมระหว่างพาราฟินแว็กซ์กับไมโครคริสตัลไลน์แว็กซ์ที่เหมาะสม สามารถทำให้ยางธรรมชาติมีความสามารถในการป้องกันโอโซนได้ดีขึ้น และจากการศึกษายังสามารถทำนายความหนาของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั้นแว็กซ์ที่ออกมาเคลือบที่ผิวของผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติได้ พร้อมกับใช้อธิบายความสามารถของแว็กซ์ผสมในการป้องกันโอโซนได้อีกด้วย

Rodrigues และคณะ[7] ได้ทำการศึกษาจนผลศาสตร์ของการเสื่อมสภาพของ *cis*-1,4- polyisoprene ที่อุณหภูมิคงที่ เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยใช้น้ำมัน CNSL และอนุพันธ์ของน้ำมัน CNSL ได้แก่ cardanol, hydrogenated cardanol และ alkylated hydrogenated cardanol เป็นสารป้องกันการเสื่อมสภาพ เนื่องจากการออกซิเดชันและนำตัวอย่างมาศึกษาด้วย FTIR ซึ่งการเสื่อมสภาพเนื่องจากการออกซิเดชันสามารถวิเคราะห์ได้จากจำนวนของ OH/OOH C = O และ C = C ที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

Menon และคณะ[8] ได้ศึกษาการปรับปรุงสมบัติเชิงกลกายภาพและลักษณะของกระบวนการผลิตโดยใช้น้ำมัน CNSL และน้ำมัน CNSL ฟอว์มาดีไฮด์ (CNSLF) เรซิน โดยทำการศึกษาสมบัติเชิงกลกายภาพและลักษณะของกระบวนการผลิตของยาง NR ในระหว่างกระบวนการผสม ในการศึกษาจะทำการปรับเปลี่ยนปริมาณของน้ำมัน CNSL และ น้ำมัน CNSLF ในช่วง 5-15 phr ซึ่งจากการศึกษาผลของพลาสติกไซเซอร์พบว่า melt viscosity และ power consumption ในระหว่างการผสมด้วยเครื่องแบนบูรี (banbury) มีค่าที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับ NR ที่ไม่ได้ผสมน้ำมัน CNSL และ น้ำมัน CNSL แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาความหนาแน่นของการเชื่อมโยงพบว่ามีค่าลดลง ในกรณีการผสมน้ำมัน CNSL ในปริมาณเท่ากับ 5 phr และน้ำมัน CNSLF ในช่วง 5-15 phr พบว่าส่งผลให้ความต้านทานแรงดึง ความต้านทานการฉีกขาดและระยะการยืดที่จุดขาดมีค่าเพิ่มขึ้น

บัณฑิตย์ และคณะ[20] ได้ศึกษาการแยกสารประกอบฟีนอลในผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากการแตกตัวด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 500 °C ของน้ำมันจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ โดยการนำของเหลวที่ได้ไปกลั่นให้บริสุทธิ์จนแยกออกเป็นชั้นของน้ำมันและชั้นน้ำ จากนั้นทำการสกัดสารประกอบฟีนอลออกจากชั้นของน้ำมันด้วยตัวทำละลายเมทานอลน้ำในอัตราส่วน 80:20 โดยปริมาตร วิเคราะห์หาปริมาณของสารประกอบฟีนอลในผลิตภัณฑ์โดยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูงแบบกลับเฟส (RP-HPLC) โดยใช้ UV ดีเทคเตอร์ทำการตรวจวัดที่ความยาวคลื่นแสง 270 นาโนเมตร และเปรียบเทียบโครมาโทกราฟีของสารตัวอย่างกับสารละลายมาตรฐานฟีนอล ผลจากการทดลอง พบว่าสามารถทำการแยกสารประกอบฟีนอลได้ในเฟสสกัด 1 มิลลิตร เป็นร้อยละ 88 โดยน้ำหนัก

Kumar และคณะ[3] ได้ทำการศึกษากระบวนการแยกเอาน้ำมัน CNSL ออกจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ซึ่งโดยทั่วไปนั้นการแยกน้ำมัน CNSL ออกจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์สามารถทำได้ 2 วิธี คือ solvent - extracted CNSL และ technical CNSL ในการศึกษาพบว่าวิธี technical CNSL ให้ปริมาณของคาร์ดานอลร้อยละ 80 โดยน้ำหนัก ส่วนในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีของวิธี solvent- extracted CNSL การสกัดแยกคาร์ดานอลด้วยเฮกเซนสามารถที่จะแยกคาร์ดานอลได้ร้อยละ 65 โดยน้ำหนัก

Leelavanichkul และคณะ[28] ได้ศึกษาอุณหภูมิศาสตร์เพื่อการสร้างแบบจำลองที่สามารถทำนายภาวะที่ทำให้เกิดการตกตะกอนและปริมาณของตะกอนของแข็งที่เกิดขึ้นของแว็กซ์และแอสฟัลท์ ในการศึกษาดังกล่าวให้ความสำคัญกับเทคนิคการวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันดิบและการสร้างแบบจำลองของการตกตะกอนของแข็งในน้ำมันดิบใช้ทฤษฎีของสารละลายปกติ เพื่อทำให้แบบจำลองอุณหภูมิศาสตร์มีความถูกต้องในการอธิบายการตกตะกอนของแว็กซ์และแอสฟัลท์ที่ภาวะต่างๆ โดยข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองสามารถวิเคราะห์ได้ด้วยเทคนิคต่างๆ เช่น การกลั่นแบบ TBP การสกัดด้วยตัวทำละลาย HPLC, HTGC SEC และ RI นอกจากนี้ การใช้แบบจำลองเพื่ออธิบายการตกตะกอนของแข็งนั้นจะนำเสนอการตกตะกอนของแข็งเนื่องจากการเติมนอร์มอลอัลเคนลงในน้ำมันดิบอีกด้วย ซึ่งจากการเปรียบเทียบแบบจำลองกับผลการทดลอง พบว่ามีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกัน

Irena และคณะ[29] การศึกษาพฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงเฟสของนอร์มัลอัลเคนคือ $C_{16}H_{34}$, $C_{28}H_{58}$ และ $C_{41}H_{84}$ โดยใช้เครื่อง differential scanning calorimeter (DSC) ระบบที่ศึกษาเป็นระบบสองและสามองค์ประกอบ ผลการวิเคราะห์ที่ได้จากเครื่อง DSC จะถูกใช้ในการศึกษาสมดุลเฟสของเหลว-ของแข็งของของผสมนอร์มัลอัลเคน ซึ่งข้อมูลจากผลการวิเคราะห์จะแสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมของการเกิดยูเทคติกและทำการเปรียบเทียบผลกับการทำนายโดยใช้แบบจำลองสมดุลยูเทคติก ซึ่งจากผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิยูเทคติกที่ได้จากแบบจำลองสมดุลยูเทคติกกับการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DSC พบว่าแบบจำลองสามารถทำนายได้อย่างถูกต้อง

Arayapranece และคณะ[16] ได้ศึกษาการปรับปรุงสมบัติการป้องกันการเสื่อมสภาพของยางธรรมชาติด้วยการผสมกับยาง EPDM โดยใช้ methyl methacrylate-butadiene-styrene (MBS) เป็นสารช่วยผสมในปริมาณ 0 ถึง 15 phr ในการปรับปรุงสมบัติของยางผสม จากการศึกษาสมบัติเชิงกลของยางผสมที่สัดส่วนของยาง NR ร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก พบว่าการเพิ่มปริมาณของ MBS ช่วยทำให้สมบัติเชิงกลของยางผสมดีขึ้น

Go และคณะ[17] ศึกษาผลของสารช่วยผสมต่อสมบัติของยางผสมระหว่าง EPDM กับ BR ที่สัดส่วนของยาง EPDM ร้อยละ 75 โดยน้ำหนัก โดยสารช่วยผสมที่ใช้คือ AAHR (ของผสมระหว่างอะลิฟาติกและอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนเรซิน) ในปริมาณ 10 phr จากการศึกษาสัณฐานวิทยาของยางผสมโดยใช้เทคนิค TEM พบว่า ยางผสม EPDM กับ BR ที่ไม่เติม AAHR ไม่สามารถละลายเข้ากันได้โดยสังเกตเห็นโครงสร้างของยางผสมมีลักษณะเป็นแบบที่ยางตัวหนึ่งกระจายอยู่ในยางอีกตัวหนึ่ง สำหรับยางผสม EPDM กับ BR ที่เติม AAHR พบว่าโครงสร้างของยางผสมทั้งสองมีการกระจายอยู่ร่วมกันในแต่ละส่วนที่เชื่อมถึงกัน

ชัชวาลย์ และคณะ[18] ศึกษาอิทธิพลของสารช่วยผสมต่อสมบัติการไหล ความหนาแน่นของพันธะข้ามและสมบัติเชิงกลของยางผสมระหว่างยาง NR กับยาง NBR โดยใช้สารช่วยผสมเป็นไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยางคลอโรพรีนและยางธรรมชาติอีพ็อกซิไดซ์ ในปริมาณ 0 ถึง 7 phr ที่สัดส่วนของยาง NR ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก จากผลการทดลองพบว่าการเติมสารช่วยผสมยางคลอโรพรีนและยางธรรมชาติอีพ็อกซิไดซ์ ทำให้ค่าความหนืดของยางผสมเพิ่มขึ้นและจากศึกษาโครงสร้างจุลภาค โดยใช้ SEM เพื่อตรวจสอบความในการเข้ากันได้ของยางผสม พบว่าการผสมสารช่วยผสมใน ปริมาณ 5 phr ทำให้โครงสร้างของยางผสมมีการยึดเกาะระหว่างเฟสที่ดี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

3.1. สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ จากบริษัท มาบุญครอง ศิริชัย 25 จำกัด
- 3- Pentadecylphenol จากบริษัท Sigma-Aldrich
- ยางธรรมชาติ (STR 5L) จากบริษัท อุตสาหกรรมน้ำยางยะลา จำกัด
- EPDM (Nordel 4640) จากบริษัท Dupont dow elastomers
- ผงเขม่าดำเกรด N330 (carbon black N330) จากบริษัท ไทยคาร์บอนโปรดักท์ จำกัด
- น้ำมันอะโรมาติก (aromatic oil) จากบริษัท ยูเนียนลิงค์ จำกัด
- พาราฟินแว็กซ์ จากบริษัท เคมีมิน จำกัด
- Wingstay-L จากบริษัท Eliokem
- ซิงค์ออกไซด์ (zinc oxide : ZnO) จากบริษัท อีเนรีโปรดักท์ จำกัด
- แคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate : CaCO₃) จากบริษัท โพลีเมอร์อินโนเวชั่น จำกัด
- กรดสเตียริก (stearic acid) จากบริษัท อีเนรีโปรดักท์ จำกัด
- ไดฟีนีลแกวนิดีน (diphenyl guanidine : DPG) บริษัท ซีออน แอดวานซ์ โพลีเม็กซ์ จำกัด
- ไซโคลเฮกซิลเบนโซไทอะซอล-2-ซัลโฟนามิด (N - Cyclohexyl -2-benzothiazyl-sulfonamide : CBS) จากบริษัท คาลดิก จำกัด
- กำมะถัน (sulfur) จากบริษัท เคมีมิน จำกัด

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- GC-MS โดย GC จากบริษัท Perichrom รุ่น PR2100 GC และ MS จากบริษัท Agilent Technologies รุ่น 5973 Inert Mass Selective Detector
- เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (differential scanning calorimeter : DSC) จากบริษัท Mettler Toledo รุ่น Mettler Toledo DSC822^c
- เครื่องผสมแบบเปิดชนิดสองลูกกลิ้ง (two - roll mill)
- เครื่องอัดขึ้นรูปด้วยแผ่นร้อน (compression molding machine) จากบริษัท LAB TECH รุ่น LP20

เอกสารนี้เป็นข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับวิธีการทดลองที่ใช้ในการศึกษาวิจัยด้านการศึกษา
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กล้องวิดีโอบันทึกภาพพร้อมเลนส์กำลังขยายสูง (microscope lens) จากบริษัท Sony Technology รุ่น SSC-D398P
- ตู้อบแห้งด้วยความร้อน (oven) จากบริษัท GOTECH รุ่น GT-7017
- เครื่องทดสอบสมบัติแรงดึงและความต้านทานการฉีกขาด จากบริษัท Instron รุ่น 1011

3.3 วิธีการทดลอง

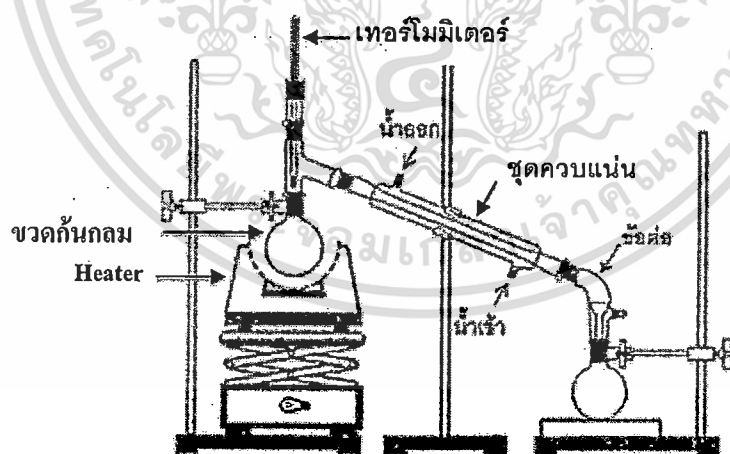
3.3.1 การวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนอลในน้ำมัน CNSL ด้วยเทคนิค GC-MS

1. การเตรียมตัวอย่าง

1.1 การเตรียม calibration curve ของสารมาตรฐานคาร์บอนอล โดยชั่ง 3-pentadecylphenol จำนวน 1 กรัม นำมาเตรียมให้ได้สารละลายปริมาตร 100 ซม.³ ใน hexane หลังจากนั้นเตรียมสารละลายให้มีความเข้มข้น 0.01-1 มก./ซม.³

1.2 การปรับสภาพน้ำมัน CNSL ด้วยปฏิกิริยาคาร์บอกซิเลชันที่อุณหภูมิ 160 °C ทำโดยชั่งตัวอย่างน้ำมัน CNSL น้ำหนักประมาณ 400 กรัม ใส่ในขวดก้นกลมขนาด 500 ซม.³ ทำปฏิกิริยาเป็นระยะเวลา 30 และ 60 นาที ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 3.1

1.3 การเตรียมตัวอย่างน้ำมัน CNSL ไม่ปรับสภาพและปรับสภาพเป็นระยะเวลา 30 และ 60 นาที เพื่อวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนอลในน้ำมัน CNSL ด้วยเทคนิค GC-MS โดยการชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 0.017 กรัม เตรียมให้ได้สารละลายปริมาตร 100 ซม.³ ใน hexane



รูปที่ 3.1 ชุดอุปกรณ์สำหรับการทำปฏิกิริยาคาร์บอกซิเลชันที่อุณหภูมิ 160 °C

2. การวิเคราะห์ GC-MS

2.1 ส่วนประกอบของเครื่องวิเคราะห์ GC-MS

GC จากบริษัท Perichrom รุ่น PR2100 GC

MS จากบริษัท Agilent Technologies (USA) รุ่น 5973 Inert Mass

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

column จากบริษัท Phenomenex (USA) รุ่น Zebtron ZB-5 HT INFERNO

2.2 วิธีการวิเคราะห์

ภาวะของการวิเคราะห์

column	Zebtron ZB-5 HT INFERNO ขนาด 30 ม. x 0.25 มม. เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 ไมโครเมตร
liquid phase	5% phenyl- 95% dimethylpolysiloxane
oven	200 °C เป็นระยะเวลา 3 นาที และเพิ่มเป็น อุณหภูมิเป็น 300 °C ด้วยอัตรา 50 °C /นาที เป็นระยะเวลา 10 นาที
injection temperature	250 °C
carrier gas	ฮีเลียม
carrier flow rate	0.4 ซม. ³ /นาที

3.3.2 การศึกษาการตกผลึกร่วมของแว็กซ์กับคาร์บอนอินน้ำมัน CNSL ด้วยเทคนิค

การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น (concentration gradient)

1. ชั่งน้ำหนักแว็กซ์ 2 กรัม ใส่ในหลอดทดลอง
2. ปรับเพิ่มน้ำหนักน้ำมัน CNSL ให้ได้น้ำหนักรวมในช่วงร้อยละ 18–83 โดยน้ำหนัก (กำหนดน้ำหนักของแว็กซ์คงที่) ใส่ในหลอดทดลองข้างต้น นำตัวอย่างของผสมดังกล่าวมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 °C ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ
3. ทดลองตกผลึกที่อุณหภูมิ 20 °C จากนั้นสังเกตการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของของผสม จนกระทั่งของผสมเปลี่ยนจากของเหลวเป็นของแข็ง
4. ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนอุณหภูมิเป็น 30 40 และ 50 °C ตามลำดับ

3.3.3 การสังเกตอุณหภูมิการหลอมเหลวของของผสมระหว่างแว็กซ์กับน้ำมัน CNSL ในหลอดแคปิลลารี (capillary tube)

อุณหภูมิการหลอมเหลวของผสมระหว่างแว็กซ์กับน้ำมัน CNSL ที่สัดส่วนการผสมต่างๆ จะทำการสังเกตในหลอดแคปิลลารี โดยอุปกรณ์สำหรับสังเกตอุณหภูมิการหลอมเหลวของของผสมแว็กซ์กับน้ำมัน CNSL แสดงดังรูปที่ 3.2 ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้

A คือ ส่วนให้ความร้อน ส่วนบรรจุท่อแคปิลลารีและมีการติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิ

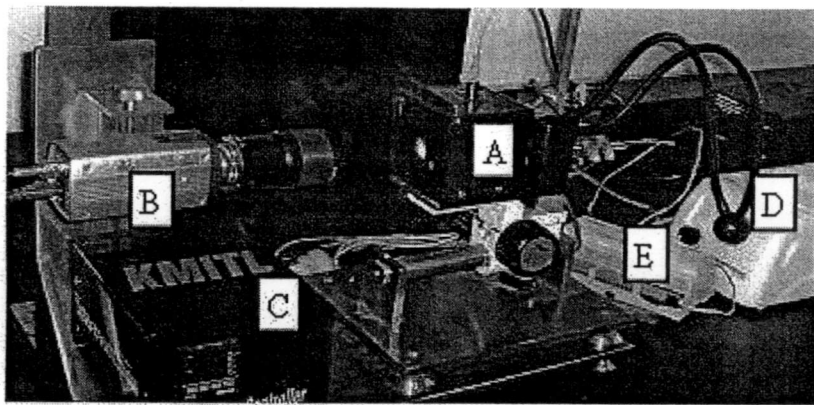
B คือ กว๊านที่ภาพกำลังขยายสูง

C คือ เครื่องควบคุมอุณหภูมิ (Heater)

D คือ เครื่องให้แสงสว่าง

E คือ เครื่องบันทึกอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 อุปกรณ์สำหรับสังเกตอุณหภูมิการหลอมเหลวของของผสมเว็็กซ์กับน้ำมัน CNSL

ในการบันทึกภาพการเปลี่ยนแปลงเฟสของของผสมจะทำการบันทึกภาพและอุณหภูมิ ทุกๆ 5 วินาที สังเกตการเปลี่ยนแปลงเฟสของของผสมจนกระทั่งของผสมเปลี่ยนเป็นของเหลว โดยเมื่อของผสมเปลี่ยนเป็นของเหลวจะถูกดูดเข้าไปในหลอดแคปิลลารีด้วยผลของ capillary effect ทำให้สามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวได้

3.3.4 การวิเคราะห์สมบัติเชิงความร้อน

การศึกษาสมบัติเชิงความร้อนของของแข็งเว็็กซ์กับน้ำมัน CNSL ด้วยเครื่อง DSC โดยวิธีวิเคราะห์ด้วยการสแกนแบบลดและเพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตรา 2°C ต่อนาที โดยวัดอุณหภูมิและการไหลของความร้อน จากการเปลี่ยนแปลงความร้อนของวัสดุเปรียบเทียบกับอุณหภูมิ ทำให้ได้ข้อมูลทั้งทางด้านคุณภาพและปริมาณซึ่งวิธีการวิเคราะห์ที่แสดงดังตารางที่ 3.1 จากนั้นวิเคราะห์ผลที่ได้จากเครื่อง DSC เพื่อหาค่าความร้อนของการหลอมเหลว (ΔH_f°) ความร้อนของการตกผลึก (ΔH_c°) อุณหภูมิหลอมเหลว (T_m) และอุณหภูมิตกผลึก (T_c)

ตารางที่ 3.1 ภาวะการวิเคราะห์ตัวอย่างเว็็กซ์กับน้ำมัน CNSL

ร้อยละโดยน้ำหนัก ของเว็็กซ์	การสแกนแบบเพิ่มอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)		การสแกนแบบลดอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)	
	อุณหภูมิ เริ่มต้น	อุณหภูมิต้าย	อุณหภูมิ เริ่มต้น	อุณหภูมิต้าย
18	10	70	70	10
27	10	70	70	10
50	10	80	80	10
83	10	90	90	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5 การเตรียมยางสูตร NR

1. ผสมยาง NR น้ำหนักเท่ากับ 250 กรัม กับผงเขม่าดำ น้ำมันอะโรมาติก ซิงค์ออกไซด์ กรดสเตียริก แคลเซียมคาร์บอเนต แวกซ์ Wingstay-L[®] คาร์ดานอลสังเคราะห์ และ สารเติมแต่งไฮบริด (hybrid additives) ตามสูตรดังตารางที่ 3.2 เข้าด้วยกันด้วยเครื่องผสมแบบ เปิดชนิดสองลูกกลิ้งเป็นระยะเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิประมาณ 50 °C ทิ้งไว้ในที่เย็นเป็น ระยะเวลาเท่ากับ 12 ชั่วโมง

2. จากนั้นนำ master batch ที่ได้ ผสมกับสารเร่งการสุกตัวและสารเชื่อมโยงโดยใช้ สาร DPG สาร CBS และกำมะถัน เป็นระยะเวลาเท่ากับ 8 นาที ที่อุณหภูมิประมาณ 50 °C

3. เก็บตัวอย่างยางไว้ในที่อุณหภูมิห้องเพื่อรอการขึ้นรูป (curing)

ตารางที่ 3.2 สูตรการผสมยางธรรมชาติกับสารเติมแต่ง

สารเคมี	น้ำหนัก (phr) ที่ใช้ในสูตรต่างๆ			
	Non	Wingstay-L	Cardanol	HA
NR	100	100	100	100
carbon black N330	40	40	40	40
aromatic oil	10	10	10	10
wax	2	2	2	2
Wingstay-L	-	0.6	-	-
cardanol	-	-	0.6	-
*hybrid additives	-	-	-	0.8, 2.0, 5.0
calcium carbonate	10	10	10	10
zinc oxide	5	5	5	5
stearic acid	2	2	2	2
DPG	0.2	0.2	0.2	0.2
CBS	1	1	1	1
sulfur	2	2	2	2

หมายเหตุ * สารเติมแต่งไฮบริด : ของแข็งระหว่างแวกซ์กับน้ำมัน CNSL ที่สัดส่วน 27:73 โดยน้ำหนัก

3.3.6 การเตรียมยางสูตร NR/EPDM

1. ชั่งน้ำหนักยาง NR เท่ากับ 262.5 กรัม และชั่งน้ำหนักยาง EPDM เท่ากับ 87.5 กรัม ทำการผสมด้วยเครื่องผสมแบบเปิดชนิดสองลูกกลิ้งที่อุณหภูมิ 50 °C โดยบดยาง NR เป็น ระยะเวลา 2 นาที ก่อนบดผสมกับยาง EPDM เป็นระยะเวลา 10 นาที จากนั้นทำการผสมกับ ซิงค์ออกไซด์ กรดสเตียริก แคลเซียมคาร์บอเนต แวกซ์ Wingstay-L[®] และสารเติมแต่งไฮบริด ในแต่ละสูตรดังตารางที่ 3.3

2. นำ master batch ที่ได้ผสมกับ สาร DPG CBS และกำมะถัน เป็นระยะเวลา 8 นาที ที่อุณหภูมิ 50 °C ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เก็บตัวอย่างยางไว้ในที่อุณหภูมิค่าเพื่อรอการขึ้นรูป

ตารางที่ 3.3 สูตรการผสมยาง NR/EPDM กับสารเติมแต่ง

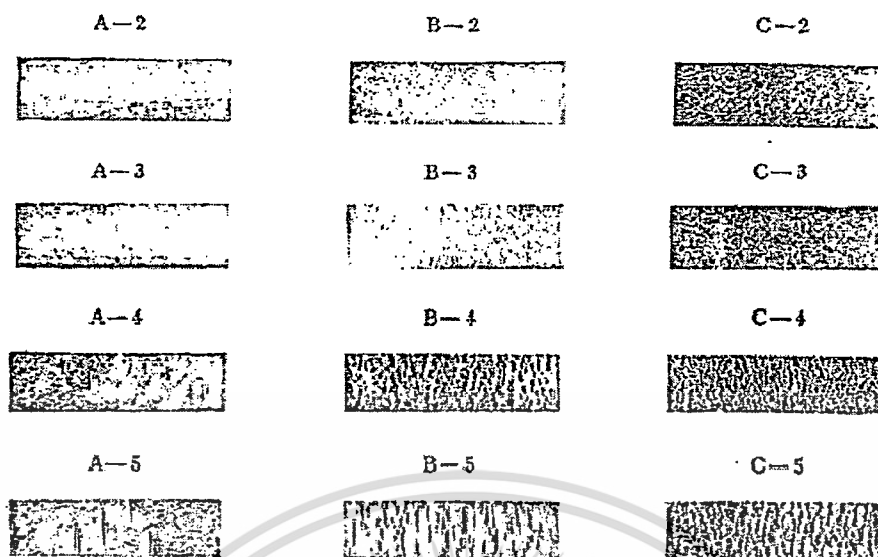
สารเคมี	น้ำหนัก (phr) ที่ใช้ในสูตรต่างๆ		
	Non	Wingstay-L	HA
NR	75	75	75
EPDM	25	25	25
carbon black N330	40	40	40
aromatic oil	10	10	10
zinc oxide	5	5	5
wax	2	2	2
Wingstay-L	-	0.6	-
hybrid additives	-	-	5.0, 10.0
calcium carbonate	10	10	10
stearic acid	2	2	2
DPG	0.2	0.2	0.2
CBS	1	1	1
sulfur	2	2	2

3.3.7 การขึ้นรูปยาง (vulcanization)

การขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปด้วยแผ่นร้อน (compression molding machine) โดยใช้แม่พิมพ์หนา 2 มม. อบด้วยอุณหภูมิ 150 °C ความดัน 80 กก.ต่อซม.²

3.3.8 การทดสอบสมบัติความต้านทานต่อโอโซน

การทดสอบยึดตามมาตรฐาน ISO 1431 (part 1) ด้วยเครื่องทดสอบโอโซนที่ความเข้มข้นของโอโซน 50 pphm อุณหภูมิ 40 °C เป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง ตัดชิ้นงานที่ใช้ทดสอบเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 2 × 8 ซม. และมีความหนา 1.9 – 2.5 มม. และทำการยึดชิ้นงานออกร้อยละ 20 ของความยาวของชิ้นงาน โดยยึดชิ้นงานทิ้งไว้ในห้องมืดเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ในการพิจารณาระดับของความสามารถในการป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากโอโซนจะพิจารณาตามมาตรฐาน ISO 1431 (part 1) ซึ่งแบ่งระดับความต้านทานต่อโอโซนจากลักษณะการเสื่อมสภาพของตัวอย่างยางหลังการอบเร่งด้วยโอโซน ในเทอมของความหนาแน่นและขนาดของรอยแตกบนพื้นผิวของตัวอย่างยาง ดังแสดงในรูปที่ 3.3 และตารางที่ 3.4



รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะการเสื่อมสภาพของยาง

ตารางที่ 3.4 เกณฑ์ของความต้านทานต่อโอโซน

จำนวนของรอยแตก	ขนาดและความลึกของรอยแตก
A = มีจำนวนรอยแตกที่น้อย	1. รอยแตกที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า
B = มีจำนวนรอยแตกที่มาก	2. รอยแตกที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า
C = มีจำนวนรอยแตกที่มากจนนับไม่ถ้วน	3. รอยแตกที่มีขนาดน้อยกว่า 1 มม.
	4. รอยแตกที่มีขนาด 1-3 มม.
	5. รอยแตกที่มีขนาดใหญ่กว่า 3 มม.

