

อธิการบดีมหาวิทยาลัย



การศึกษาสมบัติการนำไฟฟ้า และสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติผสม

คาร์บอนแบล็ก

THE STUDY OF ELECTRICAL CONDUCTIVITY AND MECHANICAL
PROPERTIES OF NATURAL RUBBER / CARBON BLACK

นางสาวณัฐชา รุ่งเรือง รหัส 55361618

นางสาวสายธาร อินทฤทธิ์ รหัส 55362776

i ๗13515

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนครสวรรค์	
วันที่พิมพ์	27 ส.ค. 2561
เลขทะเบียน	172359๑x
เลขเรียกหนังสือ	ฟ 31๙.ค

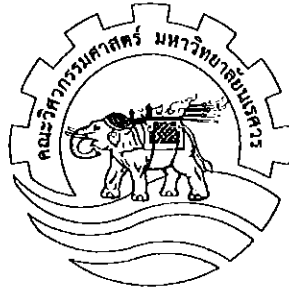
๒๕๕๘

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์

ปีการศึกษา 2558



ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงการ การศึกษาสมบัติการนำไฟฟ้า และสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติ
ผสมคาร์บอนแบล็ก

ผู้ดำเนินโครงการ นางสาวณัฐชา รุ่งเรือง รหัส 55361618
นางสาวสายธาร อินทฤทธิ์ รหัส 55362776

ที่ปรึกษาโครงการ ดร.นพวรรณ ไม้ทอง

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา 2559

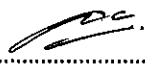
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของ
การศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี


.....ที่ปรึกษาโครงการ

(ดร.นพวรรณ ไม้ทอง)


.....กรรมการ

(ผศ.ดร.อิสราวุธ ประเสริฐสังข์)


.....กรรมการ

(อาจารย์อภาภรณ์ จันทร์ปรีกษ์)

ชื่อหัวข้อโครงการงาน	การศึกษาสมบัติการนำไฟฟ้า และสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติผสมคาร์บอนแบล็ก	
ผู้ดำเนินโครงการงาน	นางสาวณัฐชา รุ่งเรือง	รหัส 55361618
	นางสาวสายธาร อินทฤทธิ์	รหัส 55362776
ที่ปรึกษาโครงการงาน	ดร.นพวรรณ ไม้ทอง	
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี	
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหกรรม	
ปีการศึกษา	2558	

บทคัดย่อ

งานวิจัยชิ้นนี้ทำการศึกษาการปรับปรุงสมบัติทางไฟฟ้าของยางธรรมชาติ เนื่องจากในยางธรรมชาติหรือยางพาราแล้วยังมีข้อจำกัดที่สำคัญอยู่ คือมีค่าการนำไฟฟ้าต่ำมาก โดยในการทดลองจะทำการเติมวัสดุเสริม คือ คาร์บอนแบล็ก เพื่อให้ยางธรรมชาตินั้นมีสมบัติในการนำไฟฟ้า และสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น ซึ่งจะศึกษาด้วยการนำยางธรรมชาติ 2 ประเภท คือน้ำยางพาราสด กับยางพาราแบบน้ำผสมแบบผง นำมาเติมคาร์บอนแบล็ก ที่มีขนาดต่างกัน 3 ขนาด คือ ขนาดมากกว่า 425 ไมโครเมตร ขนาดระหว่าง 180 – 225 ไมโครเมตร และ ขนาดระหว่าง 45 – 150 ไมโครเมตร ที่ปริมาณการเติม 10% w/v 20% w/v และ 30% w/v เพื่อทำการศึกษาค่าการนำไฟฟ้า และค่าการนำไฟฟ้าขณะทำการดึง-ยืดที่ความต่างศักย์ 110 โวลต์ ของยางธรรมชาติที่ผสมกับคาร์บอนแบล็ก และทำการทดสอบสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์โดยการวัดค่าการยืดตัวสูงสุดที่จุดขาด (Elongation at break) ค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength) และค่าความทนทานต่อการฉีกขาด (Tear resistance) จากผลการทดสอบสมบัติการนำไฟฟ้าของยางธรรมชาติเมื่อปริมาณคาร์บอนแบล็กเพิ่มขึ้นค่าการนำไฟฟ้าจะมีค่าเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเปรียบเทียบที่ขนาดของคาร์บอนแบล็กพบว่าที่ปริมาณความเข้มข้นเท่ากันขนาดของคาร์บอนแบล็กเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าการนำไฟฟ้ามีค่าลดลง ผลการทดสอบค่าการนำไฟฟ้าระหว่างดึง-ยืด เมื่อระยะการดึงเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ค่าการนำไฟฟ้าลดลง และจากผลการทดลองสมบัติเชิงกลค่าระยะการยืดตัวสูงสุดมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณและขนาดของคาร์บอนแบล็กมีค่าเพิ่มมากขึ้น ส่วนค่าของแรงดึงสูงสุดที่จุดขาดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของคาร์บอนแบล็กเพิ่มขึ้นและโมเลกุลของคาร์บอนแบล็กมีขนาดเล็ก เช่นเดียวกับค่าการต้านทานการฉีกขาดจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อคาร์บอนแบล็กมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น และขนาดของคาร์บอนแบล็กมีค่าลดลง