3.3.9 การทดสอบสมบัติความต้านทานต่อการบ่มเร่งด้วยความร้อน

การทดสอบความต้านทานต่อความร้อน ทำได้โดยการนำชิ้นตัวอย่างงานเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นระยะเวลา 22 ชั่วโมง จากนั้นวิเคราะห์สมบัติแรงดึงตามมาตรฐาน ISO 37 (type 1) เช่น ความต้านทานแรงดึง (tensile strength) ระยะการยืดที่จุดขาด (elongation at break) วิเคราะห์สมบัติความต้านทานการฉีกขาด (tear strength) ตามมาตรฐาน ISO 34 (angle test piece) และ ความแข็ง (hardness, shore A ตามมาตรฐาน ASTM D2240) โดยทำการเปรียบเทียบสมบัติก่อนและหลังการอบเร่งเพื่อพิจารณาถึงการป้องกันการเสื่อมสภาพของตัวอย่างยาง

3.3.10 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของยางผสมระหว่างยาง NR และ EPDM[18]

การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope, SEM) ใช้วิธีการตรวจสอบแบบ back scattering electron (BSE) โดยเตรียมชิ้นงานที่ย้อมผิวด้วยออกไซด์ของออสเมียม (osmium tetroxide) ตรวจสอบความสามารถในการเข้ากันได้ (compatibility) ของยางผสมระหว่างยาง NR และยาง EPDM

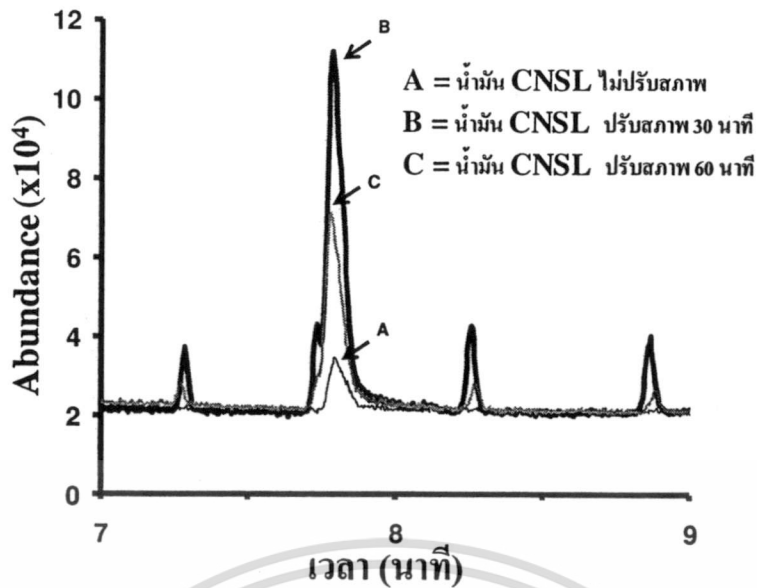
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

ในการพัฒนาสารเติมแต่งไฮบริด (HA) ที่เป็นของแข็งระหว่างแร็กซ์กับคาร์ดานอลจากน้ำมัน CNSL ในขั้นตอนแรกจะเป็นการศึกษาการปรับสภาพน้ำมัน CNSL เพื่อควบคุมและปรับเพิ่มปริมาณของคาร์ดานอลในน้ำมัน CNSL และศึกษาผลของสัดส่วนและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการตกผลึกร่วมของแร็กซ์กับทั้งน้ำมัน CNSL สองชนิดคือ น้ำมัน CNSL ไม่ผ่านการปรับสภาพ และน้ำมันที่ผ่านการทำปฏิกิริยาปรับสภาพ เพื่อให้ได้สารเติมแต่ง HA ที่มีปริมาณของคาร์ดานอลผสมในปริมาณที่มากพอสำหรับการประยุกต์ใช้งาน จากนั้นเป็นการศึกษาและเปรียบเทียบผลของสารเติมแต่ง HA ที่เตรียมได้จากน้ำมัน CNSL ไม่ผ่านการปรับสภาพ (HA-C) และน้ำมัน CNSL ปรับสภาพ (HA-T) ต่อความสามารถในการป้องกันการเสื่อมสภาพของยาง NR และการช่วยผสมของยางผสมระหว่างยาง NR และ ยาง EPDM โดยทำการเปรียบเทียบกับสารป้องกันการเสื่อมสภาพในเชิงพาณิชย์ที่นิยมใช้กันทั่วไปคือ Wingstay-L[®] จากนั้นยังเปรียบเทียบกับคาร์ดานอลสังเคราะห์เพื่อศึกษาผลของการปรับเพิ่มปริมาณของคาร์ดานอลในน้ำมัน CNSL

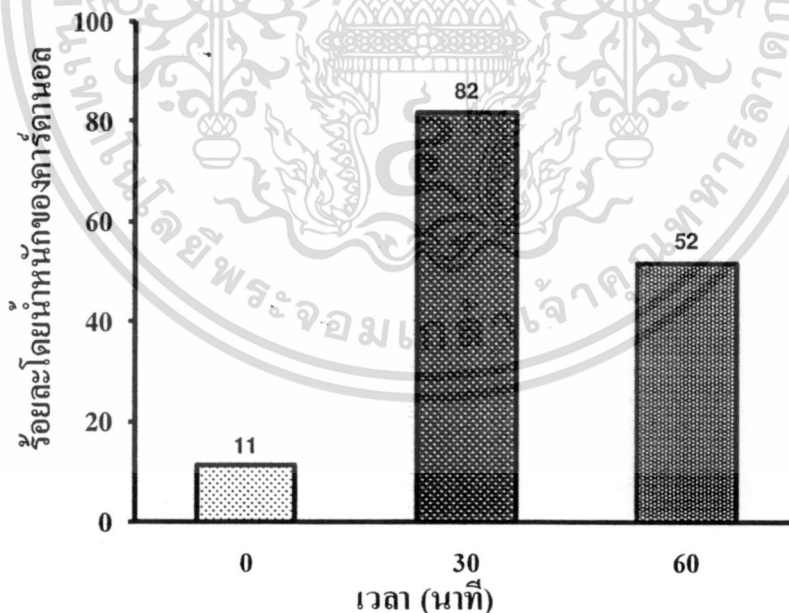
4.1 ผลของเวลาสำหรับการปรับสภาพน้ำมัน CNSL ต่อปริมาณของคาร์ดานอลที่ได้

จากการศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการปรับสภาพน้ำมัน CNSL ด้วยปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันที่อุณหภูมิ 160 °C เป็นระยะเวลา 30 และ 60 นาที เพื่อหาเวลาที่เหมาะสมที่ทำให้กรดอนาคาร์ดิกเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันเปลี่ยนไปเป็นคาร์ดานอลในปริมาณที่มากที่สุด โดยปริมาณของคาร์ดานอลที่ได้จากปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันสามารถวิเคราะห์ได้ด้วยเทคนิค GC-MS ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ด้วย GC-MS สามารถแสดงได้ดั่งโครมาโทแกรมในรูปที่ 4.1 จากการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำมัน CNSL ไม่ปรับสภาพและปรับสภาพ 30 และ 60 นาที แสดงได้ดั่งโครมาโทแกรม A B และ C ตามลำดับ จากโครมาโทแกรม A B และ C เมื่อเปรียบเทียบกับโครมาโทแกรมของสารมาตรฐานคาร์ดานอลที่แสดงในภาคผนวก ก. รูปที่ ก. 1 ถึง ก. 6 พบว่ามีพีคของคาร์ดานอลเกิดขึ้นที่เวลาประมาณ 7.81 7.86 และ 7.89 นาที ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาโครมาโทแกรม A B และ C พบว่าการทำปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันให้กรดอนาคาร์ดิกเปลี่ยนเป็นคาร์ดานอลนั้นมีผลิตภัณฑ์ร่วมเกิดขึ้น



รูปที่ 4.1 ผลของเวลาปรับสภาพน้ำมัน CNSL ต่อปริมาณของคาร์คานอล

และจากพื้นที่ที่คของโครมาโทแกรมรูปที่ 4.1 ทำให้สามารถประมาณร้อยละโดยน้ำหนักของคาร์คานอลในน้ำมัน CNSL ได้โดยการเปรียบเทียบกับ calibration curve ของสารมาตรฐาน คาร์คานอลแสดงในภาคผนวก ก. รูปที่ ก. 8 ซึ่งร้อยละโดยน้ำหนักของคาร์คานอลในน้ำมัน CNSL แสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ร้อยละโดยน้ำหนักของคาร์คานอลในน้ำมัน CNSL ปรับสภาพและไม่ปรับสภาพ

จากการประมาณปริมาณของคาร์คานอลในน้ำมัน CNSL เมื่อทำการปรับสภาพเป็นระยะเวลา 30 และ 60 นาที พบว่าตัวอย่างน้ำมัน CNSL ที่ผ่านการปรับสภาพเป็นระยะเวลา 30 นาที มีปริมาณของคาร์คานอลในน้ำมัน CNSL มากกว่าที่ใช้ระยะเวลา 60 นาที เนื่องจากในระหว่างไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดปฏิกิริยาดีคาร์บออกซิเลชัน นอกจากกรดอนาคาร์ติกจะเปลี่ยนเป็นคาร์ดานอลแล้วคาร์ดานอลยังสามารถเชื่อมสภาพไปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ ได้อีกด้วย ดังนั้นคาดว่าเวลาที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บออกซิเลชันของน้ำมัน CNSL ควรใช้ประมาณ 30 นาที

4.2 ผลการศึกษาพฤติกรรมการตกผลึกร่วมของแว็กซ์กับน้ำมัน CNSL

4.2.1 ผลการสังเกตการตกผลึกร่วมแว็กซ์กับน้ำมัน CNSL

การศึกษาผลของสัดส่วนการผสมและอุณหภูมิที่ใช้ตกผลึกต่อความสามารถในการตกผลึกร่วมของแว็กซ์กับคาร์ดานอล ทำได้โดยการใช้เทคนิค concentration gradient เพื่อสังเกตพฤติกรรมการตกผลึกร่วมของแว็กซ์กับน้ำมัน CNSL ในหลอดทดลองที่อุณหภูมิ 20 - 50 °C เมื่อทำการปรับเพิ่มปริมาณของน้ำมัน CNSL จากนั้นสังเกตสัดส่วนของการผสมที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสถานะจากของผสมของเหลวที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิตกผลึกไปเป็นของแข็งที่อุณหภูมิต่างๆ ลักษณะทางกายภาพของของผสมสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพของผสมที่อุณหภูมิต่างๆ

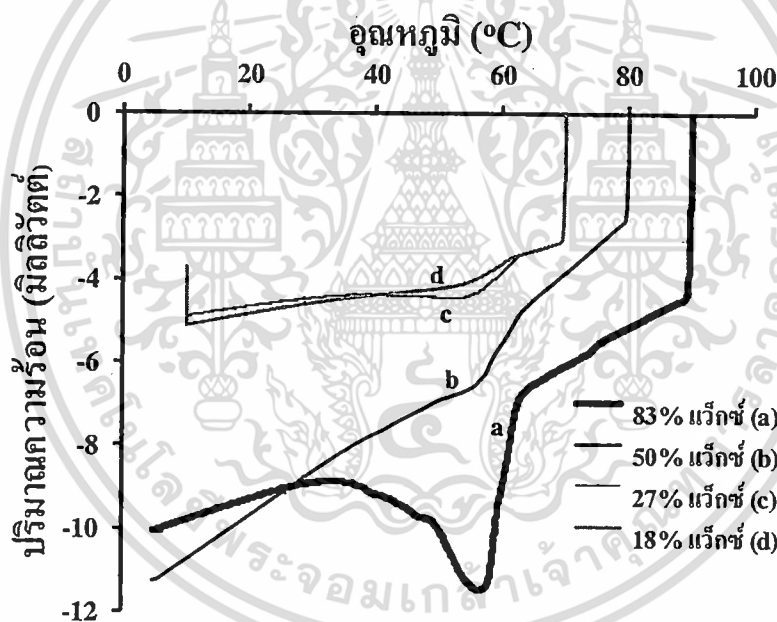
ร้อยละโดย น้ำหนักของแว็กซ์	อุณหภูมิตกผลึก (°C)			
	20	30	40	50
83	ของแข็ง	ของแข็ง	ของแข็ง	ของแข็ง
67	ของแข็ง	ของแข็ง	ของแข็ง	เจล
33	ของแข็ง	ของแข็ง	ของแข็ง	เจล
27	ของแข็ง	ของแข็ง	เจล	เจล
18	ของแข็ง	เจล	เจล	เจล

จากความสัมพันธ์ของสัดส่วนการผสมและอุณหภูมิที่ใช้ตกผลึก ทำให้สามารถสังเกตพฤติกรรมการตกผลึกร่วมของแว็กซ์กับน้ำมัน CNSL ปรับสภาพและไม่ปรับสภาพได้ โดยพบว่าเมื่อพฤติกรรมเปลี่ยนแปลงของเฟสที่คล้ายกัน กล่าวคือเมื่อทำการตกผลึกที่อุณหภูมิต่ำกว่า 30 °C ด้วยสัดส่วนของแว็กซ์มากกว่าร้อยละ 27 โดยน้ำหนัก พบว่าแว็กซ์มีความสามารถในการตกผลึกน้ำมัน CNSL ให้ตกผลึกร่วมกันได้ โดยได้เป็นสารประกอบของแข็งสีน้ำตาลและเป็นสัดส่วนที่มีปริมาณของคาร์ดานอลผสมในปริมาณที่มากพอ สำหรับการพัฒนาเป็นสารเติมแต่ง HA เพื่อใช้เป็นสารป้องกันการเสื่อมสภาพในยาง NR และสารช่วยผสมในยางผสมระหว่างยาง NR และ EPDM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ผลการศึกษาสมบัติเชิงความร้อนของแวกซ์กับน้ำมัน CNSL ปรับสภาพ

จากการวิเคราะห์สมบัติเชิงความร้อนของสารประกอบของแข็งที่ได้จากการตกผลึกร่วมที่สัดส่วนต่างๆ ของแวกซ์ด้วยเทคนิค DSC โดยทำการสแกนแบบลดและเพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตราเท่ากับ 2°C ต่อนาที ในช่วงอุณหภูมิ $10 - 90^{\circ}\text{C}$ เพื่อวิเคราะห์อุณหภูมิตกผลึกและปริมาณความร้อนของการตกผลึก โดยคาดว่าจะช่วยอธิบายความสัมพันธ์ของสัดส่วนของของผสมและอุณหภูมิที่ใช้สำหรับการตกผลึกร่วมระหว่างแวกซ์กับคาร์ดานอล ผลการวัดค่าดังกล่าวแสดงได้ดังรูปที่ 4.3 จากผลการสแกนแบบลดอุณหภูมิ พบว่าพื้นที่ใต้กราฟของเทอร์โมแกรมและจุดยอดที่ได้แสดงถึงค่าเอนทัลปีและอุณหภูมิตกผลึก จากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนกับอุณหภูมิของของผสมที่สัดส่วนของแวกซ์ต่างๆ พบว่าพื้นที่ใต้กราฟของเทอร์โมแกรมลดลงเมื่อปริมาณของแวกซ์ผสมลดลง ซึ่งแสดงถึงปริมาณของผลึกและความร้อนที่คายออกสำหรับการตกผลึกร่วมของแข็งแวกซ์กับน้ำมัน CNSL ปรับสภาพ มีปริมาณลดลงเมื่ออัตราส่วนของแวกซ์ลดลงจากร้อยละ 83 ถึง 18 โดยน้ำหนัก

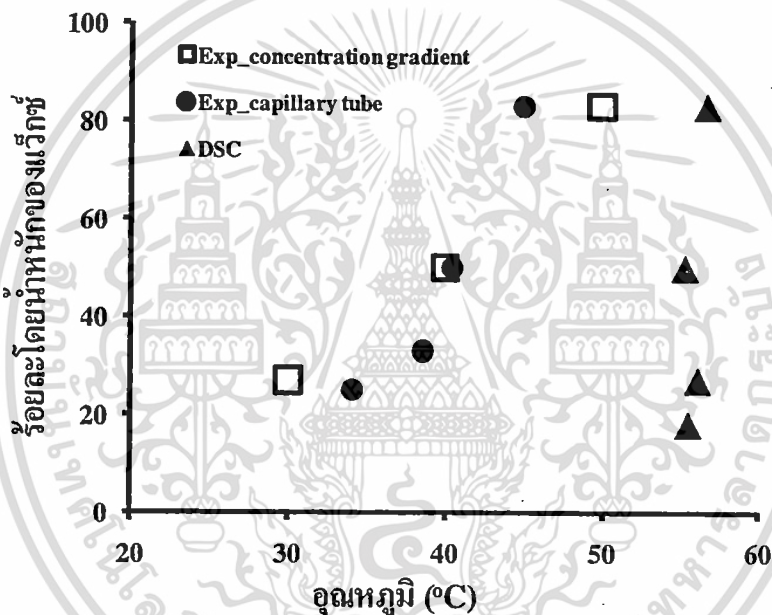


รูปที่ 4.3 เทอร์โมแกรมการตกผลึกของแข็ง

4.2.3 ผลการศึกษาพฤติกรรมของการตกผลึกร่วมของแวกซ์กับน้ำมัน CNSL ปรับสภาพ ที่อุณหภูมิต่างๆ

จากการสังเกตพฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงเฟสของของผสมแวกซ์กับน้ำมัน CNSL ปรับสภาพ ตามผลการทดลองในตารางที่ 4.1 แสดงด้วยสี่เหลี่ยมโปร่ง (\square) มาเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์อุณหภูมิตกผลึกของแข็งที่สัดส่วนต่างๆ ด้วยเทคนิค DSC แสดงด้วยสามเหลี่ยมทึบ (\blacktriangle) และการสังเกตการเปลี่ยนแปลงเฟสของของผสมที่สัดส่วนต่างๆ ในหลอดแคปซิลลารีแสดงด้วยเอกวงกลมทึบ (\bullet) โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ที่ภาพการเปลี่ยนแปลงเฟสของของผสมและบันทึกการคำนวณการคำนวณไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิด้วยเครื่องบันทึกอุณหภูมิ ซึ่งรูปถ่ายการเปลี่ยนแปลงเฟสของของผสมแสดงในภาคผนวก ข. รูปที่ ข. 1 จากข้อมูลดังกล่าวทำให้ได้ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแว็กซ์กับอุณหภูมิตกผลึก แสดงได้ดังรูปที่ 4.4 จากการพิจารณาความสัมพันธ์ของปริมาณของแว็กซ์ต่ออุณหภูมิการตกผลึก พบว่าอุณหภูมิในการตกผลึกที่วิเคราะห์ด้วย DSC มีค่าในช่วง $55.3 - 56.7^{\circ}\text{C}$ ซึ่งพบว่า DSC อาจจะไม่เหมาะสมในการวัดอุณหภูมิตกผลึกร่วมของของผสม เนื่องจากอุณหภูมิตกผลึกที่วัดได้จาก DSC เป็นอุณหภูมิตกผลึกสูงสุดในเฉพาะส่วนขององค์ประกอบแว็กซ์เท่านั้น ประกอบกับกลไกการตกผลึกร่วมของแว็กซ์กับคาร์ดานอลมีความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนกับอุณหภูมิตกผลึก ความสามารถในการละลายระหว่างแว็กซ์กับน้ำมัน CNSL และการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบระหว่างการเกิดกระบวนการตกผลึก ทำให้ไม่สามารถนำผลการทดลองในส่วนนี้มาอธิบายอุณหภูมิตกผลึกร่วมที่ได้จากการทดลองในแบบมหัพภาคได้



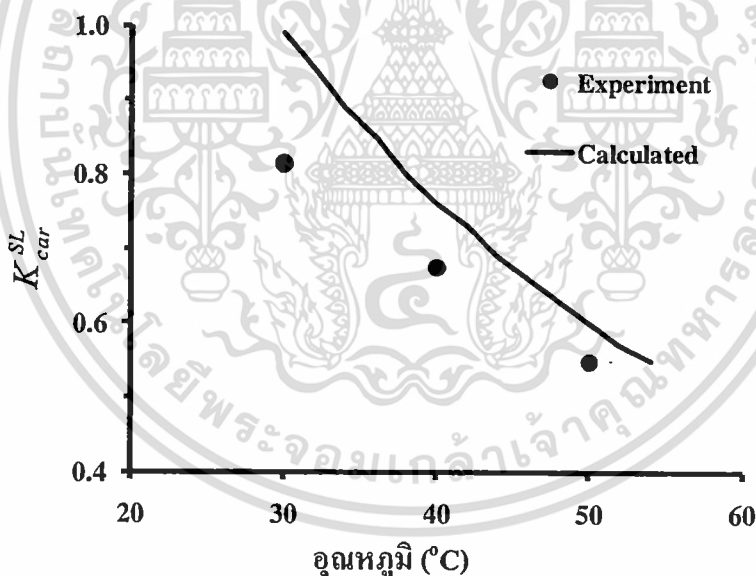
รูปที่ 4.4 อุณหภูมิตกผลึกของแว็กซ์ผสม

ดังนั้นจึงได้ทำการทดลองในส่วนของการสังเกตการเปลี่ยนแปลงเฟสของของผสมในหลอดแคปพิลลารี ด้วยกล้องดิจิทัล เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิที่จะใช้ในการตกผลึกร่วมและสัดส่วนของการผสมของแว็กซ์กับน้ำมัน CNSL ที่จะนำไปใช้ในกระบวนการผลิตสารเติมแต่ง HA ซึ่งจะนำผลการทดลองที่ได้มาอธิบายผลที่ได้จากการสังเกตการเปลี่ยนแปลงเฟสของของผสมด้วยเทคนิค concentration gradient จากรูปดังกล่าวพบว่าสามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของของผสม เมื่อทำการปรับเพิ่มอุณหภูมิได้อย่างชัดเจนและความสัมพันธ์ของอุณหภูมิตกผลึกและสัดส่วนการผสมที่ได้ มีแนวโน้มใกล้เคียงกับผลการทดลองด้วยเทคนิค concentration gradient ทำให้สามารถนำข้อมูลที่ได้มาใช้ในการอธิบายภาวะการตกผลึกร่วมของแว็กซ์กับน้ำมัน CNSL ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 ผลการศึกษาค่าคงที่สมดุลของแข็ง-ของเหลวของคาร์ดานอลในแวกซ์ผสมน้ำมัน CNSL

จากการทดลองตกผลึกร่วมดังตารางที่ 4.1 ทำให้สามารถคำนวณค่า K_{car}^{SL} ที่อุณหภูมิต่างๆ ได้จากสมการที่ (1) โดยสัดส่วน โมลของคาร์ดานอลวิเคราะห์ได้ด้วยเทคนิค GC-FID ซึ่งค่า K_{car}^{SL} ที่คำนวณได้แสดงในตารางที่ ก.4 และเมื่อเปรียบเทียบค่า K_{car}^{SL} ที่ได้จากการทดลองกับค่า K_{car}^{SL} จากการคำนวณด้วยแบบจำลองอุณหพลศาสตร์ดังสมการที่ (10) แสดงได้ดังรูปที่ 4.5 ซึ่งจากการศึกษาค่า K_{car}^{SL} ที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่าการตกผลึกร่วมที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง (30°C) ทำให้ค่า K_{car}^{SL} มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงถึงปริมาณของคาร์ดานอลที่ถูกทำให้ตกผลึกร่วมในแวกซ์มีมากขึ้น และจากการเปรียบเทียบค่า K_{car}^{SL} ที่ได้จากการทดลองและผลการทำนายด้วยแบบจำลองอุณหพลศาสตร์ พบว่าค่าที่ได้มีแนวโน้มใกล้เคียงกันและความผิดพลาดของแบบจำลองอาจเป็นผลมาจากความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนของความสามารถในการละลายระหว่างแวกซ์กับน้ำมัน CNSL และการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบระหว่างการตกผลึกร่วมของแวกซ์กับคาร์ดานอล ซึ่งจากแบบจำลองอุณหพลศาสตร์พบว่าการปรับเพิ่มอุณหภูมิช่วง 30 ถึง 50°C ส่งผลให้ค่า K_{car}^{SL} มีค่าลดลงในช่วง 0.81 ถึง 0.55