Title THE STUDY OF ELECTRICAL CONDUCTIVITY AND MECHANICAL PROPERTIES OF NATURAL RUBBER / CARBON BLACK

Author Nattacha Rungrueng ID. 55361618
Saithan Intarit ID. 55362776

Advisor Dr. Nopawan Mothong

Academic Paper Thesis Bachelor of Engineering Program in Chemical Engineering, Naresuan University, 2015

Keyword Carbon Black, Conductive Rubber, Natural Rubber

Abstract

This research studied the electrical properties of natural rubber blend with carbon black. Due to the limitations of natural rubber which has a very low conductivity. In this experiment the carbon black particles were added to rubber for improve the electrical conductivity and Mechanical properties of the blends. This experimental studied two types of rubber, natural rubber in latex form and latex with rubber powder. Three sizes of carbon black that used in this research were 1. Bigger than 450 micrometer 2. Between 180-225 micrometer 3. Between 45-150 micrometer. The amount of carbon black each size were also varied at 10% w/v, 20% w/v and 30% w/v. The electrical conductivity, the electrical conductivity while extending and Mechanical properties (elongation at break, tensile strength and tear resistance) were studied. The result revealed that the electrical conductivity of the blends increased with the increasing of the carbon black content. On the other hand, the bigger of carbon black size the lower electrical conductivity. For the effect of elongation, the results shown that the electrical conductivity was decreasing with the increasing of the extension. Moreover, the result of study revealed that the elongation at break has downward trend when content of carbon black and size of carbon black are increased. Tensile Strength and Tear resistance have upward trend when content of carbon black is increased and size of carbon black is decreased.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือของหลายๆ ฝ่ายโดยเฉพาะ ดร.นพวรรณ โม้ทอง อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ได้ให้คำแนะนำ คำปรึกษา แนะนำวิธีแก้ปัญหา รวมถึงข้อคิดเห็นต่างๆ ตลอดจนความดูแลเอาใจใส่ ติดตามการดำเนินโครงการมาโดยตลอด และขอขอบคุณคณะอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยนเรศวรทุกท่าน ที่ได้ให้วิชาความรู้เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ บริษัท ทีทีเอ็นรับเบอร์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์น้ำยาล้างพลาสติกที่ใช้ในการวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ ดร. สุเมธ เหมะวัฒนะชัย ที่ได้ให้คำปรึกษา และแนะนำวิธีที่มีประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิจัยนี้

นอกจากนี้ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อาจารย์และบุคลากรทุกท่านที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการเข้าไปใช้สถานที่ อุปกรณ์ และเครื่องมือสำหรับการขึ้นรูปชิ้นงาน ตลอดจนความรู้ และคำแนะนำ เพื่อใช้ในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นอย่างดีมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ผู้ดำเนินโครงการใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ได้ให้การดูแล อบรม สั่งสอน และให้กำลังใจด้วยดีเสมอมาตลอดการดำเนินโครงการจนสำเร็จการศึกษา

คณะผู้ดำเนินโครงการวิศวกรรม

นางสาวณัฐชา รุ่งเรือง

นางสาวสายธาร อินทฤทธิ์

พฤษภาคม 2559

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 ขอบเขตในการดำเนินโครงการ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีเบื้องต้นและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	24
บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงการ.....	32
3.1 วัสดุและสารเคมี.....	32
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	32
3.3 การเตรียมชิ้นงานวิจัย.....	33
3.4 การวัดสภาพการนำไฟฟ้า.....	36
3.5 การวัดสมบัติเชิงกล.....	36
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	39
4.1 การศึกษากระบวนการขึ้นรูปชิ้นงาน.....	39
4.2 ปัจจัยต่างๆของคาร์บอนแบล็กที่ส่งผลต่อสภาพการนำไฟฟ้า.....	41
4.3 การศึกษาสมบัติเชิงกลที่เป็นผลมาจากการใส่คาร์บอนแบล็ก.....	48

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	58
5.1 การศึกษาสมบัติการนำไฟฟ้าของยาง.....	58
5.2 การศึกษาสมบัติเชิงกลของยาง.....	58
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	59
เอกสารอ้างอิง.....	60
ภาคผนวก.....	63



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สัดส่วนของส่วนประกอบของน้ำยางสด	5
3.1 อัตราส่วนผสมสารเคมีที่ใช้ในการขึ้นรูปของน้ำยางพาราสด.....	34
4.1 ตารางแสดงผลการขึ้นรูปขึ้นงานยางผงดด้วยเครื่อง Two-roll-mill.....	39
1A ตารางแสดงค่าการนำไฟฟ้าระหว่างดิ่งยึด.....	64
2A ตารางแสดงค่าสภาพการนำไฟฟ้าของยางธรรมชาติผสมคาร์บอนแบล็ก.....	65
3A ตารางแสดงค่าระยะการยึดตัวสูงสุดของยางพาราแบบน้ำ.....	65
4A ตารางแสดงค่าระยะการยึดตัวสูงสุดของยางพาราแบบน้ำผสมยางพาราแบบผงด.....	66
5A ตารางแสดงค่าการต้านทานแรงดึงของยางพาราแบบน้ำ.....	66
6A ตารางแสดงค่าการต้านทานแรงดึงของยางพาราแบบน้ำผสมยางพาราแบบผงด.....	67
7A ตารางแสดงค่าการต้านทานแรงฉีกของยางพาราแบบน้ำ.....	67
8A ตารางแสดงค่าการต้านทานแรงฉีกของยางพาราแบบน้ำผสมยางพาราแบบผงด.....	68



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 สูตรโครงสร้างยางธรรมชาติ.....	4
2.2 สูตรโมเลกุลของไอโซพรีนและพอลิไอโซพรีน.....	5
2.3 เครื่องผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง (Two roll mill).....	7
2.4 สัดส่วนที่ทำให้เกิดการเชื่อมต่อกันของอนุภาค (The percolation threshold).....	15
2.5 โครงสร้างของคาร์บอนแบล็กที่ถ่ายด้วย Electron microscope.....	21
2.6 โครงสร้างลิวอิสของมีเทน.....	21
2.7 ความสัมพันธ์ของค่าสภาพการนำไฟฟ้ากับปริมาณคาร์บอนแบล็กที่ผสม.....	25
2.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณของคาร์บอนแบล็กกับ Volume resistivity.....	26
2.9 ความสัมพันธ์ของค่าสภาพการนำไฟฟ้ากับปริมาณคาร์บอนแบล็กแบบที่มีฟองอากาศ และไม่มีฟองอากาศ.....	27
2.10 แสดงค่าการนำไฟฟ้าของ (a) LLDPE-CB (LLDPE ผสมคาร์บอนแบล็ก) และ (b) LLDPE-PPy (LLDPE ผสมกับพอลิไพโรล) ที่มีปริมาณสารเติมต่างกัน.....	29
3.1 ขั้นตอนในการขึ้นรูปชิ้นงาน.....	34
3.2 แผนการดำเนินงาน.....	35
3.3 ชิ้นงานทดสอบเพื่อวัดค่าสภาพการนำไฟฟ้า.....	36
3.4 เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine รุ่น Lloyd, LR 10K Plus)...	37
3.5 ชิ้นงานทดสอบรูปตัดัมเบลล์ (Die C).....	38
3.6 ชิ้นงานทดสอบแบบ Type T (Trousar) ตามมาตรฐาน ASTM D624.....	38
4.1 แสดงค่าสภาพการนำไฟฟ้าของคาร์บอนแบล็กที่ปริมาณ 10 20 และ 30 phr.....	42
4.2 แสดงค่าสภาพการนำไฟฟ้าของคาร์บอนแบล็กที่ปริมาณ 10 และ 20 phr ของยางธรรมชาติผสมยางพาราผง.....	44
4.3 (ก) ค่าการนำไฟฟ้าระหว่างดิ่งยึดของขนาด 45-150 ไมโครเมตร.....	46
4.3 (ข) ค่าการนำไฟฟ้าระหว่างดิ่งยึดของขนาด 80-225 ไมโครเมตร.....	46
4.3 (ค) ค่าการนำไฟฟ้าระหว่างดิ่งยึดของขนาดมากกว่า 450 ไมโครเมตร.....	46
4.4 กราฟแสดงค่าระยะการยึดตัวสูงสุดของยางพาราแบบน้ำ ต่อปริมาณของคาร์บอนแบล็กที่ขนาดโมเลกุลต่างๆ.....	48
4.5 กราฟแสดงค่าระยะการยึดตัวสูงสุดของยางพาราแบบน้ำผสมยางพาราแบบผงที่ 5 phr ต่อปริมาณของคาร์บอนแบล็กที่ขนาดโมเลกุลต่างๆ.....	49
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการยึดตัวสูงสุด กับขนาดของคาร์บอนแบล็กที่ปริมาณการเติม 20 phr ของยางพาราแบบน้ำ และแบบน้ำผสมแบบผงที่ 5 phr.....	50
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด (N) ของยางธรรมชาติต่อค่าปริมาณคาร์บอนแบล็ก (phr) ที่แต่ละขนาด.....	52