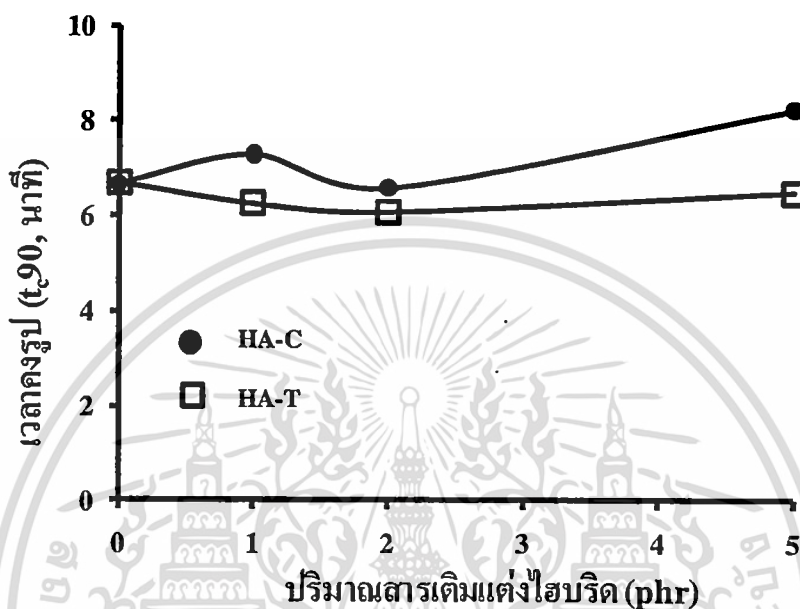


รูปที่ 4.5 ผลของอุณหภูมิการตกผลึกต่อค่า K_{car}^{SL}

4.3 ผลของสารเติมแต่งไฮบริดต่อระยะเวลาการคงรูปของยางธรรมชาติ

จากผลการทดสอบสมบัติของยางคอมปาวด์ด้วยเครื่อง ODR ตามมาตรฐาน ISO 3417 เพื่อหาระยะเวลาการคงรูป (t_{90}) ที่เหมาะสมของตัวอย่างยางที่อุณหภูมิ 150°C ความดันเท่ากับ 80 กก.ต่อซม.² แสดงดังรูปที่ 4.6 เป็นผลของสารเติมแต่ง HA ต่อระยะเวลาการคงรูปของยาง NR พบว่าตัวอย่างยาง NR (ยางสูตร Non) มีระยะเวลาการคงรูปเท่ากับ 6.67 นาที และเมื่อพิจารณาผลของสารเติมแต่ง HA-C ในปริมาณเท่ากับ 0 ถึง 5.0 phr พบว่าการปรับเพิ่มปริมาณของสารเติม

แต่ง HA-C ส่งผลทำให้ระยะเวลาการคงรูปของยาง NR มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องจากสิ่งปนเปื้อนในน้ำมัน CNSL ซึ่งไม่ผ่านกระบวนการปรับสภาพ ส่งผลทำให้การเกิดปฏิกิริยาการคงรูปช้าลง ในกรณีของตัวอย่างยาง NR ที่ผสมสารเติมแต่ง HA-T ซึ่งเป็นสารเติมแต่ง HA ที่ได้จากน้ำมัน CNSL ที่ผ่านการปรับสภาพ ในปริมาณที่น้อยกว่า 5.0 phr พบว่าไม่ส่งผลเป็นนัยสำคัญต่อระยะเวลาการคงรูปของยาง NR



รูปที่ 4.6 ผลของสารเติมแต่ง HA ต่อระยะเวลาการคงรูปของยาง NR ที่อุณหภูมิ 150 °C ความดัน 80 กก.ต่อซม.²

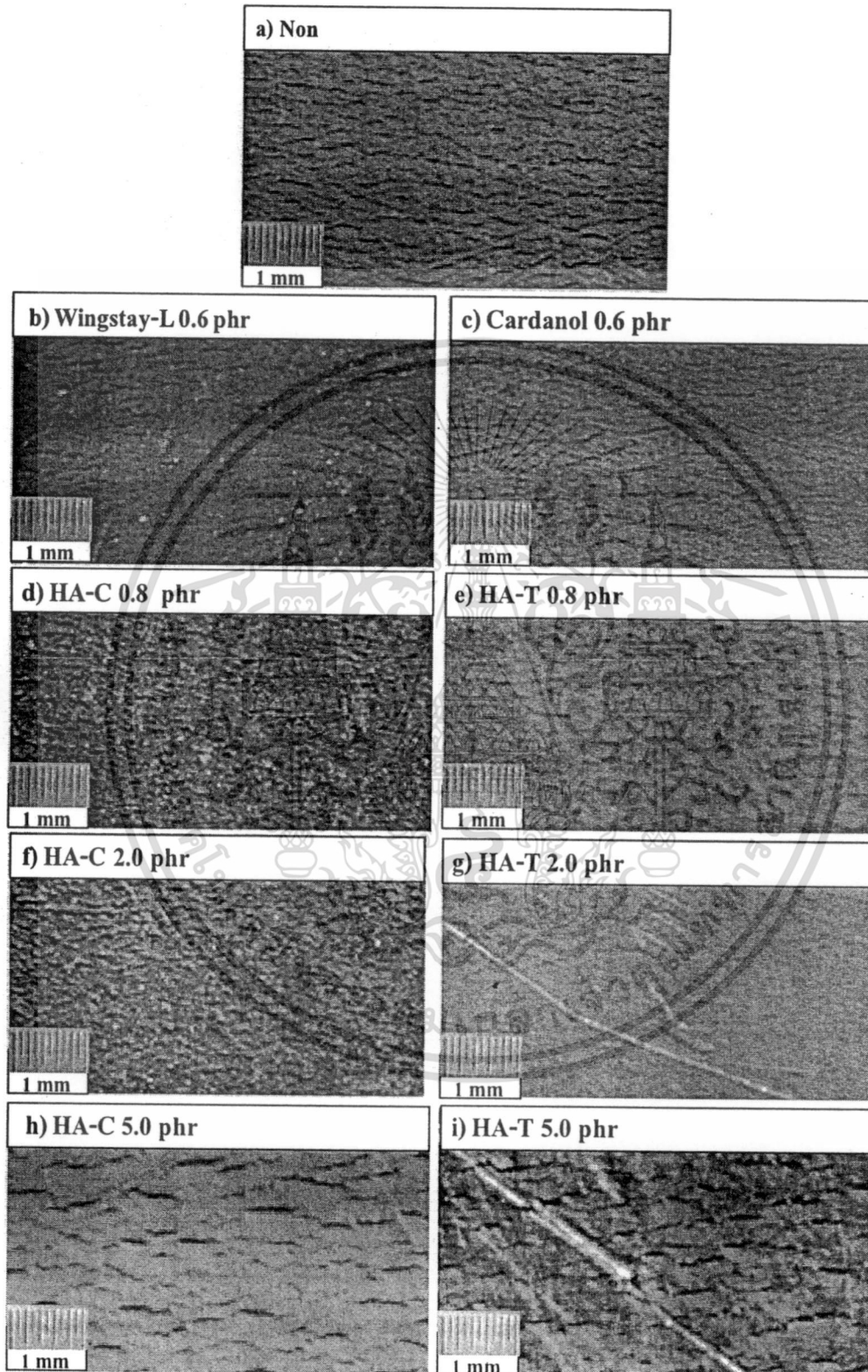
4.4 ผลของสารเติมแต่งไฮบริดต่อความสามารถในการป้องกันการเสื่อมสภาพของยางธรรมชาติ

การศึกษานี้ เป็นการศึกษาและเปรียบเทียบผลของสารเติมแต่ง HA ที่ได้จากการตกผลึกร่วมน้ำมัน CNSL ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ (HA-C) และที่ได้จากน้ำมัน CNSL ที่ผ่านการปรับสภาพ (HA-T) ต่อความสามารถในการป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากโอโซนและความร้อน เปรียบเทียบกับคาร์บอนอลสังเคราะห์ (เปรียบเทียบผลของการปรับเพิ่มปริมาณของคาร์บอนอลในน้ำมัน CNSL) และเปรียบเทียบกับ Wingstay-L[®] ซึ่งเป็นสารป้องกันการเสื่อมสภาพที่นิยมใช้ในเชิงพาณิชย์ ในปริมาณเท่ากับ 0.6 phr โดยศึกษาผลการปรับเปลี่ยนปริมาณของสารเติมแต่ง HA ในปริมาณเท่ากับ 0 ถึง 10.0 phr

4.4.1 ผลของความต้านทานต่อโอโซน

จากผลการทดสอบความต้านทานต่อโอโซนของตัวอย่างยาง NR ที่ความเข้มข้นของโอโซนเท่ากับ 50 pphm อุณหภูมิ 40 °C เป็นระยะเวลาเท่ากับ 72 ชม. เพื่อทำการศึกษาผลของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า สารเติมแต่ง HA ต่อความสามารถในการป้องกันการเสื่อมสภาพของยาง NR โดยลักษณะไม่วางกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเสื่อมสภาพของตัวอย่างยาง NR หลังการอบเร่งด้วยโอโซนสามารถสังเกตได้โดยการใช้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 40 เท่า ถ่ายภาพพื้นผิวของตัวอย่างยาง NR แสดงได้ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ภาพถ่ายรอยแตกของตัวอย่างยาง NR ที่ผสมสารเติมแต่ง HA จากน้ำมัน CNSL

ไม่ปรับสภาพ (HA-C) และปรับสภาพ (HA-T) (ภาพถ่ายที่กำลังขยาย X 40 เท่า) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพถ่ายลักษณะพื้นผิวของตัวอย่างยาง NR หลังการอบเร่งด้วยโอโซนจะเห็นได้ว่า สุตรยาง NR ที่ไม่มีประสิทธิภาพในการป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากโอโซน ส่งผลทำให้พื้นผิวของยาง NR เกิดรอยแตกที่มีขนาดแตกต่างกัน ซึ่งความแตกต่างของรอยแตกบนพื้นผิวของยางทำให้สามารถที่จะทำการเปรียบเทียบถึงประสิทธิภาพในการป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากโอโซนของยางแต่ละสูตรได้ สำหรับการพิจารณาระดับของความสามารถในการป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากโอโซนจะพิจารณาตามมาตรฐาน ISO 1431 (part 1) ซึ่งแบ่งระดับความต้านทานต่อโอโซนจากลักษณะการเสื่อมสภาพของตัวอย่างยางหลังการอบเร่งด้วยโอโซน ในเทอมของความหนาแน่นและขนาดของรอยแตกบนพื้นผิวของตัวอย่างยาง ดังแสดงในรูปที่ 3.2 และตารางที่ 3.4 ทำให้สามารถแสดงระดับของความสามารถในการป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากโอโซนของตัวอย่างยาง NR ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าตัวอย่างยาง NR (Non) ที่ผสมแวกซ์ในปริมาณ 2.0 phr เป็นสารป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากโอโซนนั้น เมื่อทำการอบเร่งด้วยโอโซน ส่งผลให้ตัวอย่างยาง NR เกิดการเสื่อมสภาพอยู่ในระดับ B-2 โดยมีจำนวนของรอยแตกเกิดขึ้นเป็นจำนวนมากและมีขนาดของรอยแตกที่น้อยกว่า 1 มม. ซึ่งความหนาแน่นและขนาดของรอยแตกที่เกิดขึ้นแสดงให้เห็นว่าการผสมแวกซ์ในปริมาณเท่ากับ 2.0 phr ยังไม่สามารถช่วยทำให้ยาง NR มีความสามารถในการป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากโอโซนได้ดีขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากความหนาแน่นของชั้นฟิล์มแวกซ์ที่เคลือบบนพื้นผิวยาง NR ยังไม่มีประสิทธิภาพในการป้องกันการเข้าทำปฏิกิริยาของโอโซนนั่นเอง [15]

ตารางที่ 4.2 ระดับความต้านทานต่อโอโซนของตัวอย่างยาง NR

ตัวอย่าง	ระดับ
Non	B-2
Wingstay-L 0.6 phr	B-2
Cardanol 0.6 phr	B-2
HA-C 0.8 phr	No crack
HA-C 2.0 phr	No crack
HA-C 5.0 phr	C-5
HA-T 0.8 phr	No crack
HA-T 2.0 phr	No crack
HA-T 5.0 phr	C-5

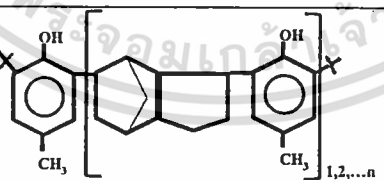
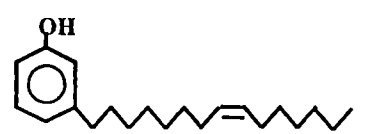

หมายเหตุ A < B < C = ความหนาแน่นของรอยแตก

1 < 2 < 3 < 4 < 5 = ขนาดของรอยแตก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีของตัวอย่างยาง NR ที่ผสมสารเติมแต่ง HA (ยางสูตร HA-C และ HA-T) ในปริมาณเท่ากับ 0.8 และ 2.0 phr พบว่าการผสมสารเติมแต่ง HA ในยาง NR มีประสิทธิภาพในการป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากโอโซนได้เป็นอย่างดี ซึ่งสามารถอธิบายผลที่เกิดขึ้นได้จากการที่สารเติมแต่ง HA เป็นสารป้องกันการเสื่อมสภาพที่มีแร็กซ์และคาร์ดานอลเป็นส่วนประกอบ ทำให้สามารถป้องกันการเสื่อมสภาพได้ทั้งการป้องกันการเข้าทำปฏิกิริยาของโอโซนกับยาง NR และการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาถูกโซ่ จากที่ได้กล่าวไปแล้วว่าแร็กซ์ในปริมาณเท่ากับ 2 phr มีความสามารถในการป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากโอโซนในระดับ B-2 แต่เนื่องจากสารเติมแต่ง HA มีคาร์ดานอลเป็นส่วนประกอบ ซึ่งคาร์ดานอลมีพันธะคู่และหมู่ไฮดรอกซิลในโครงสร้างที่พร้อมและว่องไวที่จะเข้าทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระ (อนุมูลอิสระเกิดจากโอโซนที่ผ่านชั้นของฟิล์มแร็กซ์เข้าทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ของยาง) ทำให้อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นไม่ว่องไวต่อปฏิกิริยาส่งผลให้ยาง NR เกิดการเสื่อมสภาพได้น้อยลง โดยตัวอย่างยาง NR เกิดรอยแตกขนาดเล็กที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากโอโซนของสารเติมแต่ง HA ในปริมาณเท่ากับ 0.8 และ 2.0 phr กับ Wingstay-L[®] และคาร์ดานอลสังเคราะห์ในปริมาณเท่ากับ 0.6 phr พบว่าสารเติมแต่ง HA มีประสิทธิภาพในการป้องกันการเสื่อมสภาพในยาง NR ได้เป็นอย่างดี ทั้งนี้สามารถอธิบายได้จากการที่คาร์ดานอลมีหมู่ไฮดรอกซิลและพันธะคู่ในโครงสร้าง โมเลกุล อีกทั้งมีน้ำหนักโมเลกุลที่น้อยกว่า Wingstay-L[®] ดังแสดงในตารางที่ 4.3 ส่งผลทำให้คาร์ดานอลสามารถแพร่ออกมาทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระที่พื้นผิวของยาง NR ได้ดีกว่า

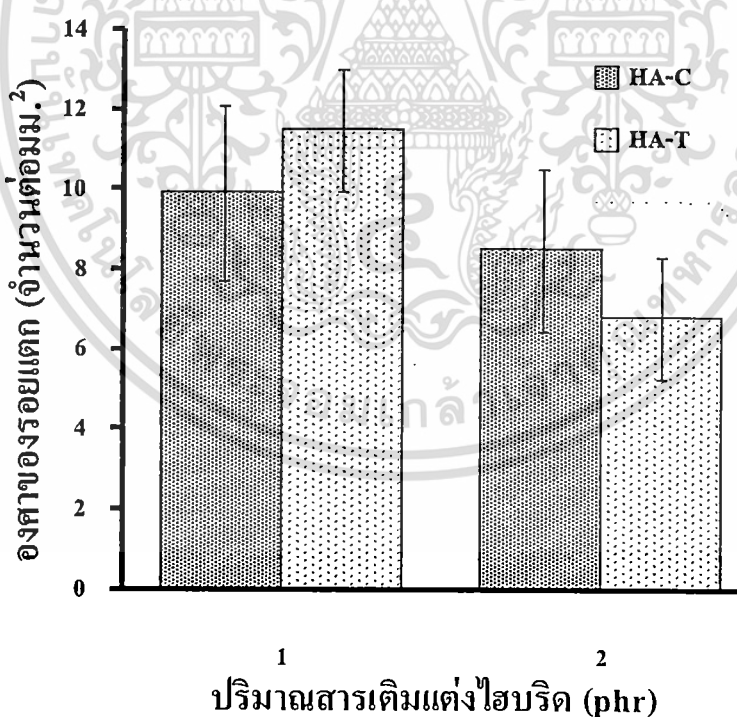
ตารางที่ 4.3 สมบัติของสารป้องกันการเสื่อมสภาพ

	โครงสร้าง	น้ำหนักโมเลกุล (กรัม/โมล)
Wingstay-L [®]		650
คาร์ดานอล		302
คาร์ดานอลสังเคราะห์		304

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อผสมสารเติมแต่ง HA ในปริมาณเท่ากับ 5.0 phr พบว่ายางเกิดรอยแตกที่มีขนาดใหญ่มากกว่า 3 มม. ซึ่งเป็นขนาดของรอยแตกที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า การเสื่อมสภาพที่เกิดขึ้นนี้ก็เนื่องจากการผสมสารเติมแต่ง HA ในปริมาณที่มากเกินไป มีผลต่อสมบัติเชิงกลของตัวอย่างยาง NR ทำให้ตัวอย่างยาง NR มีความอ่อนนุ่มและยืดหยุ่นมากขึ้น จึงส่งผลโดยตรงทำให้เกิดการเสื่อมสภาพได้ง่ายโดยเฉพาะอย่างยิ่งการเสื่อมสภาพเนื่องจากโอโซน

จากผลการทดสอบดังตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าการผสมสารเติมแต่ง HA ในปริมาณเท่ากับ 0.8 ถึง 2.0 phr มีส่วนช่วยปรับปรุงความสามารถในการป้องกันการเสื่อมเนื่องจากโอโซนของตัวอย่างยาง NR ได้เป็นอย่างดี ดังนั้นเพื่อเป็นการเปรียบเทียบความสามารถในการป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากโอโซนของยาง NR ที่ผสมสารเติมแต่ง HA ในการศึกษานี้ จึงนำเสนอการพิจารณาความสามารถในการป้องกันการเสื่อมสภาพในเทอม “⁽¹⁾ค่าองศาของรอยแตก” (degree of cracking) ซึ่งหมายถึงจำนวนรอยแตกขนาดเล็กที่เกิดขึ้นในพื้นที่ 1 มม.² ลักษณะของรอยแตกที่เกิดขึ้นนี้มีขนาดเล็กมากไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (ดังแสดงในรูปที่ 4.7) เมื่อใช้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยายเท่ากับ 40 เท่า ช่วยทำให้สามารถเปรียบเทียบถึงความสามารถในการป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากโอโซนของตัวอย่างยาง NR ได้ชัดเจนมากขึ้นตามรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบความสามารถในการป้องกันการเสื่อมสภาพของตัวอย่างยาง NR ที่ผสมสารเติมแต่ง HA ในปริมาณ 1.0 และ 2.0 phr

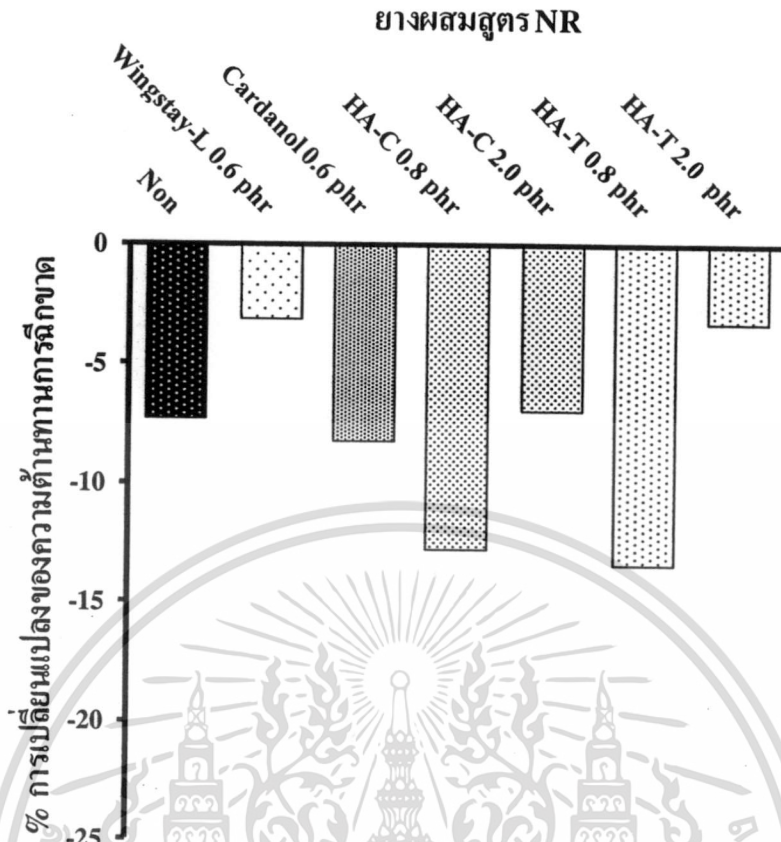
จากผลของปริมาณสารเติมแต่ง HA ต่อค่าองศาของรอยแตกดังรูปที่ 4.8 พบว่าตัวอย่างเอกรยาง NR ที่ผสมสารเติมแต่ง HA-T ในปริมาณ 2.0 phr เป็นปริมาณที่เทียบเท่าหรือสมมูลกับการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ หมายเหตุ ⁽¹⁾ ขอสงวนสิทธิ์การใช้ค่าองศาของรอยแตกเฉพาะงานวิจัยนี้เท่านั้น

ปริมาณของคาร์ดานอลเท่ากับ 1.2 phr มีประสิทธิภาพในการป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากโอโซนได้ดีกว่าสารเติมแต่ง HA-C ทั้งนี้เนื่องจากสารเติมแต่ง HA-T ที่ได้จากการปรับสภาพน้ำมัน CNSL มีปริมาณของคาร์ดานอลที่มากกว่าสารเติมแต่ง HA-C นั่นเอง จึงส่งผลให้มีความสามารถในการป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากโอโซนของยาง NR ได้ดีกว่า

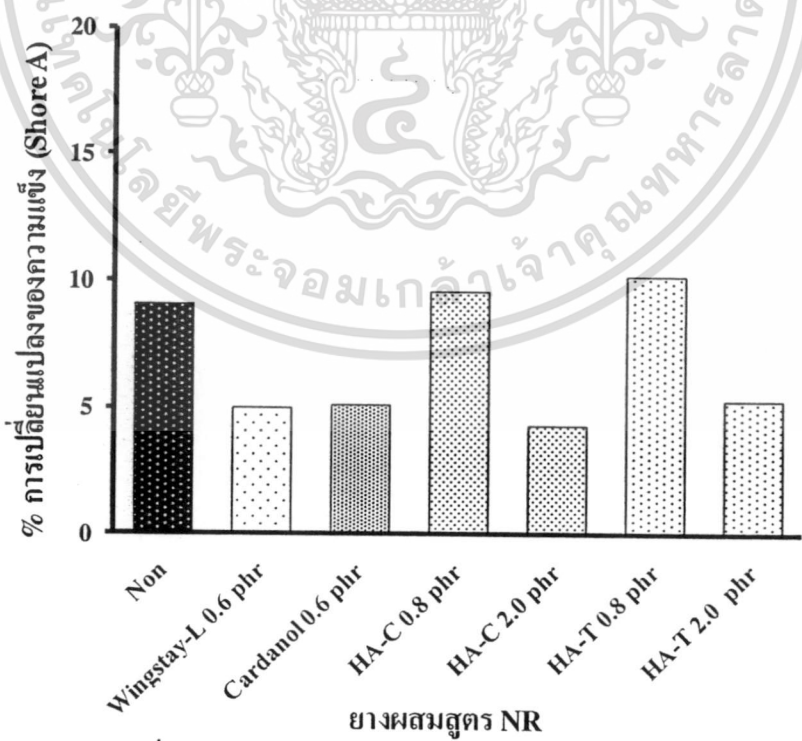
4.4.2 ผลของความต้านทานต่อการอบเร่งด้วยความร้อน

จากการศึกษาผลกระทบของปริมาณสารเติมแต่ง HA ต่อการป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นระยะเวลา 22 ชม. จากนั้นทำการวิเคราะห์สมบัติเชิงกลของตัวอย่างยาง NR ก่อนและหลังการอบเร่งด้วยความร้อน เพื่อจะทำการเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของตัวอย่างยาง NR ที่เปลี่ยนแปลงหลังจากการอบเร่งด้วยความร้อน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกันของสมบัติเชิงกลแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการป้องกันการเสื่อมสภาพของสารป้องกันการเสื่อมสภาพที่ผสมในยาง NR โดยในการพิจารณาความสามารถในการป้องกันการเสื่อมสภาพสามารถพิจารณาได้จากร้อยละการเปลี่ยนแปลงของสมบัติเชิงกลของยาง NR ก่อนและหลังอบเร่งด้วยความร้อนพร้อมกับเปรียบเทียบกับตัวอย่างยาง NR ที่ผสม Wingstay - L[®] และคาร์ดานอลสังเคราะห์ในปริมาณเท่ากับ 0.6 phr ซึ่งจากผลการทดสอบความต้านทานแรงดึง ระยะการยืดที่จุดขาด ความต้านทานการฉีกขาด และความแข็ง (shore A) ของยาง NR ก่อนและหลังการอบเร่ง ดังแสดงในภาคผนวก ก. ตารางที่ ง. 1 และ ง. 2 จะเห็นได้ว่าภาวะที่ตัวอย่างยาง NR ได้รับการอบเร่ง ส่งผลให้ตัวอย่างยาง NR มีความต้านทานแรงดึง ระยะการยืดที่จุดขาด ความต้านทานการฉีกขาด และความแข็งเกิดการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกัน เนื่องจากผลของประสิทธิภาพในการป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากออกซิเจนและความร้อนของสารป้องกันการเสื่อมสภาพที่ผสมในยาง NR

และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากออกซิเจนและความร้อน โดยพิจารณาจากร้อยละการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานการฉีกขาดและความแข็งของแสดงในรูปที่ 4.9 และ 4.10 พบว่าตัวอย่างยาง NR (Non) มีร้อยละการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานการฉีกขาดและความแข็งมีค่าเท่ากับ 7 และ 9 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากยาง NR มีสมบัติการต้านทานต่อการฉีกขาดที่เสถียรต่อความร้อนสูงและการเปลี่ยนแปลงสมบัติความแข็งอาจเกิดเนื่องจากการระเหยของน้ำมันหรือการเกิดปฏิกิริยาหลังการอบเร่งของตัวอย่างยาง NR ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการพิจารณาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการป้องกันการเสื่อมสภาพของยาง NR



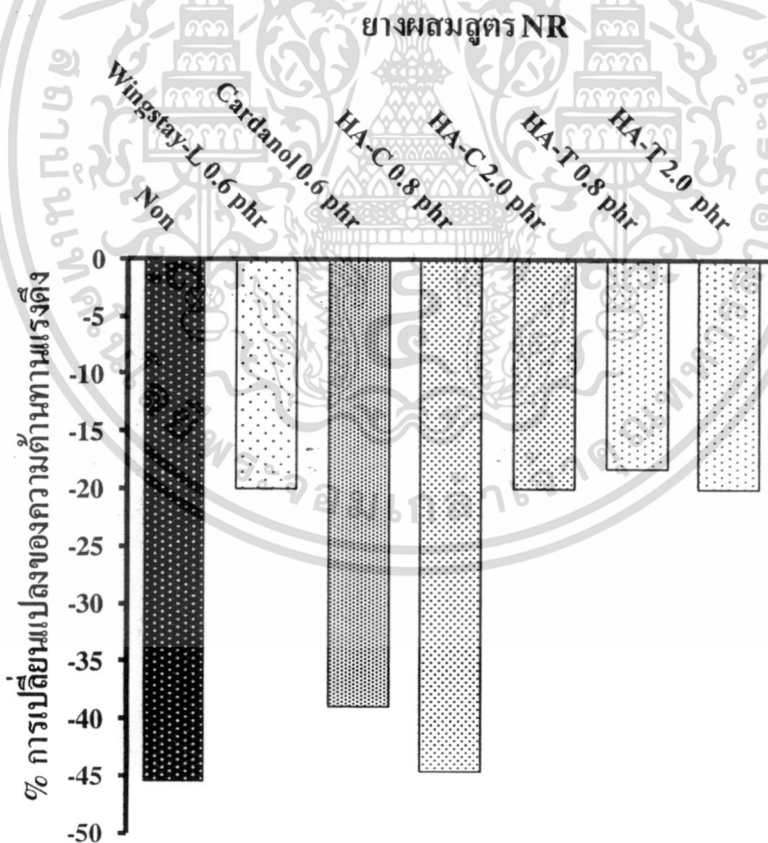
รูปที่ 4.9 ผลของปริมาณสารเติมแต่ง HA ต่อความต้านทานการฉีกขาด



รูปที่ 4.10 ผลของปริมาณสารเติมแต่ง HA ต่อความแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

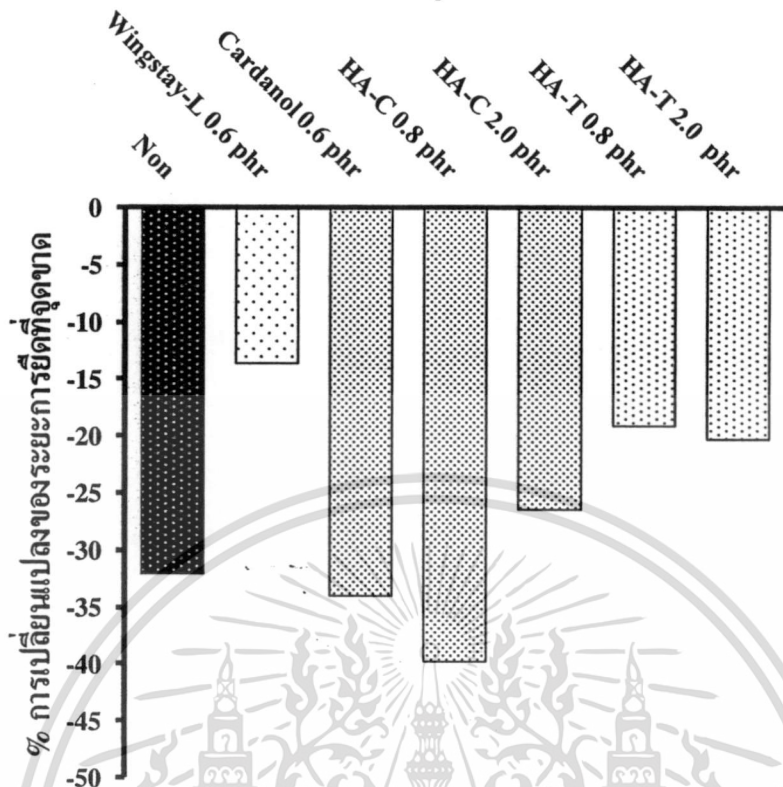
ในกรณีของร้อยละการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานแรงดึงและระยะการยืดที่จุดขาด ดังแสดงในรูปที่ 4.11 และ 4.12 พบว่าตัวอย่างยาง NR (Non) มีร้อยละการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานแรงดึงและระยะการยืดที่จุดขาดเท่ากับ 45 และ 32 ตามลำดับ เนื่องจากภาวะอบแรงตัวอย่างยาง NR ที่อุณหภูมิ 100 °C ทำให้แก้วซ์ (แก้วซ์ที่ใช้ในการศึกษาเป็นแก้วซ์ผสมระหว่าง พาราฟินแก้วซ์และไมโครคริสตัสไลน์แก้วซ์มีอุณหภูมิการหลอมเหลวเท่ากับ 58 และ 71 °C) สามารถละลายในยาง NR ได้มากขึ้น ส่งผลให้ความหนาของชั้นฟิล์มแก้วซ์ไม่มีประสิทธิภาพในการป้องกันการเข้าทำปฏิกิริยาของออกซิเจนกับยาง NR ได้ และเมื่อเปรียบเทียบผลของการผสมสารเติมแต่ง HA ต่อร้อยละการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานแรงดึงและระยะการยืดที่จุดขาด พบว่าการผสมสารเติมแต่ง HA-C ในปริมาณเท่ากับ 0.8 phr ยังไม่มีประสิทธิภาพในการป้องกันการเสื่อมสภาพได้ ทั้งนี้เนื่องมาจากการที่คาร์บอนอลมีขนาดของโมเลกุลที่เล็ก ส่งผลให้เกิดการระเหยได้ง่าย แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อทำการผสมสารเติมแต่ง HA-C ในปริมาณเท่ากับ 2.0 phr ซึ่งเป็นปริมาณที่เทียบเท่าหรือสมมูลกับปริมาณของคาร์บอนอลเท่ากับ 0.2 phr พบว่าการผสมสารเติมแต่ง HA-C มีประสิทธิภาพในการป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนได้ดีขึ้น



รูปที่ 4.11 ผลของปริมาณสารเติมแต่ง HA ต่อความต้านทานแรงดึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยางผสมสูตร NR



รูปที่ 4.12 ผลของปริมาณสารเติมแต่ง HA ต่อระยะการยึดที่จุดขาด

และจากผลการศึกษาค้นคว้าผลของสารเติมแต่ง HA-T ในปริมาณเท่ากับ 0.8 ถึง 2.0 phr ซึ่งเป็นปริมาณที่เทียบเท่าหรือสมมูลกับปริมาณของคาร์ดานอลเท่ากับ 0.6 และ 1.2 phr ตามลำดับ มีประสิทธิภาพในการป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนได้ดีกว่าสารเติมแต่ง HA-C ทั้งนี้เนื่องจาก สารเติมแต่ง HA-T มีปริมาณของคาร์ดานอลในปริมาณที่มากกว่านั่นเองดังที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนกับ Wingstay-L® และคาร์ดานอลสังเคราะห์พบว่าการผสมสารเติมแต่ง HA-T ในปริมาณ 2.0 phr มีประสิทธิภาพในการป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนได้ดีกว่าคาร์ดานอลสังเคราะห์ เนื่องจากคาร์ดานอลในน้ำมัน CNSL มีพันธะคู่ที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระ แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อทำการเปรียบเทียบกับ Wingstay-L® พบว่ามีประสิทธิภาพในการป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนได้ต่ำกว่าเล็กน้อย เนื่องจากคาร์ดานอลระเหยได้ง่ายกว่าดังที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น

จากผลการทดสอบผลของสารเติมแต่ง HA ต่อความสามารถในการป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนข้างต้น แสดงให้เห็นว่าสารเติมแต่ง HA มีประสิทธิภาพในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยคาร์ดานอลจะแพร่ออกมายังพื้นผิวของยางและทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระได้เป็นอย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า.

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

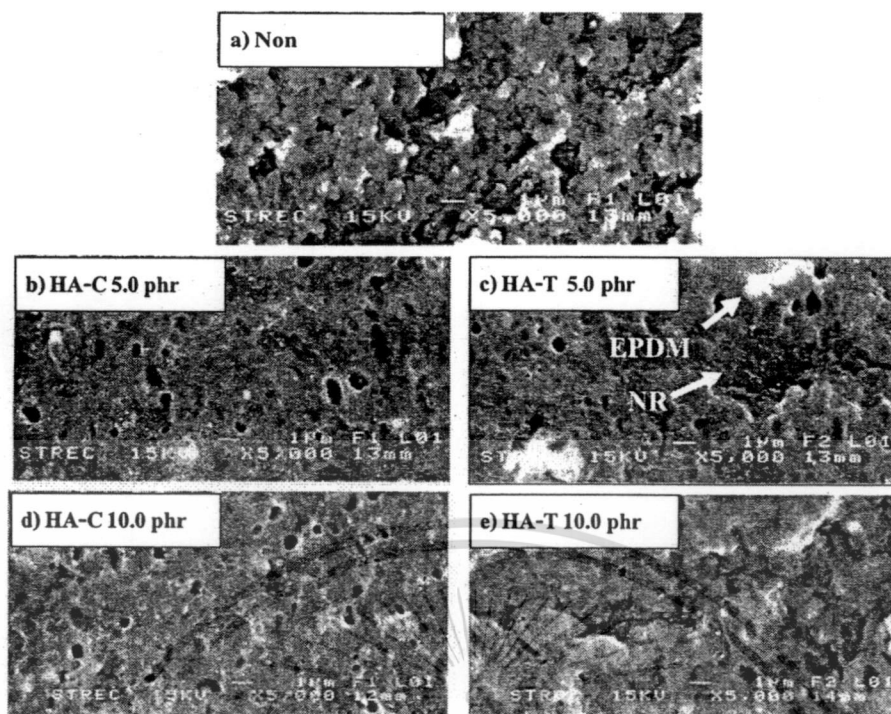
4.5 ผลของสารเติมแต่งไฮบริดต่อความสามารถในการช่วยผสมยางธรรมชาติกับยาง EPDM

การทดลองในส่วนนี้ต้องการศึกษาถึงความสามารถในการช่วยผสมเข้ากันได้ของยางผสมระหว่างยาง NR กับยาง EPDM โดยใช้สารเติมแต่ง HA สำหรับทำหน้าที่เป็นสารช่วยผสมเพื่อช่วยให้เกิดการกระจายและการยึดเกาะระหว่างเฟสของยาง NR และเฟสของยาง EPDM ให้ดีขึ้น ในการพิจารณาความสามารถในการผสมเข้ากันได้ของยางผสมสามารถตรวจสอบได้จากการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคด้วยเทคนิค SEM ซึ่งการผสมเข้าได้ดีนั้นจะส่งผลให้ยางผสมมีสมบัติทางกายภาพได้ดีขึ้น รวมทั้งช่วยเพิ่มความสามารถในการป้องกันการเสื่อมสภาพอีกด้วย

4.5.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของตัวอย่างยางผสม NR/EPDM

จากการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของยางผสมระหว่างยาง NR และยาง EPDM ที่ถูกย้อมสีด้วยออสเมียมเตรดครอโรไซด์ ด้วยเทคนิค SEM ที่กำลังขยาย 5000 เท่า เพื่อศึกษาผลของการผสมสารเติมแต่ง HA-C และ HA-T ต่อการกระจายและการยึดเกาะระหว่างเฟสของยางผสมระหว่างยาง NR และยาง EPDM แสดงได้ดังรูปที่ 4.13 จากโครงสร้างจุลภาคของยางผสมที่ผ่านการย้อมสีด้วยออสเมียมเตรดครอโรไซด์ ซึ่งช่วยทำให้สามารถสังเกตเห็นเฟสของยาง NR เกิดเป็นสีเทาและเฟสยาง EPDM เป็นสีขาว โดยทั่วไปนั้นการย้อมสีด้วยออสเมียมเตรดครอโรไซด์คือการเลือกเข้าทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ และในยาง NR ซึ่งมีจำนวนพันธะคู่ที่มากกว่ายาง EPDM ทำให้สามารถสังเกตเห็นเฟสของยาง NR เป็นสีเทา จากอิทธิพลของการผสมสารเติมแต่ง HA ต่อลักษณะโครงสร้างจุลภาคของยางผสม พบว่าตัวอย่างยางผสมที่ผสมสารเติมแต่ง HA ดังแสดงในรูปที่ 4.13(a) แสดงให้เห็นธรรมชาติของการผสมอย่างชัดเจนว่ายาง NR และยาง EPDM ไม่สามารถผสมเข้ากันได้ เนื่องจากความแตกต่างของโครงสร้างทางเคมีของยางทั้งสองชนิดนั่นเอง จากรูปที่ได้ดังกล่าวสามารถสังเกตเห็นการแยกเฟสได้อย่างชัดเจน ซึ่งแสดงถึงการยึดเกาะระหว่างเฟสของยางทั้งสองที่ไม่ดี

และในกรณีของตัวอย่างยางผสมที่ผสมสารเติมแต่ง HA ดังแสดงในรูปที่ 4.13(b) ถึง (e) แสดงให้เห็นว่าการผสมสารเติมแต่ง HA สามารถช่วยทำให้เกิดการยึดเกาะกันระหว่างเฟสของยาง NR และยาง EPDM ให้ผสมเข้ากันได้ดีขึ้น อาจจะอธิบายได้จากโครงสร้างของคาร์บอนอลในน้ำมัน CNSL ที่มีส่วนที่เป็นอะโรมาติกและอะลิฟาติกจำนวนคาร์บอน 15 อะตอม ทำให้สามารถละลายได้ทั้งเฟสของยาง NR และยาง EPDM จึงทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมประสานระหว่างเฟสของยาง NR และยาง EPDM ส่วนในกรณีผลของปริมาณของสารเติมแต่ง HA พบว่าไม่สามารถสังเกตเห็นความแตกต่างได้ ทั้งนี้อาจเนื่องจากการผสมสารเติมแต่งในปริมาณที่มากเกินไป แต่อย่างไรก็ตาม จากผลการทดลองในตอนต้นมีข้อสังเกตที่น่าสนใจก็คือการผสมสารเติมแต่งที่มากเกินไป จะส่งผลทำให้ความสามารถในการต้านทานการเสื่อมสภาพลดลง



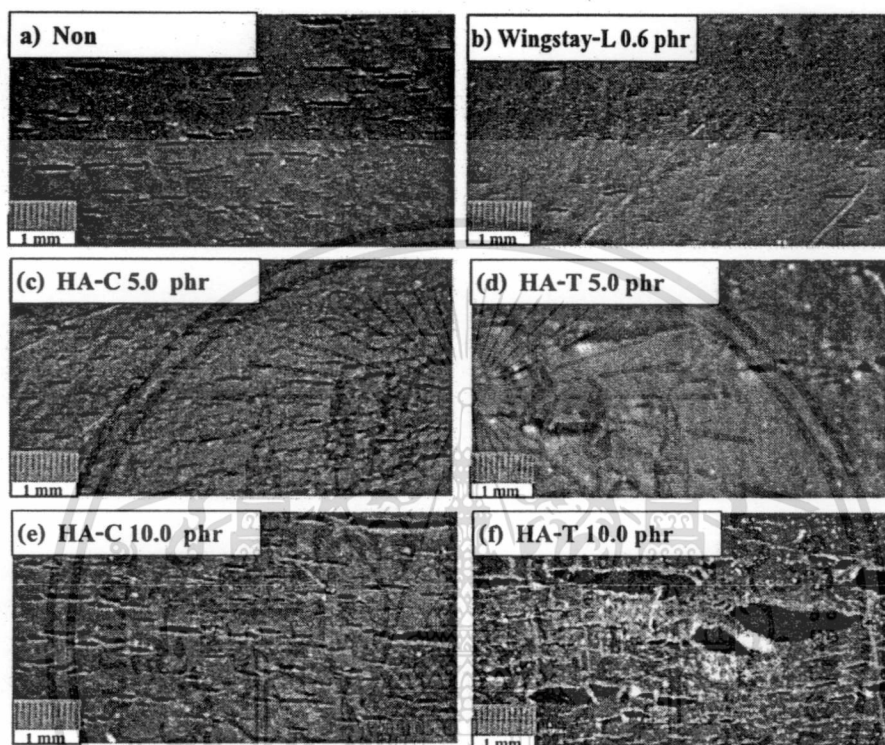
รูปที่ 4.13 โครงสร้างจุลภาคของยางผสมระหว่างยาง NR (เฟสสีเทา) กับยาง EPDM (เฟสสีขาว) ที่สัดส่วนการผสม 75:25 เมื่อผสมสารเติมแต่ง HA ในปริมาณต่าง ๆ (ภาพถ่ายที่ กำลังขยาย X 5000 เท่า)

4.5.2 ผลการทดสอบความต้านทานต่อโอโซน

จากการศึกษาถึงอิทธิพลของปริมาณสารเติมแต่ง HA ที่ใช้เป็นสารช่วยผสมสำหรับยางผสมระหว่างยาง NR กับยาง EPDM ต่อการปรับปรุงความสามารถในการป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากโอโซนของตัวอย่างยางผสมที่ความเข้มข้นของโอโซน 50 pphm อุณหภูมิ 40 °C เป็นระยะเวลา 72 ชม. เพื่อศึกษาความสามารถในการป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากโอโซนของตัวอย่างยางผสมที่ผสมสารเติมแต่งทั้งสองชนิดคือ HA-C และ HA-T โดยเปรียบเทียบกับตัวอย่างยางผสมที่ผสม Wingstay-L® ในปริมาณ 0.6 phr ในการพิจารณาระดับของความสามารถในการต้านทานต่อโอโซนจะพิจารณาจากความหนาแน่นและขนาดของรอยแตกบนพื้นผิวของตัวอย่างยางผสมที่ผ่านการอบเร่งด้วยโอโซน ดังเช่นที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น ซึ่งลักษณะของการเสื่อมสภาพของยางผสมสามารถสังเกตได้โดยใช้กล้องถ่ายภาพแบบดิจิทัลที่กำลังขยาย 40 เท่า แสดงดังรูปที่ 4.14

จากจำนวนและขนาดของรอยแตกบนพื้นผิวของตัวอย่างยางผสมที่ผ่านการอบเร่งด้วยโอโซน ทำให้สามารถแสดงระดับของความสามารถในการป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากโอโซนได้ดังตารางที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าการผสมยาง EPDM เพื่อปรับปรุงสมบัติการป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากโอโซนในยาง NR (ไม่ผสมสารช่วยผสม) ส่งผลทำให้ยาง NR มีความสามารถในการป้องกันการเสื่อมสภาพอยู่ในระดับ C-4 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างยางไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NR (Non) ดังตารางที่ 4.2 พบว่าไม่ช่วยทำให้ยาง NR มีความสามารถในการป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากโอโซนได้ดีขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการที่ยางทั้งสองชนิดผสมไม่เข้ากัน ดังรูปที่ 4.13 จึงทำให้การผสมยาง EPDM ไม่ช่วยทำให้เฟสของยาง NR มีความสามารถในการป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากโอโซนได้



รูปที่ 4.14 ภาพถ่ายรอยแตกของตัวอย่างยาง NR/EPDM ที่ผสมสารเติมแต่ง HA

และเมื่อเปรียบเทียบผลของสารช่วยผสม (สารเติมแต่ง HA-C และ HA-T) ในปริมาณเท่ากับ 5.0 และ 10.0 phr ต่อความสามารถในการป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากโอโซน พบว่าการผสมสารเติมแต่ง HA-T มีแนวโน้มการเสื่อมสภาพเนื่องจากโอโซนลดลง โดยสามารถทำให้ตัวอย่างยางผสมมีความสามารถในการป้องกันการเสื่อมสภาพอยู่ในระดับ B-5 และยังสามารถป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากโอโซนได้ดีกว่าตัวอย่างยางผสมที่ผสม Wingstay-L® ซึ่งอาจจะเป็นผลจากการคาร์บอนในน้ำมัน CNSL มีส่วนช่วยในการเชื่อมประสานระหว่างเฟสของยาง NR กับเฟสของ EPDM ให้ผสมเข้ากันได้ดีขึ้น จึงทำให้ยางผสมมีสมบัติความต้านทานต่อโอโซนได้ดีขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.13(c) และ (e) และในกรณีของการผสมสารเติมแต่ง HA-C พบว่ามีการเสื่อมสภาพเนื่องจากโอโซนอยู่ในระดับ C-4 พิจารณาจากรูปที่ 4.13(b) และ(d) แสดงให้เห็นเฟสของยาง NR และยาง EPDM มีการยึดเกาะระหว่างเฟสของ NR และเฟสของ EPDM ที่ดี แต่เนื่องจากผสมสารเติมแต่ง HA-C ในปริมาณที่มากเกินไป อาจมีผลทำให้มีการปนเปื้อนของ

เอกสารประกอบอื่นๆ ในยังมีผสมมากตามไปด้วย เพราะเนื่องจากสารเติมแต่ง HA-C เติร์มจากการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำมัน CNSL ตามธรรมชาติที่ไม่ผ่านขั้นตอนการเพิ่มปริมาณคาร์บอนอาจส่งผลต่อความสามารถในการป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากโอโซนที่ลดลง แต่อย่างไรก็ตามการผสมยาง EPDM ซึ่งจัดเป็นยางที่ทนต่อโอโซนได้เป็นอย่างดีจึงยังทำให้ยางผสมมีความสามารถที่จะป้องกันการเสื่อมสภาพได้

ตารางที่ 4.4 ระดับความต้านทานต่อโอโซนของตัวอย่างยาง NR/EPDM

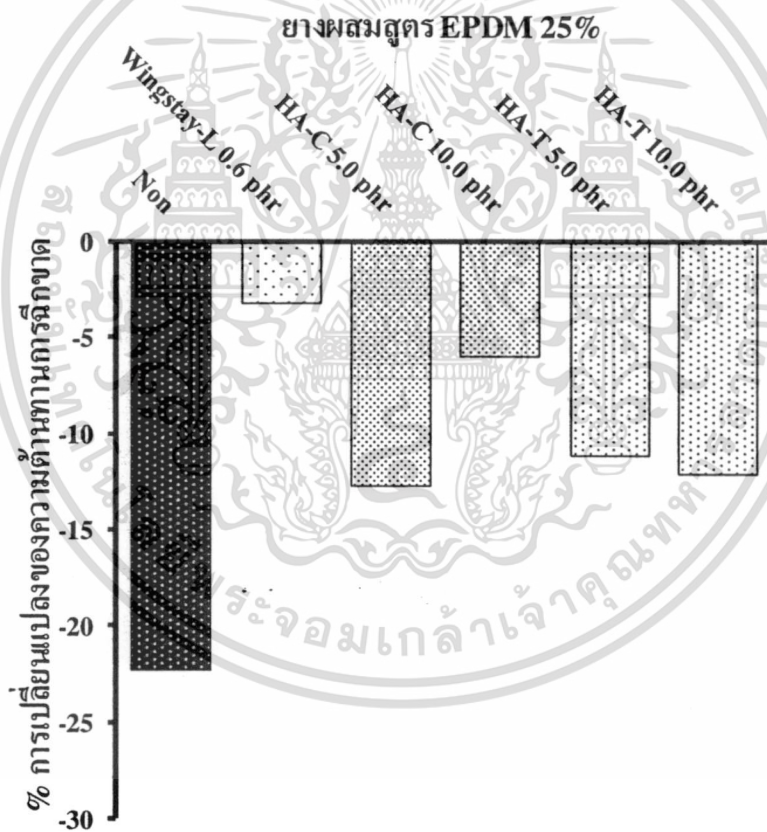
ตัวอย่าง	ระดับ
Non	C-4
Wingstay-L 0.6 phr	C-4
HA-C 5.0 phr	C-4
HA-C 10.0 phr	C-4
HA-T 5.0 phr	B-5
HA-T 10.0 phr	B-5

4.5.3 ผลสมบัติเชิงกลของตัวอย่างยาง NR/EPDM ที่ผ่านการอบเร่งด้วยความร้อน

จากการศึกษาผลกระทบของปริมาณสารเติมแต่ง HA ที่ใช้เป็นสารช่วยผสมยางผสมระหว่างยาง NR กับยาง EPDM ต่อการปรับปรุงความสามารถในการป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นระยะเวลา 22 ชม. โดยในการพิจารณาความสามารถในการป้องกันการเสื่อมสภาพจากร้อยละการเปลี่ยนแปลงของสมบัติเชิงกลของยางผสมก่อนและหลังการอบเร่ง ซึ่งจากผลการทดสอบความต้านทานแรงดึง ระยะการยืดที่จุดขาด ความต้านทานการฉีกขาด และความแข็ง (shore A) ของยาง NR ก่อนและหลังอบเร่งแสดงในภาคผนวก ง. ตารางที่ ง.3 และ ง.4 และร้อยละการเปลี่ยนแปลงของสมบัติเชิงกลแสดงได้ดังรูปที่ 4.15 ถึง 4.18 ซึ่งจะแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณสารเติมแต่ง HA ในปริมาณเท่ากับ 5.0 และ 10.0 phr ต่อร้อยละการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานแรงดึง ระยะการยืดที่จุดขาด ความต้านทานการฉีกขาด และความแข็งพบว่าการอบเร่งด้วยความร้อนทำให้ตัวอย่างยางผสมมีค่าของความต้านทานแรงดึง ระยะการยืดที่จุดขาด และความต้านทานการฉีกขาด และความแข็งของตัวอย่างยางเกิดการเปลี่ยนแปลงหลังการอบเร่งที่แตกต่างกัน เป็นมาจากยางผสมมีประสิทธิภาพในการป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนได้นั่นเอง และจากการพิจารณาร้อยละการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานการฉีกขาดของตัวอย่างยางผสม (ยางผสมสูตร Non) ดังแสดงในรูปที่ 4.15

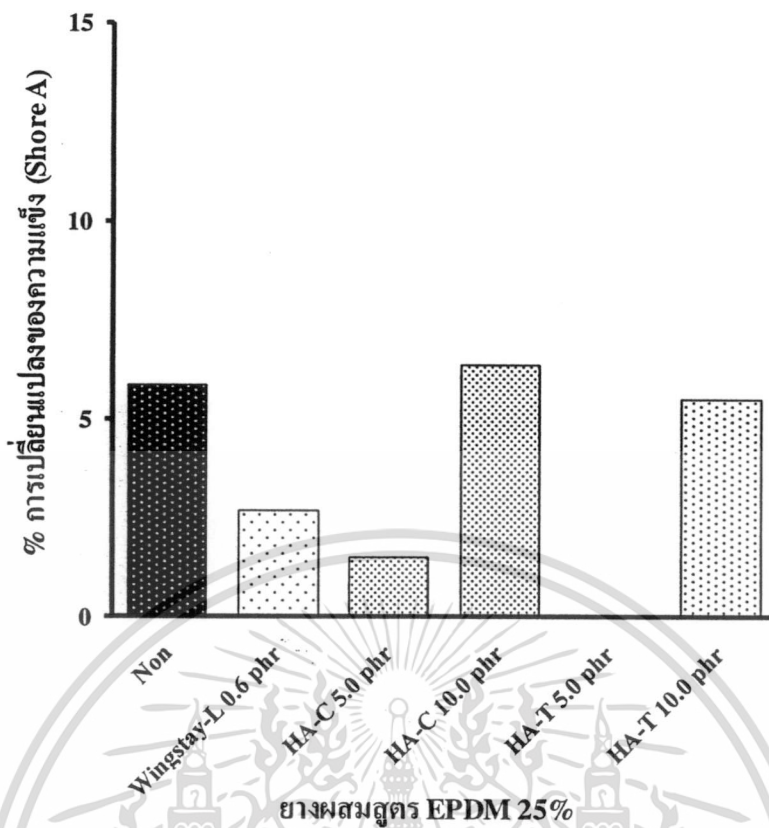
เมื่อพิจารณาจากรูปดังกล่าวจะพบว่าตัวอย่างยางผสมที่ไม่ผสมสารเติมแต่ง HA มีร้อยละการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานการฉีกขาดมีค่าที่มากที่สุด เมื่อรูปร่างนี้ อาจจะมีข้อจำกัดในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสามารถในการผสมเข้ากันระหว่างของเฟสของยาง NR และเฟสของยาง EPDM ซึ่งเมื่อไม่ใส่สารช่วยผสมจึงทำให้ผสมไม่เข้ากันและไม่มีการยึดเกาะระหว่างเฟสที่ดี อีกทั้งยังอาจจะเกิดการเสื่อมสภาพได้ง่ายในส่วนของเฟสยาง NR อีกด้วย ดังแสดงในรูปที่ 4.13(a) และเมื่อพิจารณาผลของการผสมสารเติมแต่ง HA พบว่าตัวอย่างยางผสมมีร้อยละการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานการฉีกขาดลดลงและมีแนวโน้มใกล้เคียงกับตัวอย่างยางผสมที่ผสม Wingstay-L® ซึ่งจากผลการทดลองในส่วนนี้จะช่วยยืนยันได้ว่าการผสมสารเติมแต่ง HA มีส่วนช่วยปรับปรุงการผสมเข้ากันของยาง NR และยาง EPDM ได้ดีขึ้น ส่งผลให้เฟสของยาง NR เกิดการเสื่อมสภาพได้น้อยลงดังแสดงในรูปที่ 4.13(b) ถึง (e) ในกรณีของร้อยละการเปลี่ยนแปลงของความแข็งแรงของตัวอย่างยางผสมดังแสดงในรูปที่ 4.16 พบว่าตัวอย่างยางผสมมีร้อยละการเปลี่ยนแปลงของความแข็งแรงน้อยกว่าร้อยละ 5 ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากผลของการอบเร่งทำให้เกิดการระเหยของน้ำมันและการเกิดปฏิกิริยาหลังการบ่มสุกได้น้อย



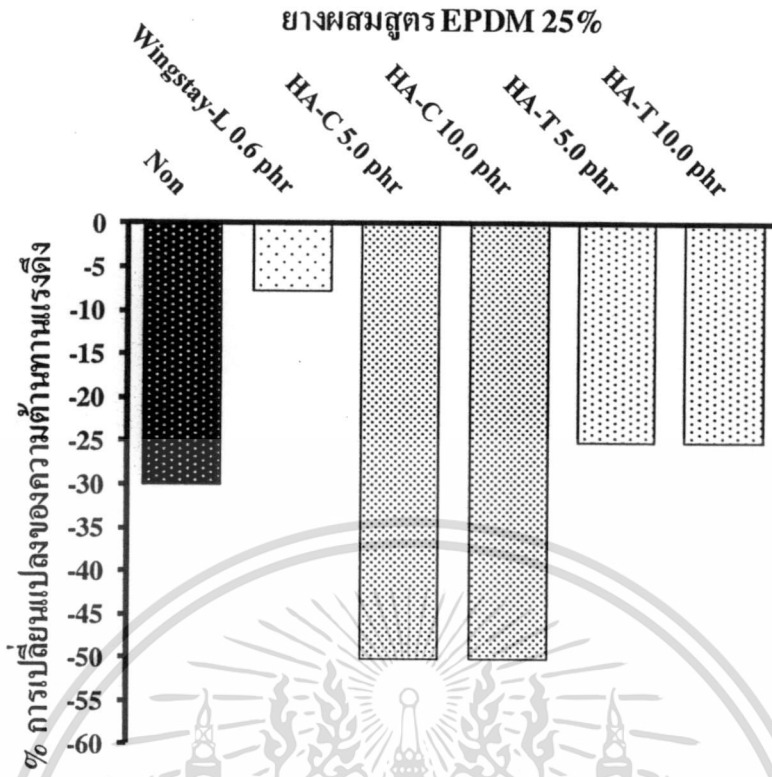
รูปที่ 4.15 ผลของปริมาณสารเติมแต่ง HA ต่อความต้านทานการฉีกขาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

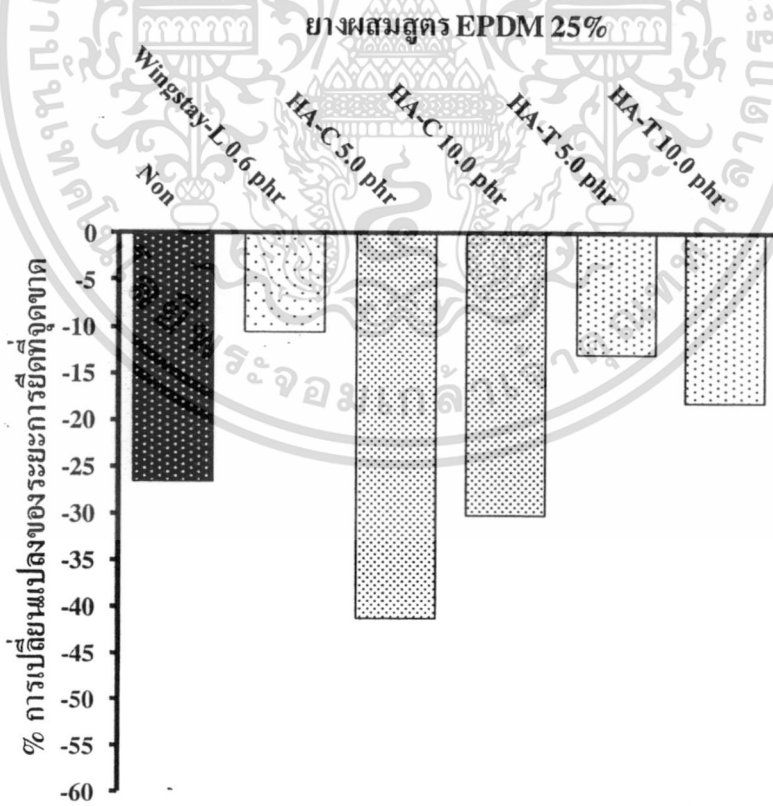


ยางผสมสูตร EPDM 25%
รูปที่ 4.16 ผลของปริมาณสารเติมแต่ง HA ต่อความแข็ง

เมื่อพิจารณาร้อยละการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานแรงดึงและระยะการยืดที่จุดขาดของตัวอย่างยางผสม ดังแสดงในรูปที่ 4.17 และ 4.18 พบว่าตัวอย่างยางผสมที่ไม่ผสมสารเติมแต่ง HA มีร้อยละการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานแรงดึงและระยะการยืดที่จุดขาดเท่ากับร้อยละ 30.0 และ 26.5 ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาผลของการผสมสารเติมแต่ง HA ในปริมาณเท่ากับ 5.0 และ 10.0 phr พบว่าตัวอย่างยางผสมที่ผสมสารเติมแต่ง HA-T มีร้อยละการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานแรงดึงและความยืดเมื่อขาดลดลง และมีแนวโน้มใกล้เคียงกับตัวอย่างยางผสมที่ผสม Wingstay-L® แสดงให้เห็นว่าการผสมสารเติมแต่ง HA-T มีส่วนช่วยปรับปรุงให้ยางผสมสามารถผสมเข้ากันได้ดีขึ้น ส่งผลให้เฟสของยาง NR เกิดการเชื่อมสภาพได้น้อยลง แต่เมื่อพิจารณาผลของการผสมสารเติมแต่ง HA-C พบว่ายังไม่สามารถปรับปรุงความสามารถในการป้องกันกร่อนสภาพได้ อาจเนื่องจากการผสมน้ำมัน CNSL ในปริมาณที่มากเกินไปจะมีผลของสารปนเปื้อนอื่น ๆ ผสมในยางผสมมากตามไปด้วยดังที่ได้อธิบายมาแล้วในหัวข้อ 4.5.2



รูปที่ 4.17 ผลของปริมาณสารเติมแต่ง HA ต่อความต้านทานแรงดึง



รูปที่ 4.18 ผลของปริมาณสารเติมแต่ง HA ต่อระยะการยืดที่จุดขาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการคำนวณเชิงเศรษฐศาสตร์การผลิตสารเติมแต่งไฮบริด

การศึกษาในส่วนนี้ เป็นการศึกษาเชิงเศรษฐศาสตร์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และประเมินราคาการผลิตสารเติมแต่ง HA จากน้ำมัน CNSL สำหรับการขยายระดับการผลิตในเชิงพาณิชย์ ซึ่งจะทำการประเมินราคาการก่อสร้างโรงงาน เครื่องจักรและค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการดำเนินการผลิต ในกรณีการศึกษาเชิงเศรษฐศาสตร์ของโครงการนี้ โรงงานจะถูกสร้างขึ้นในพื้นที่จังหวัดชลบุรี ซึ่งเป็นจังหวัดที่ใกล้แหล่งวัตถุดิบที่นำมาผลิตและโรงงานอุตสาหกรรมที่ผลิตผลิตภัณฑ์ยาง พร้อมทั้งเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตสารเติมแต่ง HA กับ Wingstay-L®

5.1 ผลการคำนวณต้นทุนการผลิตสารเติมแต่งไฮบริด

จากผลการศึกษากระบวนการผลิตสารเติมแต่ง HA จากน้ำมัน CNSL ดังที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น ทำให้สามารถแสดงขั้นตอนของกระบวนการผลิตสารเติมแต่ง HA ได้ดังนี้ คือ

ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมวัตถุดิบ

นำน้ำมัน CNSL มาปรับสภาพ โดยการต้มที่อุณหภูมิ 160 °C เป็นเวลา 30 นาที

ขั้นตอนที่ 2 การผสมวัตถุดิบ

นำน้ำมัน CNSL ที่ผ่านการปรับสภาพมาผสมกับแว็กซ์ผสม (พาราฟินแว็กซ์และไมโครคริสตัลไลน์แว็กซ์ สัดส่วน 60:40 โดยน้ำหนัก) ที่อุณหภูมิโดยประมาณ 80 - 90 °C เพื่อให้ส่วนผสมทั้งสองละลายเข้าด้วยกัน โดยใช้สัดส่วนของน้ำมัน CNSL ที่ผ่านการปรับสภาพที่ร้อยละ 73 โดยน้ำหนัก

ขั้นตอนที่ 3 การตกผลึกร่วม

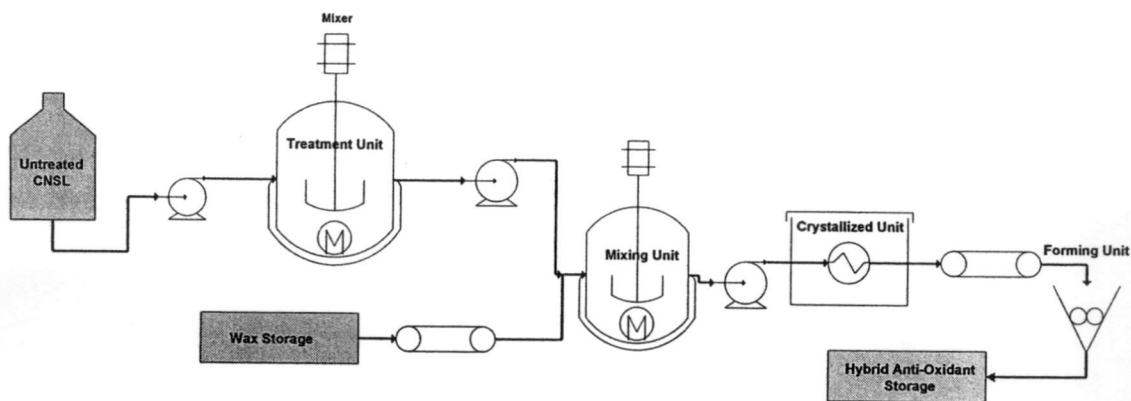
นำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 มาทำการลดอุณหภูมิลงจนเหลืออุณหภูมิประมาณ 30 °C เพื่อให้เกิดการตกผลึกร่วม ก็จะได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่พร้อมทำการขึ้นรูป

ขั้นตอนที่ 4 การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์

นำผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้จากขั้นตอนการตกผลึกร่วมมาทำการขึ้นรูปตามความต้องการของลูกค้า และนำไปจัดเก็บเพื่อรอส่งมอบให้กับลูกค้า

ในการคำนวณต้นทุนการผลิตสารเติมแต่ง HA จะทำการประมาณกำลังผลิตที่ 480 กก./วัน และจากอุปกรณ์และเครื่องจักรดังรูปที่ 5.1 ทำให้สามารถคำนวณต้นทุนการผลิตสารเติมแต่ง HA ซึ่งต้นทุนการผลิตสารเติมแต่ง HA ในปริมาณ 1 กิโลกรัมของ HA แบ่งได้เป็น 2 ส่วนสำคัญดังแสดงในตารางที่ 5.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.1 กระบวนการผลิตสารเติมแต่ง HA จากน้ำมัน CNSL

ตารางที่ 5.1 การคำนวณต้นทุนการผลิตสารเติมแต่ง HA ในปริมาณ 1 กิโลกรัมของ HA

รายการ	จำนวนเงิน (บาท/กก. ของ HA)
1. ต้นทุนวัตถุดิบ และ สารเคมีที่ใช้ (raw material cost)	
- น้ำมัน CNSL ปรับสภาพ	14.6
- ปีโตรเลียมเว็กซ์	10.6
2. ต้นทุนค่าดำเนินงาน (operating cost)	
- ค่าสาธารณูปโภค (น้ำ ไฟฟ้า)	1.7
- ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักร	0.5
- ค่าแรงงาน	0.7
- อื่นๆ (ภาษี ดอกเบี้ยเงินกู้)	15.7
รวมต้นทุน	43.8

จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้นทำให้สามารถประมาณต้นทุนการผลิตสารเติมแต่ง HA ได้ที่ กิโลกรัมละ 43.8 บาท และเมื่อเปรียบเทียบกับ Wingstay-L[®] ซึ่งมีราคา กิโลกรัมละ 290 บาท พบว่ามีราคาที่ต่ำกว่ามาก แสดงให้เห็นว่าการพัฒนาสารเติมแต่ง HA ช่วยทำให้ต้นทุนการผลิตผลิตภัณฑ์ยางของอุตสาหกรรมยางในประเทศมีต้นทุนที่ต่ำลง

5.2 การประเมินความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์การสร้างโรงงานผลิตสารเติมแต่ง HA

ในการประเมินความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์การสร้างโรงงานผลิตสารเติมแต่ง HA เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการลงทุนการสร้างโรงงานผลิตสารเติมแต่ง HA นั้น รายละเอียดของข้อมูลเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ในกรณีการศึกษาเชิงเศรษฐศาสตร์การสร้างโรงงาน แสดงได้ดังต่อไปนี้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.1 รายละเอียดของโครงการ[30]

อายุโครงการ	10 ปี
พื้นที่โครงการ	1 ไร่
โครงสร้างเป็นโรงงาน	1 ชั้น
งบประมาณ	
- มูลค่าที่ดิน	1,000,000 บาท
- มูลค่าการก่อสร้างโรงงาน	1,535,976 บาท
- มูลค่าในการดำเนินการผลิตครั้งแรก	281,775 บาท
- รวมมูลค่าโครงการ	2,817,751 บาท

5.2.2 รายละเอียดของกระบวนการผลิต

ในการศึกษาเชิงเศรษฐศาสตร์ประมาณกำลังผลิตสารเติมแต่ง HA ที่ปริมาณ 150 ตัน/ปี หรือ 480 กก./วัน (โรงงานทำการ 6 วันต่อสัปดาห์) และประมาณส่วนแบ่งทางการตลาด 1% ของปริมาณการนำเข้าเฉลี่ยของสารจำพวก Anti-oxidizing preparations and other compound stabilizers for rubber or plastics ตั้งแต่ปี 2005 ถึงปี 2009[31] จำหน่ายราคาเท่ากับ 80 บาท/กก.

5.2.3 รายละเอียดของเครื่องจักร

จากรูปที่ 5.1 สามารถที่จะแสดงรายละเอียดของอุปกรณ์และเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการผลิตสารเติมแต่ง HA ที่กำลังผลิต 480 กก./วัน แสดงได้ดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 รายละเอียดของอุปกรณ์และเครื่องจักร

อุปกรณ์	จำนวน (หน่วย)
1. storage tank ขนาด 2,500 ลิตร	1
2. ถังพร้อมใบกวนขนาด 100 ลิตร	2
3. heater	2
4. ถังตกผลึกขนาด 100 ลิตร	1
5. jacket ทำความเย็น	1
6. ป้อนที่อัตราการไหล 20 ลิตร/นาที	2
7. สายพานขนาด 10 นิ้ว ยาว 25 ฟุต	2
8. เครื่องขึ้นรูปขนาด 40 x 50 ซม.	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.4 รายละเอียดของแหล่งเงินทุน

- เงินทุนส่วนตัว	3,000,000 บาท
- เงินทุนกู้ยืม	2,000,000 บาท
- เงินทุนรวม	5,000,000 บาท

ที่มาของเงินทุน

- เงินทุนส่วนตัว มาจากการรวมหุ้นของผู้ประกอบการ

- เงินทุนกู้ยืม กู้ยืมจากธนาคาร ไทยพาณิชย์ด้วยดอกเบี้ย 7.5 % ต่อปี มีระยะเวลา

การผ่อนชำระ 10 ปี

5.2.5 ข้อมูลค่าใช้จ่ายรายปี

เนื่องจากสารเติมแต่ง HA เป็นสินค้าที่ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ในท้องตลาด ดังนั้นในการผลิตสารเติมแต่ง HA จึงมีการปรับเปลี่ยนกำลังผลิตขึ้นทุกปีจนกระทั่งเต็มกำลังการผลิตมีรายละเอียดแสดงได้ดังต่อไปนี้

ค่าใช้จ่ายคงที่ในแต่ละปีประกอบด้วย

ภาษี	50,720 บาท
ค่าประกัน	25,360 บาท
ค่าใช้จ่ายในการตลาด การบริหาร และการวางแผน	1,808,883 บาท
รวมค่าใช้จ่ายคงที่ในแต่ละปี	1,884,964 บาท

ค่าใช้จ่ายที่แปรผันในแต่ละปีตามกำลังการผลิต

ปีที่ 1	กำลังการผลิต 28,000 กก.	ค่าใช้จ่ายในการซื้อวัตถุดิบและค่าจ่ายแปรผันปี 1,195,950 บาท
ปีที่ 2	กำลังการผลิต 56,000 กก.	ค่าใช้จ่ายในการซื้อวัตถุดิบและค่าจ่ายแปรผันปี 2,391,900 บาท
ปีที่ 3	กำลังการผลิต 84,000 กก.	ค่าใช้จ่ายในการซื้อวัตถุดิบและค่าจ่ายแปรผันปี 3,587,850 บาท
ปีที่ 4	กำลังการผลิต 112,000 กก.	ค่าใช้จ่ายในการซื้อวัตถุดิบและค่าจ่ายแปรผันปี 4,783,800 บาท
ปีที่ 5-10	กำลังการผลิต 140,000 กก.	ค่าใช้จ่ายในการซื้อวัตถุดิบและค่าจ่ายแปรผันปี 5,979,750 บาท

5.2.6 ข้อมูลรายรับ

ปีที่ 1 รายได้จากการขายสินค้า 2,240,000 บาท

ปีที่ 2 รายได้จากการขายสินค้า 4,480,000 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับลูกค้าใช้งานเพื่อการซื้อขายเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีที่ 3	รายได้จากการขายสินค้า	6,720,000	บาท
ปีที่ 4	รายได้จากการขายสินค้า	8,960,000	บาท
ปีที่ 5-10	รายได้จากการขายสินค้า	11,200,000	บาท

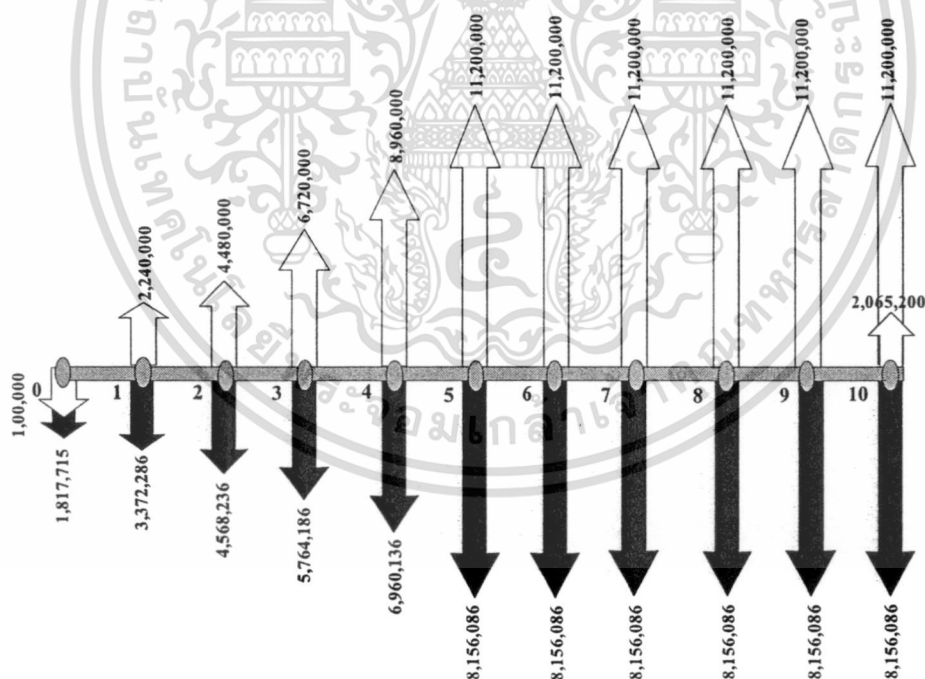
5.2.7 ข้อมูลการชำระหนี้

การชำระหนี้คืนธนาคารจะชำระทั้งหมด 10 งวด งวดละ 291,372 บาท/ปี

จากข้อมูลรายละเอียดของโครงการดังที่แสดงไปแล้วข้างต้น นำมาใช้ในการประเมินเชิงเศรษฐศาสตร์โดยจะทำการสร้างผังกระแสเงินสดในมุมมองของโครงการ และทำการคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เชิงเศรษฐศาสตร์ เพื่อใช้ประเมินว่าโครงการผลิตสารเติมแต่ง HA ว่ามีความเหมาะสมในการลงทุนมากน้อยเพียงใด โดยจะทำการพิจารณาจากพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้

ก. ผังกระแสเงินสดหลักและผังกระแสเงินสดสุทธิในมุมมองของโครงการ

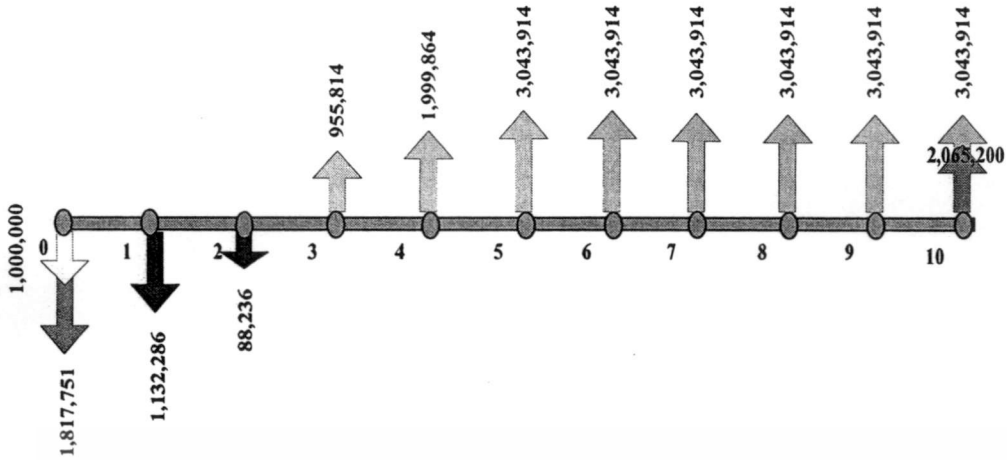
ในการสร้างผังกระแสเงินสดหลักและผังกระแสเงินสดสุทธิในมุมมองของโครงการ เพื่อที่จะแสดงรายรับและรายจ่ายในแต่ละปีของโรงงาน ซึ่งข้อมูลการประมาณรายรับและรายจ่ายแสดงในภาคผนวก จ. ตารางที่ จ. 3 ทำให้สามารถแสดงผังกระแสเงินสดหลักได้ดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 ผังกระแสเงินสดหลักในมุมมองของโครงการ

จากรูปที่ 5.2 แสดงให้เห็นถึงรายรับและรายจ่ายของโครงการในระยะเวลาของโครงการ 10 ปี และจากผังกระแสเงินสดหลักที่ได้แสดงดังกล่าว ทำให้สามารถแสดงผังกระแสเงินสดสุทธิของโครงการได้ดังรูปที่ 5.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 ผังกระแสเงินสดสุทธิในมุมมองของโครงการ

ข. ผลการคำนวณอัตราผลตอบแทนของโครงการที่คาดหวัง (MARR)

จากข้อมูลของแหล่งเงินทุนคงที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น สามารถนำมาคำนวณค่า WACC ได้เท่ากับร้อยละ 9 จากนั้นทำการประมาณค่า MARR ได้เท่ากับร้อยละ 15

ค. ผลการคำนวณอัตราผลตอบแทนของโครงการ (IRR)

การคำนวณอัตราผลตอบแทนของโครงการ (IRR) สามารถคำนวณได้จากค่า PW ดังแสดงในสมการที่ (จ. 1) โดยใช้วิธีการ trial and error ค่า IRR เพื่อให้ได้ค่าที่ทำให้ผลต่างของค่า PW ในส่วนของรายรับกับรายจ่ายเท่ากับศูนย์ จากผลจากการคำนวณพบว่าค่า IRR มีค่าเท่ากับร้อยละ 32.1

ง. ผลการคำนวณมูลค่าโครงการในปัจจุบัน (PW) และในอนาคต (FW)

การประเมินมูลค่าโครงการในปัจจุบันและมูลค่าโครงการในอนาคตโดยใช้ข้อมูลจากผังกระแสเงินสดหลักดังรูปที่ 5.2 ผังกระแสเงินสดสุทธิดังรูปที่ 5.3 และใช้ค่า MARR เท่ากับร้อยละ 15 รายละเอียดการคำนวณแสดงในภาคผนวก จ. สมการที่ (จ. 2) และ (จ. 3) ผลที่ได้แสดงดังนี้

มูลค่าโครงการในปัจจุบันเท่ากับ 5,463,217 บาท

มูลค่าโครงการในอนาคตเท่ากับ 20,231,388 บาท

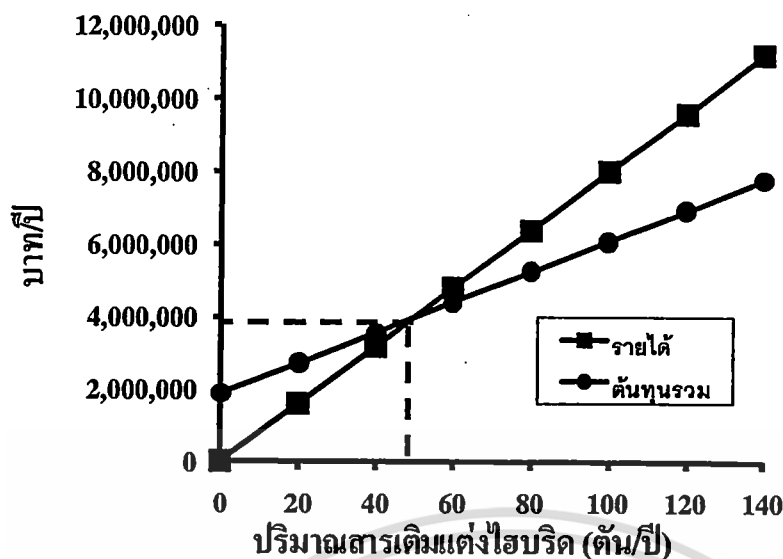
จ. ผลการคำนวณระยะเวลาคืนทุนของโครงการ (n_p)

ในการคำนวณระยะเวลาในการคืนทุน payback period (n_p) ใช้ข้อมูลจากผังกระแสเงินสดสุทธิดังรูปที่ 5.3 และใช้ค่า MARR เท่ากับร้อยละ 15 พบว่าโครงการมีระยะเวลาในการคืนทุนเท่ากับ 3 ปี 1 เดือน รายละเอียดแสดงในภาคผนวก จ. สมการที่ (จ. 4)

ฉ. ผลการคำนวณกำลังการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องผลิตถึงจุดคุ้มทุน

การคำนวณจุดคุ้มทุนของการผลิตสารเติมแต่ง HA ทำได้โดยการนำข้อมูลรายรับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า และรายจ่ายมาหาความสัมพันธ์กับกำลังการผลิตดังรูปที่ 5.4

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่เนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 การประมาณหาจุดคุ้มทุนในการผลิตสารเติมแต่ง HA

จากความสัมพันธ์ของกำลังการผลิตกับรายได้และต้นทุนรวม พบว่าจุดตัดแสดงถึงกำลังการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องผลิตเพื่อให้ถึงจุดคุ้มทุน ซึ่งเป็นจุดที่มีกำลังการผลิตเท่ากับ 49 ตัน/ปี

จากผลการประเมินความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์ดังกล่าวข้างต้น พบว่าโครงการการสร้างโรงงานผลิตสารเติมแต่ง HA มีค่า IRR มากกว่า MARR ถึงสองเท่า แสดงให้เห็นว่าโครงการการสร้างโรงงานผลิตสารเติมแต่ง HA มีความน่าจะเป็นไปได้ในการลงทุนสร้างโรงงานผลิตสารเติมแต่ง HA นอกจากนี้ มูลค่าโครงการในปัจจุบันและในอนาคตมีค่ามากกว่าศูนย์และยังมีระยะเวลาคืนทุนของโครงการใช้ระยะเวลาเพียง 3 ปี 1 เดือน นั้นยังแสดงให้เห็นว่าโครงการการสร้างโรงงานผลิตสารเติมแต่ง HA มีความเหมาะสมในการลงทุน

บทที่ 6

สรุปผลการทดลอง

6.1 ผลของเวลาสำหรับการปรับสภาพน้ำมัน CNSL ต่อปริมาณของคาร์บอนอลที่ได้

จากการทดลองปรับสภาพน้ำมัน CNSL ด้วยปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันที่อุณหภูมิ 160 °C เป็นระยะเวลา 30 นาที สามารถปรับเพิ่มปริมาณของคาร์บอนอลในน้ำมัน CNSL ได้จากที่มีร้อยละ 11 โดยน้ำหนัก ได้เป็นร้อยละ 82 โดยน้ำหนัก

6.2 ผลการศึกษาพฤติกรรมการตกผลึกร่วมของแว็กซ์กับน้ำมัน CNSL

จากการทดลองศึกษาผลของสัดส่วนการผสมและอุณหภูมิที่ใช้ในการตกผลึก พบว่าทำให้ได้สัดส่วนที่เหมาะสมสำหรับตกผลึกร่วมแว็กซ์กับน้ำมัน CNSL ที่อุณหภูมิห้อง (อุณหภูมิประมาณ 30 °C) คือใช้แว็กซ์ร้อยละ 27 โดยน้ำหนัก โดยพบว่ามีปริมาณของคาร์บอนอลผสมในสารเติมแต่งไฮบริดในปริมาณที่พอเพียงสำหรับการประยุกต์ใช้งาน

6.3 ผลของสารเติมแต่งไฮบริดต่อความสามารถในการป้องกันการเสื่อมสภาพของยาง NR

จากการศึกษาอิทธิพลของสารเติมแต่ง HA ต่อความสามารถในการป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องโอโซนและความร้อน พบว่าเมื่อผสมสารเติมแต่ง HA-T ในปริมาณ 2.0 phr ทำให้ตัวอย่างยางสามารถป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากโอโซนและความร้อนได้ดีขึ้น

6.4 ผลของสารเติมแต่งไฮบริดต่อการช่วยผสมยาง NR กับยาง EPDM

จากการศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณสารเติมแต่ง HA ต่อความสามารถในการช่วยผสมยางผสมระหว่างยาง NR กับยาง EPDM เพื่อช่วยปรับปรุงความสามารถในการละลายเข้ากันของยางผสมจากการตรวจวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคด้วย SEM พบว่าตัวอย่างยางผสมที่ผสมสารเติมแต่ง HA-T ในปริมาณ 5.0 และ 10.0 phr ส่งผลให้ยางผสมสามารถละลายเข้ากันได้และมีการยึดเกาะระหว่างเฟสของยาง NR และยาง EPDM ได้เป็นอย่างดี และยังทำให้ตัวอย่างยางผสมมีความสามารถในการป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากโอโซนและความร้อนได้ดีขึ้น

6.5 ผลการคำนวณเชิงเศรษฐศาสตร์การผลิตสารเติมแต่งไฮบริด

จากผลการประเมินความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์การผลิตสารเติมแต่ง HA ที่ปริมาณการผลิต 150 ตัน/ปี หรือ 480 กก./วัน พบว่าโครงการการผลิตสารเติมแต่ง HA มีค่า IRR มากกว่า MARR ถึงสองเท่า นอกจากนี้มูลค่าโครงการในปัจจุบันและในอนาคตมีค่ามากกว่าศูนย์ และยังมีระยะเวลาคืนทุนของโครงการใช้ระยะเวลาเพียง 3 ปี 1 เดือน แสดงให้เห็นได้ว่าโครงการการสร้างโรงงานผลิตสารเติมแต่ง HA มีความน่าจะเป็นไปได้ในการลงทุนสร้างโรงงานผลิตสารเติมแต่ง HA

จากผลจากทดลองข้างต้น แสดงให้เห็นว่าน้ำมัน CNSL มีศักยภาพในการใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตสารเติมแต่ง HA ได้ โดยสารเติมแต่งชนิดนี้มีลักษณะการใช้งานที่เป็นแบบ multi-fuctions สามารถใช้ในการปรับปรุงสมบัติความต้านทานต่อการเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนและโอโซนในยาง NR และยังสามารถใช้เป็นสารช่วยผสมสำหรับยางผสมระหว่าง NR และ EPDM ได้เป็นอย่างดีอีกด้วย นอกจากนี้แล้ว ผลการประเมินความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์ยังแสดงให้เห็นว่าโครงการการผลิตสารเติมแต่ง HA มีความน่าจะเป็นไปได้ในการลงทุน



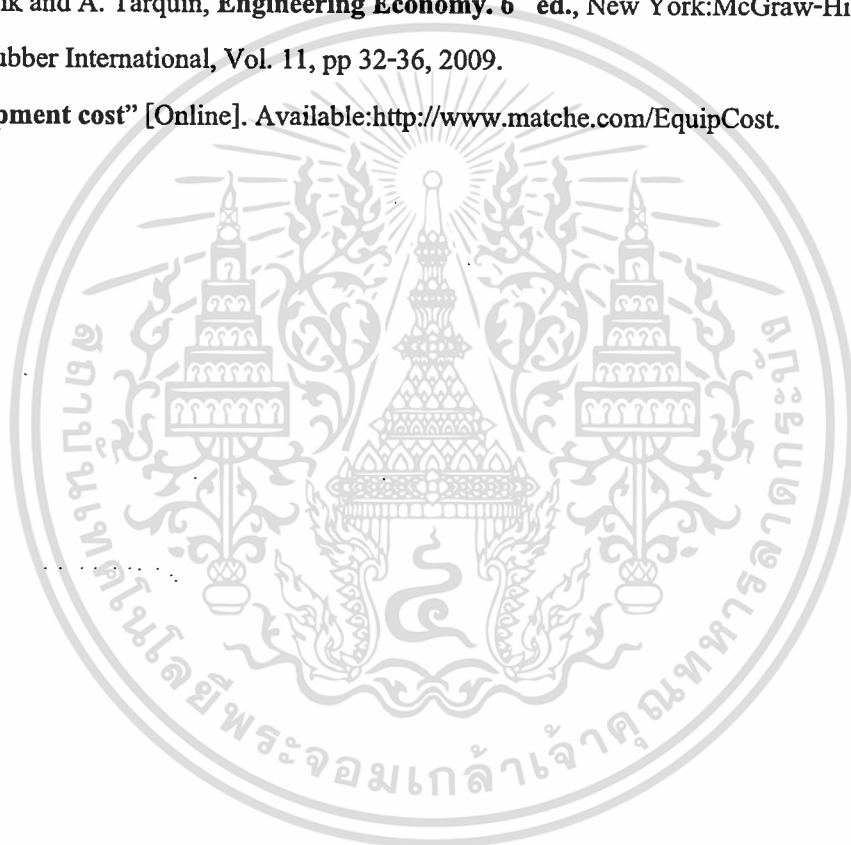
บรรณานุกรม

- [1] “สรุปข้อมูลของจังหวัด” [Online]. Available:<http://www.ubon.nso.go.th>.
- [2] “ข้อมูลพืชเศรษฐกิจที่สำคัญจังหวัดระนอง” [Online]. Available:<http://www2.oae.go.th>.
- [3] P. P. Kumar, R. Paramashivappa, P. J. Vithayathil, P. V. S. Rao and A. S. Rao, “Process for Isolation of Cardanol from Technical Cashew (*Anacardium Occidentale L*) Nut Shell Liquid,” J. Agric. Food Chem., Vol 50, pp. 4705 – 4708, 2002.
- [4] R. Paramashivappa, P. Phani, P. J. Vithayathil and A. Srinivasa Rao, “Novel Method for Isolation of major Phenolic Constituents from Cashew (*Anacardium Occidentale L*) Nut Shell Liquid,” J. Agric. Food Chem., Vol. 49, pp 2548-2551, 2001.
- [5] “Cashew Nut Shell Liquid” [Online]. Available :<http://www.saichemicals.co.in/CNSL>.
- [6] อุตสาหกรรมสาร, ฉบับที่ 1, หน้า 28-29, 2532.
- [7] F. H. A. Rodrigues, J. P. A. Feitosa, N. M. P. S. Ricardo, F. C. F. D. Franca and J. O. B. Carioca, “Antioxidation Activity of Cashewnut Shell Liquid (CNSL) Derivatives on the Thermal Oxidation of Synthetic *cis*-1,4-Polyisoprene,” J. Braz. Chem.Soc., Vol. 17, pp. 265-271, 2006.
- [8] A. R. R. Menon, A. I. Aigbodion, C. K. S. Pillai and N. M. Mathew, “Process Ability Characteristics and Physico-Mechanical Properties of Natural Rubber Modified with Cashewnut Shell Liquid and Cashewnut Shell Liquid-Formaldehyde Resin,” J. European Poly., Vol. 38, pp 163-168, 2002.
- [9] พงษ์ธร แซ่อูย, สารเคมียาง. กรุงเทพฯ:สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2548.
- [10] วราภรณ์ ขจรไชยกูล, ผลิตภัณฑ์ยาง:กระบวนการผลิตและเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ:ซีโน พับลิชชิ่ง, 2552.
- [11] วราภรณ์ ขจรไชยกูล, ยางธรรมชาติ:การผลิตและการใช้งาน. กรุงเทพฯ:ซีโน ดีไซน์, 2549.
- [12] R. W. Layer and R. P. Lattimer, “Protection of Rubber Against Ozone”. Rubber Chemistry and Technology., vol.63, pp. 426-449, 1996.
- [13] F. Cataldo, “On the Ozone Protection of Polymer having Non-conjugated Unsaturation”. Polymer Degradation Stability., vol.72, pp. 278-296, 2001.
- [14] S.H. Nah and A.G. Thomas, “Migration and Blooming of Waxes to the Surface of Rubber Vulcanizates”. Journal of Polymer Science., vol.18, pp. 511-521, 1980.

- [15] เศรษฐกร พรหมศิริ กาเหว่า เทพนอกและสุรัตน์ อารีรัตน์. “การปรับปรุงสมบัติป้องกันโอโซนของยางธรรมชาติโดยใช้ไมโครคริสตัลไลน์แว็กซ์” วิศวกรรมลาดกระบัง, ปีที่ 24, ฉบับที่ 2, หน้า 25-30, 2550.
- [16] W. Arayaprane and G. L. Rempel, “Properties of NR/EPDM Blends with or without Methyl Methacrylate-Butadiene-Styrene (MBS) as a Compatibilizer,” International Journal of Materials & Structural Reliability, Vol.5, pp 1-12, March 2007.
- [17] J. H. Go, C. S. Ha and I. Noh, “Effects of Compatibilizer on the Properties of EPDM/BR Blends,” J. Korea Poly., Vol. 3, pp 25-34, 1995.
- [18] ชัชวาลย์ กันทะลา เอกชัย วิมลมาลา ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพและ ชาคริต สิริสิงห์ “อิทธิพลของสารช่วยประสานต่อสมบัติการหนาแน่นของพันธะข้าม และสมบัติเชิงกลของยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางเอ็นบีอาร์” วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. ฉบับพิเศษ, ปีที่ 30, ฉบับที่ 4, หน้า 681-691, 2550.
- [19] A. M. D. A. R. Gonsalves and A. M. B. C. S Costa, “Chromatography of Cashewnut Shell Liquid,” J. of Chromatography., Vol 52, pp. 225-227, 1990.
- [20] บัณฑิตย์ ศรีสังข์งาม และไพศาล นาคพิพัฒน์, “การแยกสารประกอบพีนอลในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2548.
- [21] L. Mano, S. Wit and T. Nattapom, “Decarboxylation and Deterioration Reaction of Cashewnut Shell Liquid,” The Thesis and Journal Index Database Chulalongkorn University Library and Information Network, 2000.
- [22] ประพนธ์ ปรียารัตนโชติ ปิติภัทร ไทพิทักษ์ อรรถนัย กลีบน่วม และสุรัตน์ อารีรัตน์. “การประยุกต์ใช้สมการสถานะแวนเดอร์วาลส์เพื่อแยกพาราฟินแว็กซ์ออกจากน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานในโรงกลั่นน้ำมันหล่อลื่น” การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทยครั้งที่ 16, หน้า 92-94, 2549.
- [23] J. M. Smith, H. C. V. Ness and M. M. Abbott, Introduction Chemical Engineering Thermodynamics . 7th ed., New York:McGraw-Hill, 2005.
- [24] F. Esmailzadeh, J. F. Kaljahi and E. Ghanaei “Investigation of Different Activity Coefficient Models Inthermodynamic Modeling of Wax Precipitation,” Fluid Phase Equilibria, Vol. 248, pp 7–18, 2006.
- [25] R. Dalirsefat and F. Feyzi, “Thermodynamic Model for Wax Deposition Phenomena,” Fuel, Vol. 86, pp 1402–1408, 2007.
- [26] C. Wuhua and Z. Zongchang, “Thermodynamic Modeling of Wax Precipitation in Crude Oils,” Chinese J. Chem. Eng., Vol. 14, pp 685-689, 2006.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [27] J. Carlos and M. E. Remolina, “**Prediction of Characteristics of Wax Precipitation in Synthetic Mixtures and Fluids of Petroleum a new Model,**” *Fluid Phase Equilibria*, Vol. 240, pp 197–203, 2006.
- [28] P. Leelavanichkul, M. D. Deo and F. V. Hanson, “**Crude Oil Characterization and Regular Solution Approach to Thermodynamic Modeling of Solid Precipitation at Low Pressure,**” *Petroleum Science and Technology*, Vol. 22, pp. 973–990, 2004.
- [29] P. Irena and K. M. Anil, “**Liquid-Solid phase transformation of $C_{16}H_{34}$, $C_{28}H_{58}$ and $C_{41}H_{84}$ and their binary and ternary mixtures**” *Thermochemica Acta*, Vol. 356, pp.27-38, 2000.
- [30] L. Blank and A. Tarquin, **Engineering Economy. 6th ed.**, New York:McGraw-Hill, 2008.
- [31] The Rubber International, Vol. 11, pp 32-36, 2009.
- [32] “**Equipment cost**” [Online]. Available:<http://www.matche.com/EquipCost>.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

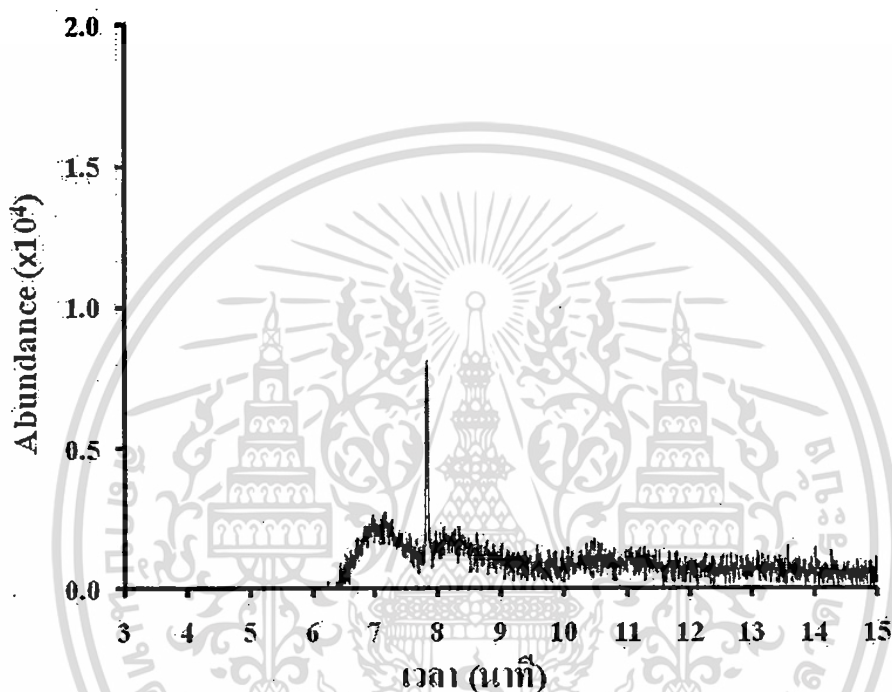


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

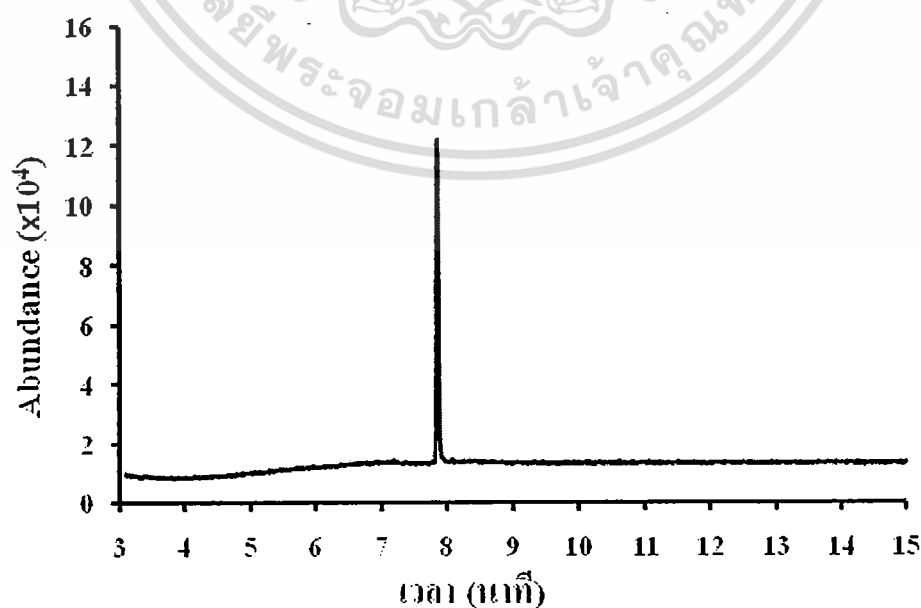


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

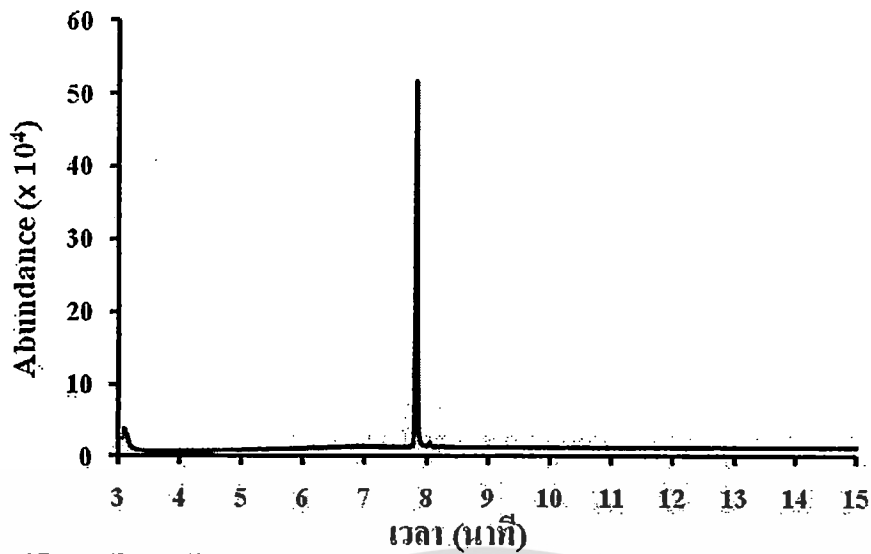
ก.1 ผลวิเคราะห์สารมาตรฐานคาร์ดานอลความเข้มข้น 0.01- 1 มก./ชม.³ ด้วยเทคนิค GC-MS จากการวิเคราะห์สารมาตรฐานคาร์ดานอลที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0.01 - 1 มก./ชม.³ ด้วย GC-MS จะได้โครมาโทแกรมความสัมพันธ์ของค่า Abundance กับเวลาดังแสดงในรูปที่ ก.1 ถึง ก. 6 ซึ่งโครมาโทแกรมดังกล่าวที่ได้เมื่อกำหนดพื้นที่ของพีคทำให้สามารถเขียนกราฟความสัมพันธ์ของพื้นที่ที่พิกัดกับความเข้มข้นของสารมาตรฐานคาร์ดานอล จากความสัมพันธ์ที่ได้สามารถใช้ประมาณค่าหาปริมาณของคาร์ดานอลในตัวอย่างน้ำมัน CNSL ได้



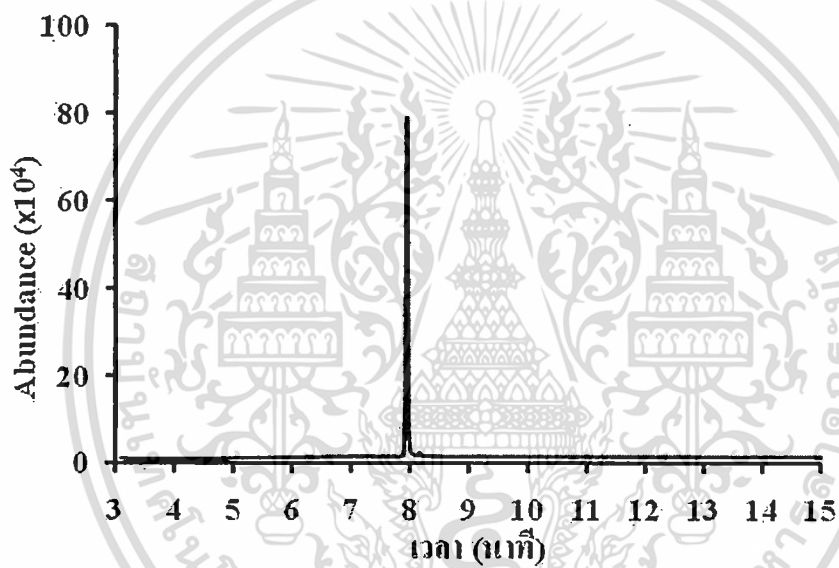
รูปที่ ก. 1 โครมาโทแกรมของสารมาตรฐานคาร์ดานอลที่ความเข้มข้น 0.01 มก./ชม.³



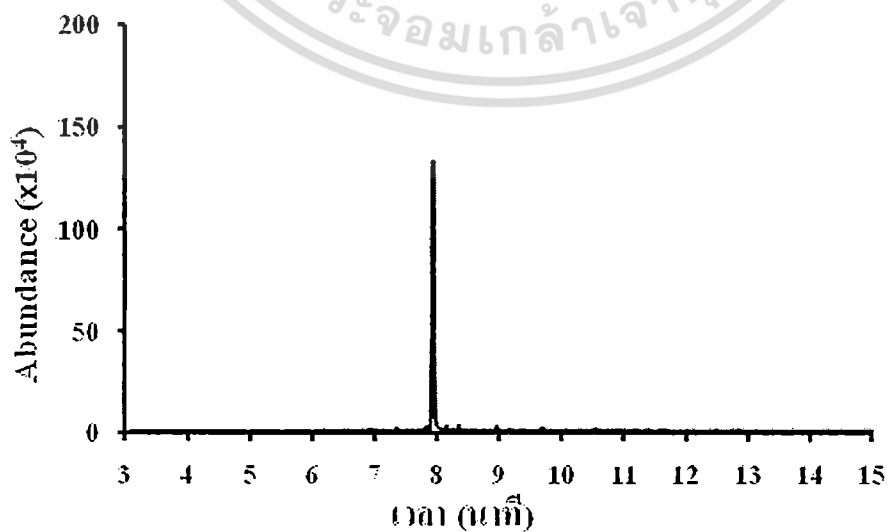
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่ของสารมาตรฐานคาร์ดานอลที่ความเข้มข้น 0.1 มก./ชม.³ ซึ่งดำเนินการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



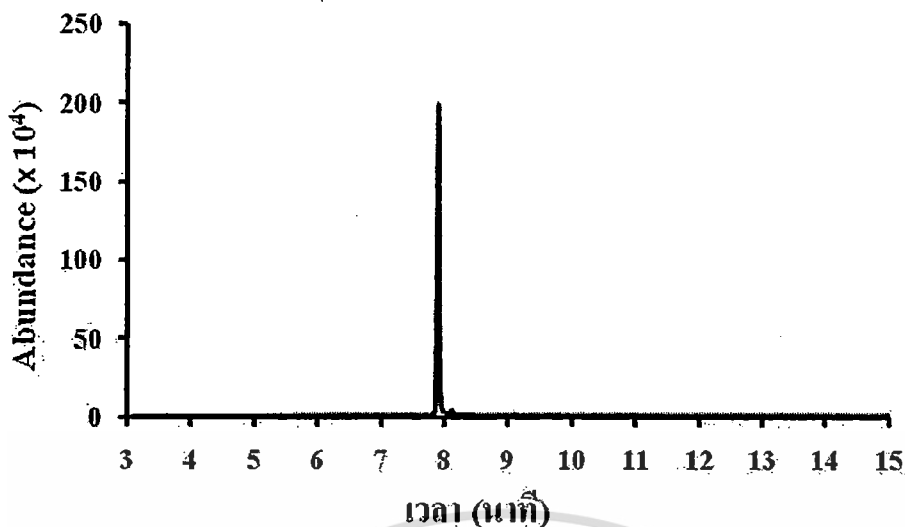
รูปที่ ก. 3 โครมาโทแกรมของสารมาตรฐานคาร์ดานอลที่ความเข้มข้น 0.3 มก./ซม.³



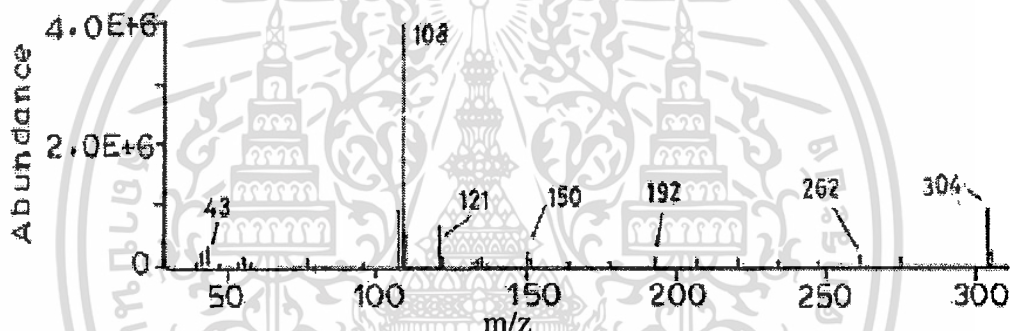
รูปที่ ก. 4 โครมาโทแกรมของสารมาตรฐานคาร์ดานอลที่ความเข้มข้น 0.5 มก./ซม.³



เอกสารนี้เป็นรูปที่ ก. 5 โครมาโทแกรมของสารมาตรฐานคาร์ดานอลที่ความเข้มข้น 0.7 มก./ซม.³ ซึ่งด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก. 6 โครมาโทแกรมของสารมาตรฐานคาร์ดานอลที่ความเข้มข้น 1 มก./ชม.³



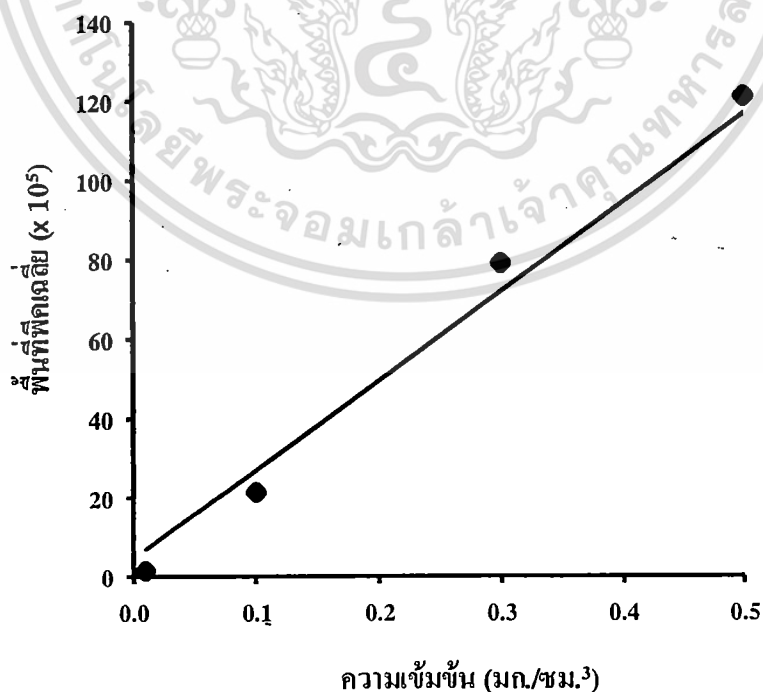
รูปที่ ก. 7 แมสสเปกตรัมของสารมาตรฐานคาร์ดานอล

จากรูปที่ ก. 1 ถึง ก. 6 และ ก. 7 เป็น โครมาโทแกรมและแมสสเปกตรัมของสารมาตรฐานคาร์ดานอลจากโครมาโทแกรมที่ได้พบว่าพีคของสารมาตรฐานคาร์ดานอลเกิดขึ้นที่เวลาประมาณ 7.86 นาที และเมื่อพิจารณาแมสสเปกตรัมของสารมาตรฐานคาร์ดานอลพบว่าเกิดพีคขึ้นที่ $m/z = 304$ เนื่องจากคาร์ดานอลมีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 304 กรัม/โมล และเกิดพีคที่ 262 192 150 121 108 และ 43 ตามลำดับ เกิดจากการแตกตัวเป็นไอออนของโมเลกุลคาร์ดานอลทำให้เกิดพีคดังกล่าวขึ้น และจากข้อมูลของพื้นที่พีคของโครมาโทแกรมความสัมพันธ์ Abundance กับเวลาของสารมาตรฐานคาร์ดานอลที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0.01-1 มก./ชม.³ ซึ่งได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรมของ GC-MS โดยในแต่ละตัวอย่างจะทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ครั้ง แสดงได้ดังตารางที่ ก.1

ตารางที่ ก. 1 พื้นที่ฟีดของสารมาตรฐานคาร์ดานอลที่ความเข้มข้น 0.01-1 มก./ชม.³

ความเข้มข้น (มก./ชม. ³)	พื้นที่ฟีด	พื้นที่ฟีดเฉลี่ย
0.01	181,865	175,800
	213,789	
	131,746	
0.1	2,074,231	2,171,535
	2,134,605	
	230,577	
0.3	9,565,289	7,930,343
	8,374,164	
	5,851,575	
0.5	15,077,627	12,136,830
	12,958,699	
	8,374,164	
0.7	18,300,804	17,397,902
	13,658,758	
	20,234,145	
1	25,655,128	21,788,542
	21,297,005	
	18,413,492	

ซึ่งจากพื้นที่ฟีดที่ได้เมื่อนำมาใช้เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับพื้นที่ฟีดเฉลี่ยจะให้ความสัมพันธ์เป็นตรง ตาม Beer's law ซึ่งใช้วิเคราะห์ปริมาณของคาร์ดานอลในตัวอย่างน้ำมัน CNSL ได้ดังรูปที่ ก. 8



รูปที่ ก. 8 calibration curve ของสารมาตรฐานคาร์ดานอล (มก./ชม.³)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก. 2 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำมัน CNSL ไม่ปรับสภาพและปรับสภาพ 30 และ 60 นาที
จากการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำมัน CNSL ไม่ปรับสภาพและปรับสภาพ 30 และ 60 นาที ด้วย
เทคนิค GC-MS เพื่อประมาณปริมาณของคาร์ดานอล แสดงได้ดังตารางที่ ก. 2

ตารางที่ ก.2 พื้นที่พีคของตัวอย่างน้ำมัน CNSL ไม่ปรับสภาพและปรับสภาพ 30 และ 60 นาที

เวลา (นาที)	พื้นที่พีค	พื้นที่พีคเฉลี่ย
0	547,452	
	548,102	508,075
	428,670	
30	3,431,705	
	3,581,899	3,377,997
	3,120,388	
60	2,207,520	
	2,189,966	2,158,755
	2,078,778	

ก. 2.1 ตัวอย่างน้ำมัน CNSL ไม่ปรับสภาพ

ฉีดด้วยปริมาตร 1 ไมโครลิตร มีความเข้มข้นเท่ากับ 0.02 มก./ซม.³

ดังนั้นในสารละลาย 1 ไมโครลิตร มีน้ำหนักของคาร์ดานอล

$$= 0.001 \text{ มล.} \times 0.00002 \text{ กรัม/มล.}$$

$$= 2 \times 10^{-8} \text{ กรัม}$$

จากตัวอย่างน้ำหนัก 0.0174 กรัม เตรียมให้ได้ปริมาตร 100 มล.

ดังนั้นมีน้ำหนักของคาร์ดานอลเท่ากับ

$$= 100 \times 2 \times 10^{-8} / 10^{-3} \text{ กรัม}$$

$$= 0.002 \text{ กรัม}$$

ดังนั้น ปริมาณของคาร์ดานอลในน้ำมัน CNSL เท่ากับร้อยละ $\frac{0.0020}{0.0174} \times 100 = 11$

ก. 2.2 ตัวอย่างน้ำมัน CNSL ปรับสภาพ 30 นาที

ฉีดด้วยปริมาตร 1 ไมโครลิตร มีความเข้มข้นเท่ากับ 0.146 มก./ซม.³

ดังนั้นในสารละลาย 1 ไมโครลิตร มีน้ำหนักของคาร์ดานอล

$$= 0.001 \text{ มล.} \times 0.000146 \text{ กรัม/มล.}$$

$$= 1.46 \times 10^{-7} \text{ กรัม}$$

จากตัวอย่างน้ำหนัก 0.0178 กรัม เตรียมให้ได้ปริมาตร 100 มล.

ดังนั้นมีน้ำหนักของคาร์ดานอลเท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน $= 100 \times 1.46 \times 10^{-7} / 10^{-3}$ กรัม นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 0.0146 \text{ กรัม}$$

$$\text{ดังนั้น ปริมาณของคาร์บอนอลในน้ำมัน CNSL เท่ากับร้อยละ } \frac{0.0146}{0.0178} \times 100 = 82$$

ก. 2.3 ตัวอย่างน้ำมัน CNSL ปรับสภาพ 60 นาที

ฉีดด้วยปริมาตร 1 ไมโครลิตร มีความเข้มข้นเท่ากับ 0.088 มก./ซม.³

ดังนั้นในสารละลาย 1 ไมโครลิตร มีน้ำหนักของคาร์บอนอล

$$= 0.001 \text{ มล.} \times 0.000088 \text{ กรัม/มล.}$$

$$= 8.8 \times 10^{-8} \text{ กรัม}$$

จากตัวอย่างน้ำหนัก 0.0169 กรัม เตรียมให้ได้ปริมาตร 100 มล.

ดังนั้นมีน้ำหนักของคาร์บอนอลเท่ากับ

$$= 100 \times 8.8 \times 10^{-8} / 10^{-3} \text{ กรัม}$$

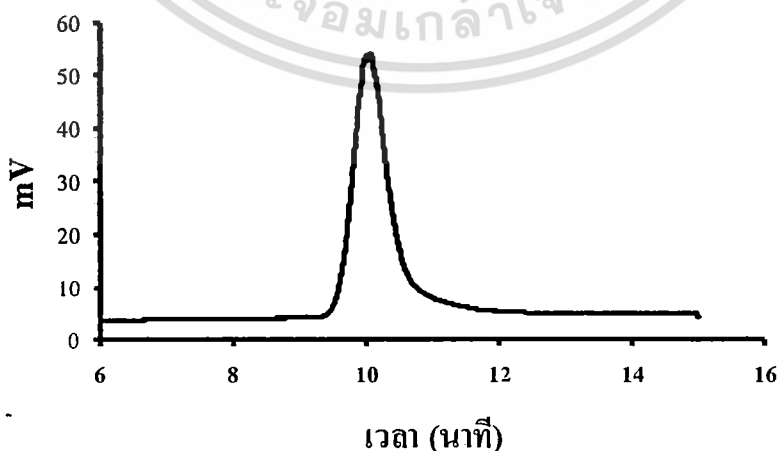
$$= 0.0088 \text{ กรัม}$$

$$\text{ดังนั้น ปริมาณของคาร์บอนอลในน้ำมัน CNSL เท่ากับร้อยละ } \frac{0.0088}{0.0169} \times 100 = 52$$

ก. 3 ผลการวิเคราะห์สารมาตรฐานคาร์บอนอลที่ความเข้มข้น 0.1-2 มก./ซม.³

ด้วยเทคนิค GC-FID

จากการวิเคราะห์สารมาตรฐานคาร์บอนอลที่ความเข้มข้น 0.1-2 มก./ซม.³ ด้วย GC-FID จะได้โครมาโทแกรมความสัมพันธ์ของค่า mV กับเวลา ดังแสดงในรูปที่ ก. 9 ซึ่งโครมาโทแกรมที่ได้เมื่อคำนวณพื้นที่ของพีคทำให้สามารถเขียนกราฟความสัมพันธ์ของพื้นที่พีคกับความเข้มข้นของสารมาตรฐานคาร์บอนอล จากความสัมพันธ์ที่ได้สามารถใช้ประมาณค่าหาปริมาณของคาร์บอนอลในตัวอย่างน้ำมัน CNSL ได้



รูปที่ ก. 9 โครมาโทแกรมของสารมาตรฐานคาร์บอนอลที่ความเข้มข้น 0.1 มก./ซม.³

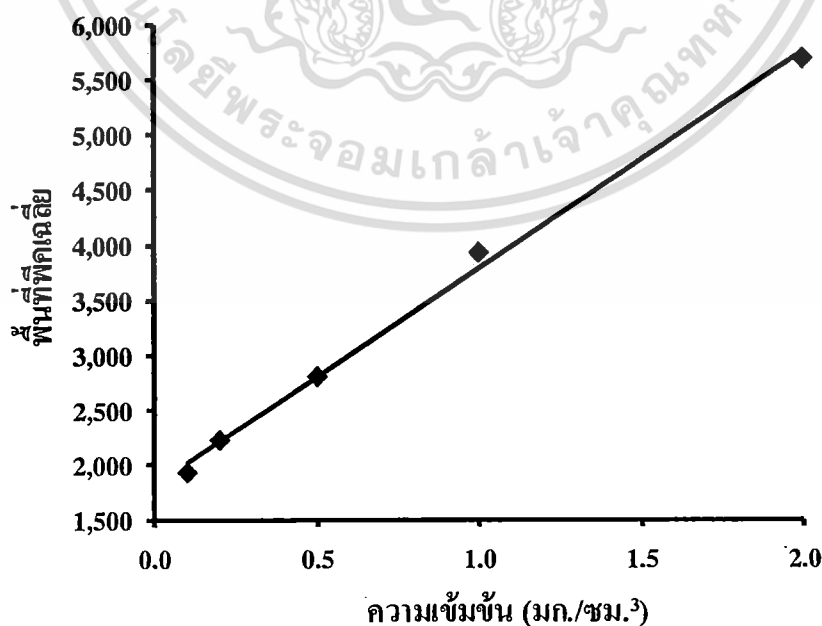
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลของพื้นที่พีคของโครมาโทแกรมความสัมพันธ์ mV กับเวลาของสารมาตรฐานคาร์บอนอลที่ความเข้มข้น 0.1- 2 mg/L ซึ่งได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรมของ GC-FID โดยในแต่ละตัวอย่างจะทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ครั้ง แสดงได้ดังตารางที่ ก. 3

ตารางที่ ก. 3 พื้นที่พีคของสารมาตรฐานคาร์บอนอลที่ความเข้มข้น 0.1- 2 mg/L

ความเข้มข้น (mg/L)	พื้นที่พีค	พื้นที่พีคเฉลี่ย
0.1	1,968.252	1,936.371
	1,968.830	
	1,872.032	
0.2	2,273.401	2,230.551
	2,264.555	
	2,153.696	
0.5	2,885.234	2,810.783
	2,829.854	
	2,717.262	
1.0	4,058.439	3,931.300
	3,976.018	
	3,759.443	
2.0	5,822.265	5,689.956
	5,709.585	
	5,538.019	

และจากพื้นที่พีคที่ได้เมื่อนำมาใช้เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับพื้นที่พีคเฉลี่ย จะให้ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง ซึ่งใช้วิเคราะห์ปริมาณของคาร์บอนอลในตัวอย่างน้ำมัน CNSL ได้ดังรูปที่ ก. 10

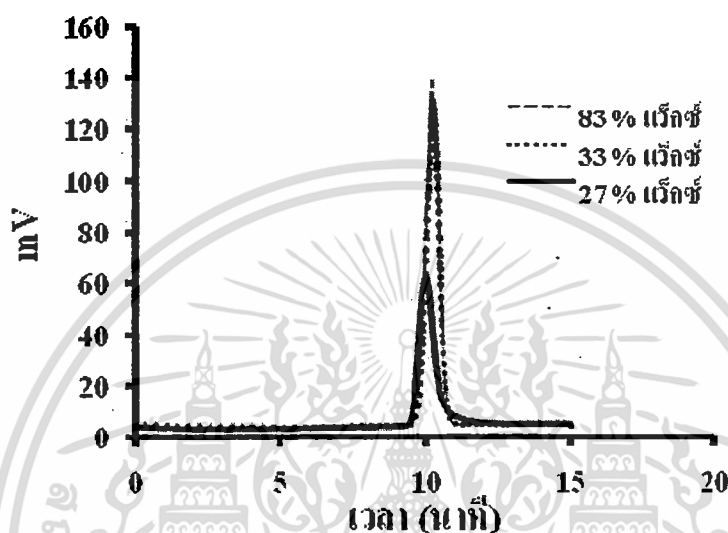


รูปที่ ก. 10 calibration curve ของสารมาตรฐานคาร์บอนอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก. 4 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างร้อยละ 27 33 และ 83 โดยน้ำหนักแวกซ์

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างร้อยละ 27 33 และ 83 โดยน้ำหนักแวกซ์ ซึ่งเป็นตัวอย่างที่สมดุลที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50 °C ตามลำดับ โดยโครมาโทแกรมแสดงได้ดังรูปที่ ก. 11 เมื่อเปรียบเทียบกับโครมาโทแกรมของสารมาตรฐานคาร์ดานอลดังรูปที่ ก. 10 พบว่ามีพีทของคาร์ดานอลเกิดขึ้นที่เวลาประมาณ 10.195 10.098 และ 10.227 นาที ตามลำดับ ซึ่งพื้นที่พีทที่ได้แสดงดังตารางที่ ก. 4



รูปที่ ก. 11 โครมาโทแกรมของตัวอย่างร้อยละ 27 33 และ 83 โดยน้ำหนักแวกซ์

ตารางที่ ก. 4 พื้นที่พีทของตัวอย่างร้อยละ 27 33 และ 83 โดยน้ำหนักแวกซ์

ตัวอย่าง	พื้นที่พีท	พื้นที่พีทเฉลี่ย
83 % แวกซ์	4,162.254	4,172.993
	4,119.028	
	4,237.697	
33 % แวกซ์	3,980.787	3,929.145
	3,817.966	
	3,988.683	
27 % แวกซ์	2,018.190	2,098.417
	2,096.852	
	2,180.208	

ก. 4.1 ตัวอย่าง 27% แวกซ์

ฉีดด้วยปริมาตร 1 ไมโครลิตร มีความเข้มข้นเท่ากับ 0.14 มก./ชม.³

ดังนั้นในสารละลาย 1 ไมโครลิตร มีน้ำหนักของคาร์ดานอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 $= 0.001 \text{ มล.} \times 0.00014 \text{ กรัม/มล.}$
 $= 1.4 \times 10^{-7} \text{ กรัม}$
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตัวอย่างน้ำหนัก 0.44594 กรัม เตรียมให้ได้ปริมาตร 25 มล.

ดังนั้นมีน้ำหนักของคาร์ดานอลเท่ากับ

$$= 25 \times 1.4 \times 10^{-7} / 10^{-3} \text{ กรัม}$$

$$= 0.0035 \text{ กรัม}$$

ก. 4.2 ตัวอย่าง 33% แวกซ์

ฉีดด้วยปริมาตร 1 ไมโครลิตร มีความเข้มข้นเท่ากับ 0.0011 กรัม/มล.

ดังนั้นในสารละลาย 1 ไมโครลิตร มีน้ำหนักของคาร์ดานอล

$$= 0.001 \text{ มล.} \times 0.0011 \text{ กรัม/มล.}$$

$$= 1.1 \times 10^{-6} \text{ กรัม}$$

จากตัวอย่างน้ำหนัก 0.54795 กรัม เตรียมให้ได้ปริมาตร 25 มล.

ดังนั้นมีน้ำหนักของคาร์ดานอลเท่ากับ

$$= 25 \times 1.1 \times 10^{-6} / 10^{-3} \text{ กรัม}$$

$$= 0.0275 \text{ กรัม}$$

ก. 4.3 ตัวอย่าง 83% แวกซ์

ฉีดด้วยปริมาตร 1 ไมโครลิตร มีความเข้มข้นเท่ากับ 0.00115 กรัม/มล.

ดังนั้นในสารละลาย 1 ไมโครลิตร มีน้ำหนักของคาร์ดานอล

$$= 0.001 \text{ มล.} \times 0.00115 \text{ กรัม/มล.}$$

$$= 1.15 \times 10^{-6} \text{ กรัม}$$

จากตัวอย่างน้ำหนัก 0.34230 กรัม เตรียมให้ได้ปริมาตร 25 มล.

ดังนั้นมีน้ำหนักของคาร์ดานอลเท่ากับ

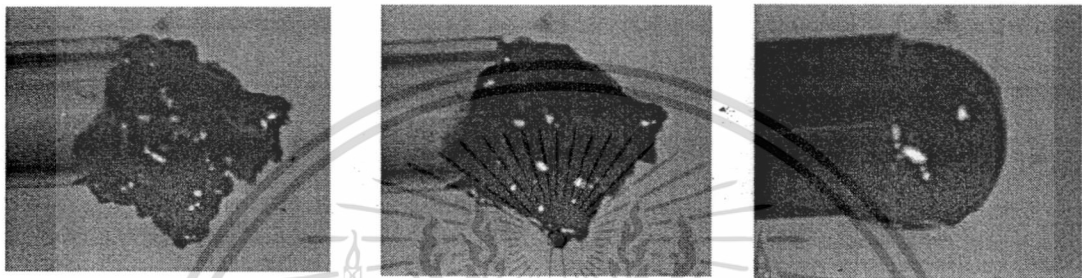
$$= 25 \times 1.15 \times 10^{-6} / 10^{-3} \text{ กรัม}$$

$$= 0.02875 \text{ กรัม}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. 1 ผลการสังเกตอุณหภูมิการหลอมเหลวของแวกซ์กับน้ำมัน CNSL ในหลอดแคปิลลารี ซึ่งจะทำการบันทึกอุณหภูมิด้วยเครื่องบันทึกอุณหภูมิทุก ๆ 5 วินาที พร้อมกับทำการบันทึกรูปการเปลี่ยนแปลงเฟสของของผสมด้วยกล้องดิจิทัล แสดงได้ดังรูปที่ ข.1 เป็นตัวอย่างของผสมที่ สัดส่วนของแวกซ์ร้อยละ 27 โดยน้ำหนัก จากรูปดังกล่าวจะเห็นได้ว่าเมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ เท่ากับ 34.3°C ของผสมจะเริ่มหลอมเหลว และหลอมเหลวจนกระทั่งของผสมเปลี่ยนแปลงเฟส เป็นของเหลวที่อุณหภูมิเท่ากับ 51.2°C ซึ่งเมื่อของผสมเปลี่ยนเป็นของเหลวจะถูกดูดเข้าไปใน หลอดแคปิลลารีที่เป็นเช่นนี้ เนื่องจากผลของแรงแคปิลลารีและจากการสังเกตดังกล่าว สามารถแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิการหลอมเหลวกับสัดส่วนของการผสมดังตารางที่ ข. 1



a) เวลา 0 วินาที อุณหภูมิ 26.7°C

b) เวลา 1.15 นาที อุณหภูมิ 34.3°C

c) เวลา 4.25 นาที อุณหภูมิ 51.2°C

รูปที่ ข.1 การเปลี่ยนแปลงเฟสของของผสมแวกซ์กับน้ำมัน CNSL (กำลังขยาย X 16 เท่า)

ตารางที่ ข.1 อุณหภูมิการหลอมเหลวของของผสม

ร้อยละโดยน้ำหนัก ของแวกซ์	อุณหภูมิการหลอมเหลว ($^{\circ}\text{C}$)
83	45.0
50	40.4
33	38.6
25	34.1

ข. 2 ผลการวิเคราะห์สมบัติเชิงความร้อนของตัวอย่างแวกซ์/น้ำมัน CNSL ปรับสภาพ โดยใช้เทคนิค DSC สแกนด้วยอัตรา $2^{\circ}\text{C}/\text{นาที}$ ในช่วงอุณหภูมิ $10-90^{\circ}\text{C}$ แสดงได้ดังตารางที่ ข.2

ตารางที่ ข.2 สมบัติเชิงความร้อนของตัวอย่างแวกซ์/น้ำมัน CNSL ปรับสภาพ

ร้อยละโดยน้ำหนัก ของแวกซ์	อุณหภูมิ การหลอมเหลว ($^{\circ}\text{C}$)	อุณหภูมิ การตกผลึก ($^{\circ}\text{C}$)	ค่าความร้อนการ หลอมเหลว (จูล/กรัม)	ค่าความร้อนการ การตกผลึก (จูล/กรัม)
83	50.9	52.9	52.9	-98.1
50	53.2	51.4	34.7	-40.1
27	51.9	50.8	15.4	-18.9
18	50.3	50.3	8.82	-6.75

ภาคผนวก ค.
ผลการคำนวณค่า K_{SL} จากการทดลองและแบบจำลองอุณหพลศาสตร์

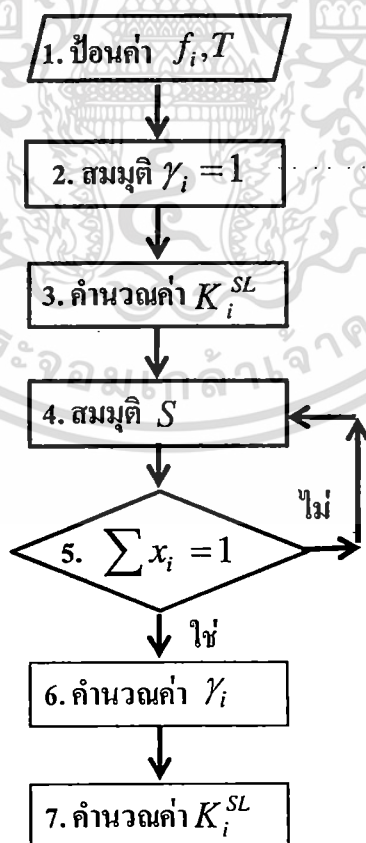
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.1 ค่า K_{car}^{SL} จากการทดลองตกผลึกพร้อมดังแสดงในตารางที่ 4.1 ที่อุณหภูมิต่างๆ กำหนดโดย ใช้สมการที่ (1) โดยสัดส่วน โมลของคาร์ดานอลวิเคราะห์ได้ด้วยเทคนิค GC-FID แสดงได้ดัง ตารางที่ ค.1

ตารางที่ ค.1 ผลการคำนวณค่า K_{car}^{SL}

อุณหภูมิ (°ซ)	สัดส่วนโมล ในของแข็ง	สัดส่วนโมล ในของเหลว	K_{car}^{SL}
30	0.607	0.745	0.814
40	0.618	0.915	0.675
50	0.566	1.000	0.566

ก.2 ผลการคำนวณค่า K_i^{SL} โดยใช้สมการที่ (10) ที่อุณหภูมิต่างๆ สามารถคำนวณได้ดังแสดง ในรูปที่ ค.1 และข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณแสดงได้ดังตารางที่ ค.2 โดยสมบัติของพาราฟินแว็กซ์ และไมโครคริสตัลไลน์แว็กซ์ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DSC ในส่วนของคาร์ดานอลและ คาร์คอลสามารถประมาณค่าได้จากสมการที่ (ค.1) ถึง (ค.4) ซึ่งเป็นสมการที่ได้จากการศึกษาของ Irena และคณะ[29]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ ค.1 ขั้นตอนการคำนวณค่า K_i^{SL} อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค. 2 สมบัติของสารที่ใช้คำนวณค่า K_i^{SL}

	น้ำหนักแก๊ส (กรัม/โมล)	อุณหภูมิการ หลอมเหลว (เคลวิน)	ค่าความร้อนของ การหลอมเหลว (แคลอรี/โมล)
พาราฟินแว็กซ์	338	331.1	13,368.9
ไมโครคริสตัลไลน์แว็กซ์	450	343.8	18,478.8
คาร์คานอล	302	302.6	4,869.7
คาร์คอลล	321	306.6	5,192.0

ค่าความร้อนการหลอมเหลวและอุณหภูมิการหลอมเหลวของคาร์คานอลสามารถประมาณได้ดังสมการที่ (ค.1) และ (ค.2)

$$T_{Car}^f = 333.5 - 419 \exp(-0.00855 MW_{Car}) \quad (\text{ค.1})$$

$$\Delta H_{Car}^f = 0.05276 MW_{Car} T_{Car}^f \quad (\text{ค.2})$$

ค่าความร้อนการหลอมเหลวและอุณหภูมิการหลอมเหลวของคาร์คอลลสามารถประมาณได้ดังสมการที่ (ค.3) และ (ค.4)

$$T_{Cardol}^f = 333.5 - 419 \exp(-0.00855 MW_{Cardol}) \quad (\text{ค.3})$$

$$\Delta H_{Cardol}^f = 0.05276 MW_{Cardol} T_{Cardol}^f \quad (\text{ค.4})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง. 1 ผลการวิเคราะห์สมบัติเชิงกลของตัวอย่างยาง NR ก่อนและหลังการอบเร่งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 22 ชั่วโมง เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการเสื่อมสภาพของตัวอย่างยาง NR ที่ผสม HA เปรียบเทียบกับตัวอย่างยาง NR ที่ผสม Wingstay-L[®] เท่ากับ 0.6 phr แสดงได้ดังตารางที่ ง. 1 และ ง. 2

ตารางที่ ง. 1 สมบัติเชิงกลของตัวอย่างยาง NR ก่อนการอบเร่งด้วยความร้อน

ตัวอย่างยาง NR	ความต้านทานการฉีกขาด (นิวตัน/มม.)	ความต้านทานแรงดึง (เมกะปาสกาล)	ระยะการยืดที่จุดขาด (%)	ความแข็ง (shore A)
Non	42.7	22.0	562.0	49.6
Wingstay-L 0.6 phr	45.6	15.0	497.0	50.1
Cardanol 0.6 phr	46.4	18.0	534.0	54.6
HA-C 0.8 phr	43.8	18.0	548.0	55.3
HA-C 2.0 phr	39.1	15.0	500.0	55.5
HA-T 0.8 phr	46.3	22.0	525.0	52.0
HA-T 2.0 phr	43.3	15.0	401.0	56.4

ตารางที่ ง. 2 สมบัติเชิงกลของตัวอย่างยาง NR หลังการอบเร่งด้วยความร้อน

ตัวอย่างยาง NR	ความต้านทานการฉีกขาด (นิวตัน/มม.)	ความต้านทานแรงดึง (เมกะปาสกาล)	ระยะการยืดที่จุดขาด (%)	ความแข็ง (shore A)
Non	39.6	12.0	382.0	54.1
Wingstay-L 0.6 phr	44.2	12.0	430.0	52.6
Cardanol 0.6 phr	42.6	11.0	353.0	57.4
HA-C 0.8 phr	38.2	10.0	330.0	60.6
HA-C 2.0 phr	36.4	12.0	368.0	57.9
HA-T 0.8 phr	40.1	18.0	425.0	57.3
HA-T 2.0 phr	41.9	12.0	320.0	59.4

ง. 2 ผลการวิเคราะห์สมบัติเชิงกลของตัวอย่างยาง NR/EPDM ก่อนและหลังการอบเร่งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 22 ชั่วโมง เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการเสื่อมสภาพของตัวอย่างยาง NR/EPDM ที่ผสมสารเติมแต่ง HA เปรียบเทียบกับตัวอย่างยาง NR/EPDM ที่ผสม Wingstay-L[®] เท่ากับ 0.6 phr แสดงได้ดังตารางที่ ง. 3 และ ง. 4

ตารางที่ ง. 3 สมบัติเชิงกลของตัวอย่างยาง NR/EPDM ก่อนการอบเร่งด้วยความร้อน

ตัวอย่างยาง NR/EPDM	ความต้านทานการฉีกขาด (นิวตัน/มม.)	ความต้านทานแรงดึง (เมกะปาสคาล)	ระยะการยืดที่จุดขาด (%)	ความแข็ง (shore A)
Non	32.4	10.0	377.0	52.9
Wingstay-L 0.6 phr	34.2	13.0	495.0	55.8
HA-C 5.0 phr	28.3	12.0	545.0	52.1
HA-C 10.0 phr	28.5	12.0	578.0	48.5
HA-T 5.0 phr	29.6	12.0	434.0	54.2
HA-T 10.0 phr	28.2	12.0	604.0	47.1

ตารางที่ ง. 4 สมบัติเชิงกลของตัวอย่างยาง NR/EPDM หลังการอบเร่งด้วยความร้อน

ตัวอย่างยาง NR/EPDM	ความต้านทานการฉีกขาด (นิวตัน/มม.)	ความต้านทานแรงดึง (เมกะปาสคาล)	ระยะการยืดที่จุดขาด (%)	ความแข็ง (shore A)
Non	25.2	7.0	277.0	56.0
Wingstay-L 0.6 phr	33.1	12.0	443.0	57.3
HA-C 5.0 phr	24.7	6.0	321.0	52.9
HA-C 10.0 phr	26.8	6.0	404.0	51.6
HA-T 5.0 phr	26.3	9.0	378.0	54.2
HA-T 10.0 phr	24.8	9.0	495.0	49.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ. 1 ข้อมูลการคำนวณการลงทุนการสร้างโรงงาน รายละเอียดของราคาของอุปกรณ์และเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการผลิตสารเติมแต่ง HA ที่กำลังผลิต 480 กก./วัน และการคำนวณค่าการก่อสร้างโรงงานแสดงได้ดังตารางที่ จ. 1 และ จ. 2

ตารางที่ จ. 1 รายละเอียดของอุปกรณ์และเครื่องจักร[32]

อุปกรณ์	จำนวน (หน่วย)	ราคา (บาท)
1. storage tank ขนาด 2,500 ลิตร	1	145,200
2. ถังพร้อมใบกวนขนาด 100 ลิตร	2	177,800
3. heater	2	13,500
4. ถังตกผลึกขนาด 100 ลิตร	1	26,400
5. jacket ทำความเย็น	1	16,500
6. บั้มที่อัตราการไหล 20 ลิตร/นาที	2	33,000
7. สายพานขนาด 10 นิ้ว ยาว 25 ฟุต	2	39,600
8. เครื่องขึ้นรูปขนาด 40 x 50 ซม.	1	200,000
รวม		652,000

ตารางที่ จ. 2 การประมาณราคาค่าการก่อสร้างโครงการ[30]

component	percentage of FCI	estimated cost (bath)
<u>direct cost</u>		
purchased equipment	24.7	652,000
electrical installed	5.2	129,251
building include server	5.2	129,151
yard improvement	2.1	51,700
land	39.6	1,000,000
<u>indirect cost</u>		
construction expense	10.4	261,374
legal expense	2.1	51,700
contractor' s fee	2.1	51,700
contingency	8.4	209,000
total fixed cost investment	100	2,535,976

เอกสารนี้เป็นเอกสารของบริษัทฯ ใช้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่เนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

total capital investment = fixed cost investment + working cost

total capital investment = 2,535,976 + (0.1 total capital investment)

total capital investment = 2,817,751 บาท

ดังนั้น ค่าใช้จ่ายในการลงทุนสร้างโรงงานคือ 2,817,751 บาท

จ. 2 ข้อมูลการประมาณรายรับ-รายจ่ายของโครงการในระยะเวลา 10 ปี เพื่อสร้างผังกระแสเงินสดหลักและผังกระแสเงินสดสุทธิ แสดงได้ดังตารางที่ จ. 3

ตารางที่ จ. 3 รายละเอียดของกระแสเงินในแต่ละปี

ปีที่	รายรับ	รายจ่าย
0		1. ค่าที่ดิน 1,000,000 บาท
		2. ค่าใช้จ่ายในการสร้างโรงงานและการดำเนินการผลิต 1,817,715 บาท
1	รายได้จากการขายสินค้า 2,240,000 บาท	1. ค่าใช้จ่ายคงที่ 1,884,964 บาท
		2. ค่าใช้จ่ายแปรผัน 1,195,950 บาท
		3. ชำระธนาคาร 291,372 บาท
2	รายได้จากการขายสินค้า 4,480,000 บาท	1. ค่าใช้จ่ายคงที่ 1,884,964 บาท
		2. ค่าใช้จ่ายแปรผัน 2,391,900 บาท
		3. ชำระธนาคาร 291,372 บาท
3	รายได้จากการขายสินค้า 6,720,000 บาท	1. ค่าใช้จ่ายคงที่ 1,884,964 บาท
		2. ค่าใช้จ่ายแปรผัน 3,587,850 บาท
		3. ชำระธนาคาร 291,372 บาท
4	รายได้จากการขายสินค้า 8,960,000 บาท	1. ค่าใช้จ่ายคงที่ 1,884,964 บาท
		2. ค่าใช้จ่ายแปรผัน 4,783,800 บาท
		3. ชำระธนาคาร 291,372 บาท
5	รายได้จากการขายสินค้า 11,200,000 บาท	1. ค่าใช้จ่ายคงที่ 1,884,964 บาท
		2. ค่าใช้จ่ายแปรผัน 5,979,750 บาท
		3. ชำระธนาคาร 291,372 บาท
∴	∴	∴
10	รายได้จากการขายสินค้า 11,200,000 บาท มูลค่าซาก 2,065,200 บาท	1. ค่าใช้จ่ายคงที่ 1,884,964 บาท
		2. ค่าใช้จ่ายแปรผัน 5,979,750 บาท
		3. ชำระธนาคาร 291,372 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสำนักงานส่งเสริมการค้าในต่างประเทศ ณ นครโฮจิมินห์ การค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ. 3 การคำนวณค่าใช้จ่ายในการดำเนินกระบวนการผลิตรายปี ของสารเติมแต่ง HA ที่กำลังผลิตเท่ากับ 140 ตัน/ปี เวลาในการทำงานเท่ากับ 2,304 ชม./ปี แสดงได้ดังตารางที่ จ. 4

ตารางที่ จ. 4 การคำนวณค่าใช้จ่ายในการดำเนินกระบวนการผลิตรายปี

รายการ	suggested factor	ปริมาณ (กก./ปี)	ราคา (บาท/กก.)	รวมเป็นเงิน (บาท)
1. ค่าใช้จ่ายแปรผันรายปี				
1.1 วัตถุดิบ				
- น้ำมัน CNSL		112,000	20	2,240,000
- พาราฟินแว็กซ์		25,200	45	1,134,000
- ไมโครคริสตัลไลน์แว็กซ์		16,800	31.04	521,472
1.2 ค่าใช้จ่าย utility				
- น้ำหล่อเย็น		3,500,000	2.64/1000 กก.	9,240
- น้ำในกระบวนการ		15,000	17.49/1000 กก.	262
- ค่าไฟฟ้า		150,000	1.48	222,750
- ค่าบำบัดน้ำเสีย		15,000	17.49/1000 กก.	262
1.3 เงินเดือนพนักงาน				100,000
1.4 ค่าใช้จ่ายที่ปรึกษาในการผลิต	0.15 ของพนักงาน			173,880
1.5 ค่าจัดการการผลิต	0.07 ของเงินทุน			177,518
1.6 ค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับกฎหมาย	0.15 ของค่าซ่อมบำรุง			26,628
2. ค่าใช้จ่ายคงที่รายปี				
2.1 ภาษี	0.02 ของเงินทุน			50,720
2.2 ค่าประกัน	0.01 ของเงินทุน			25,360
2.3 ค่าใช้จ่ายในการตลาด การบริหารและการวางแผน	0.23 ของเงินทุน			1,808,883
3. เงินชำระคืนธนาคาร				291,372
รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมดรายปี				8,156,086

จ. 4 การคำนวณอัตราผลตอบแทนของโครงการ (IRR:i*) การคำนวณอัตราผลตอบแทนของโครงการ ใช้วิธีการ trial and error ค่า IRR เพื่อให้ได้ค่าที่ทำให้ผลต่างของค่า PW ในส่วนของรายรับกับรายจ่ายเท่ากับศูนย์ แสดงดังสมการ

$$\begin{aligned}
 PW = & -88,236(P/F, i^*, 2) + 995,814(P/F, i^*, 3) + 1,999,864(P/F, i^*, 4) \\
 & + 3,043,914(P/A, i^*, 6)(P/F, i^*, 4) + 2,065,200(P/F, i^*, 10) \\
 & - 1,132,286(P/F, i^*, 1) - 1,000,000 - 1,817,751
 \end{aligned}
 \tag{จ.1}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณแสดงได้ดังต่อไปนี้

ราคาที่ดินและค่าก่อสร้างในปีที่เริ่มลงทุน	2,817,751 บาท
รายได้สุทธิที่ได้ในปีที่ 1	-1,132,286 บาท
รายได้สุทธิที่ได้ในปีที่ 2	-88,236 บาท
รายได้สุทธิที่ได้ในปีที่ 3	955,814 บาท
รายได้สุทธิที่ได้ในปีที่ 4	1,999,864 บาท
รายได้สุทธิที่ได้ในปีที่ 5-10	3,043,914 บาท
ราคาขายในปีสุดท้ายของโครงการ	2,065,200 บาท
อายุโครงการ	10 ปี

จ.5 การคำนวณหามูลค่าโครงการในปีปัจจุบัน (PW)

$$\begin{aligned}
 PW &= -88,236(P/F, 15\%, 2) + 955,814(P/F, 15\%, 3) + 1,999,864(P/F, 15\%, 4) \\
 &\quad + 3,043,914(P/A, 15\%, 6)(P/F, 15\%, 4) + 2,065,200(P/F, 15\%, 10) \\
 &\quad - 1,132,286(P/F, 15\%, 1) - 1,000,000 - 1,817,751 \\
 &= 5,463,217.81 \text{ บาท}
 \end{aligned} \tag{จ.2}$$

จ.6 การคำนวณมูลค่าโครงการในอนาคต (FW)

$$\begin{aligned}
 FW &= -88,236(F/P, 15\%, 8) + 955,814(F/P, 15\%, 7) + 1,999,864(F/P, 15\%, 6) \\
 &\quad + 3,043,914(F/A, 15\%, 6) - 1,132,286(F/P, 15\%, 9) - 1,000,000(F/P, 15\%, 10) \\
 &\quad - 1,817,751(F/P, 15\%, 10) + 2,065,200 \\
 &= 20,231,388.85 \text{ บาท}
 \end{aligned} \tag{จ.3}$$

จ.7 การคำนวณหาระยะเวลาคืนทุน (n_p)

$$\text{จากสมการ } 0 = -P + \sum_{t=1}^{t=n_p} NCF_t(P/A, i\%, t) \tag{จ.4}$$

จากข้อมูล net cash flow ของโครงการ แทนค่าลงในสมการจะได้

$$0 = -2,817,751 + 1,560,730 (P/A, 32.15\%, t)$$

$$2,817,751 = 1,560,730 (P/A, 32.15\%, t)$$

$$1.805 = (P/A, 32.15\%, t) = \frac{(1+i)^t - 1}{i(1+i)^t}$$

$$0.5804 = \frac{(1+0.3215)^t - 1}{(1+0.3215)^t} = \frac{(1.3215)^t - 1}{1.3215^t}$$

$$0.4196 = \frac{1}{1.3215^t}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\log 0.4196 = -\log 1.3215'$$

$$0.3772 = t(0.1211)$$

$$\text{ดังนั้น } t = 3.12$$

แสดงว่าในการลงทุนตั้งโรงงานผลิตสารเติมแต่ง HA จะมีระยะเวลาในการคืนทุนเป็นเวลาเท่ากับ 3 ปี 1 เดือน

หมายเหตุ โดย 1,560,730 นั้นมาจากค่า AW ซึ่ง $AW = 7,832,947 (A/P, 15\%, 10)$

โดย 7,832,947 นั้นมาจากค่า PW ซึ่ง $PW = \sum_{n=1}^{n=10} (P/F, i = 15\%, n)$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อผู้เขียน	เศรษฐการ พรหมศิริ
วันเดือนปีเกิด	วันที่ 6 กรกฎาคม 2525
วุฒิการศึกษาระดับปริญญาตรี	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีที่สำเร็จการศึกษา	2549

ผลงานทางวิชาการ

1. เศรษฐการ พรหมศิริ กาเหว่า เทพนอก และ สุรัตน์ อารีรัตน์ “การปรับปรุงสมบัติป้องกันไอโซนของยางธรรมชาติโดยใช้ไมโครคริสตัลไลน์แวกซ์” วิศวกรรมลาดกระบัง, ฉบับที่ 2, หน้า 25-30, 2550.
2. เศรษฐการ พรหมศิริ ขามแก้ว พจน์โยธิน ศรัณยา คงโคตร และ สุรัตน์ อารีรัตน์, “การประมาณค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของแวกซ์ในยางธรรมชาติ” การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมี ประยุกต์แห่งประเทศไทยครั้งที่ 17, หน้า PPO9-1-PPO9-2, 2550.
3. เศรษฐการ พรหมศิริ และสุรัตน์ อารีรัตน์ “การตกผลึกร่วมแวกซ์/คาร์บอนอลในน้ำมันจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ปรับสภาพ” วิศวกรรมลาดกระบัง, ฉบับที่ 2, หน้า 37-41, 2552.
4. เศรษฐการ พรหมศิริ และสุรัตน์ อารีรัตน์ “การปรับปรุงสมบัติการป้องกันการเสื่อมสภาพของยางธรรมชาติโดยใช้สารเติมแต่งไฮบริดจากน้ำมันจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ปรับสภาพ” การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทยครั้งที่ 19 หน้า 388-389, 2552.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$F = S + L \quad (17)$$

$$Fz_{car} = Sx_{car} + Lx_{car} \quad (18)$$

จากสมการที่ (18) จัดให้อยู่ในเทอมของจำนวนโมลของคาร์ดานอลโดย $f_{car}, s_{car}, l_{car}$ คือจำนวนโมลของคาร์ดานอลเริ่มต้น ในเฟสของแข็งและเฟสของเหลว ตามลำดับ

$$f_{car} = s_{car} + l_{car} \quad (19)$$

จำนวนโมลของคาร์ดานอลในวัฏภาคของแข็งและของเหลวสามารถที่จะหาได้จากความสัมพันธ์ของสมการที่ (1) (18) และ (19) ทำให้สามารถที่จะคำนวณได้ตั้งสมการที่ (20) และ (21) ในการแก้ปัญหาเพื่อหาสัดส่วนโมลของคาร์ดานอลใช้วิธีการคำนวณแสดงในภาคผนวก ค.

$$s_{car} = \frac{f_{car}}{1 + \left(\frac{1}{K} \frac{SL}{car} \left(\frac{L}{S} \right) \right)} \quad (20)$$

$$l_{car} = f_{car} \left(1 + K \frac{SL}{car} \left(\frac{S}{L} \right) \right) \quad (21)$$

ในขั้นตอนการตกผลึกร่วมของแว็กซ์กับคาร์ดานอล โดยทั่วไปพบว่าสัดส่วนโมลของของผสมและอุณหภูมิของกระบวนการที่ต้องมีการควบคุมให้สารละลายผสมเย็นตัวลงจนเกิดกระบวนการตกผลึกจัดเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ใช้ควบคุมคุณภาพของสารเติมแต่งที่ต้องการผลิตได้ ซึ่งในการศึกษานี้ได้ทำการศึกษาผลของสัดส่วนการผสมและอุณหภูมิตกผลึกในหลอดทดลอง (test tube) ด้วยเทคนิคการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น (concentration gradient) เพื่อสังเกตอุณหภูมิการตกผลึกเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์โดยใช้ DSC เพื่อนำมาใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการตกผลึกและอัตราส่วนการผสม เพื่อหาสัดส่วนที่ทำให้มีปริมาณของคาร์ดานอลผสมในปริมาณที่มากพอสำหรับการพัฒนาเป็นสารเติมแต่ง HA