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด (N) ของยางธรรมชาติแบบน้ำผสมแบบผงต่อค่าปริมาณคาร์บอนแบล็ก (phr) ที่แต่ละขนาด.....	52
4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการต้านทานแรงดึงสูงสุด กับขนาดของคาร์บอนแบล็กที่ปริมาณการเติม 20 phr ของยางพาราแบบน้ำ และแบบน้ำผสมแบบผงที่ 5 phr.....	54
4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความต้านทานแรงฉีก (N/m) ของยางธรรมชาติต่อค่าปริมาณคาร์บอนแบล็ก (phr) ที่แต่ละขนาด.....	55
4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด (N) ของยางธรรมชาติแบบน้ำผสมแบบผงที่ 5 phr ต่อค่าปริมาณคาร์บอนแบล็ก (phr) ที่แต่ละขนาด.....	56
4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการต้านทานแรงฉีก กับขนาดของคาร์บอนแบล็กที่ปริมาณการเติม 20 phr ของยางพาราแบบน้ำ และแบบน้ำผสมแบบผงที่ 5 phr.....	57



สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ

ASTM	=	American Society for Testing and Materials
mm	=	Millimeter
μm	=	Micrometer
N	=	Newton
N/m	=	Newton per meter
% w/v	=	Percent Weight by Volume



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

ในปัจจุบันยางพาราและผลิตภัณฑ์จากยางพารามีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทยอย่างมาก พบว่ามีเกษตรกรตลอดจนผู้ที่ทำธุรกิจเกี่ยวกับยางพาราประมาณ 1 ล้านครอบครัว จำนวนไม่น้อยกว่า 6 ล้านคน ประเทศไทยเป็นประเทศที่ส่งออกยางพาราและผลิตภัณฑ์ยางพาราเป็นอันดับ 1 ของโลก นับตั้งแต่ พ.ศ. 2534 เป็นต้นมา [1] โดยในปี 2557 ประเทศไทยมีเนื้อที่ปลูกยางพารารวม 46.72 ล้านไร่ คิดเป็นร้อยละ 59.91 ของเนื้อที่ปลูกยางพาราของโลก และมีผลผลิตรวม 8.21 ล้านตัน คิดเป็นร้อยละ 67.18 ของผลผลิตโลก และมีการขยายเนื้อที่ปลูกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องร้อยละ 0.49 ต่อปี จาก 21.53 ล้านไร่ ในปี 2553 เป็น 22.45 ล้านไร่ ในปี 2557 เนื่องจากรัฐบาลมีนโยบายสนับสนุนให้ประเทศเป็นฐานการผลิตรถยนต์ในภูมิภาคอาเซียน [2] ทำให้ในช่วงที่ราคาของยางพารามีราคาตกต่ำ จึงส่งผลกระทบต่อเกษตรกรจำนวนมาก

นอกจากนี้อุตสาหกรรมยางยังเป็นอุตสาหกรรมที่มีความเกี่ยวข้องกับเกษตรกรชาวสวนยางมากที่สุด ในการพัฒนาอุตสาหกรรมยางไม่ว่าจะเป็นขนาดใหญ่หรือขนาดเล็ก ย่อมจะก่อให้เกิดรายได้ทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อเกษตรกรชาวสวนยาง โดยอีกแนวทางหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มมูลค่าของยางพารา คือการส่งเสริมให้มีการใช้ยางพาราร่วมกับผลิตภัณฑ์อื่นๆ ดังนั้นการเพิ่มปริมาณการใช้ยางในประเทศและเพิ่มสัดส่วนการใช้ยางธรรมชาติในผลิตภัณฑ์ต่างๆ จะส่งผลประโยชน์ต่อเกษตรกรชาวสวนยาง ซึ่งจะทำให้เกษตรกรชาวสวนยางมีรายได้ และความมั่นคงในอาชีพสวนยางมากขึ้น

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา มีผู้ที่สนใจศึกษาพัฒนาเกี่ยวกับการปรับปรุงคุณสมบัติในการนำไฟฟ้า เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในงานกับผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายขึ้นของพอลิเมอร์ให้มากขึ้นในภาคอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมยานยนต์ อุปกรณ์ทางการแพทย์ เป็นต้น หากสามารถนำยางพาราไปใช้ร่วมกับผลิตภัณฑ์อื่นๆ ได้ก็จะทำให้ปัญหาเกี่ยวกับราคาที่ตกต่ำของยางพาราดีขึ้น ในการนำมาประยุกต์ใช้งานที่ต้องใช้สมบัติการนำไฟฟ้าจำเป็นต้องนำไปผสมกับวัสดุเสริมที่สามารถนำไฟฟ้าได้ดี เช่น ซิลิกา คาร์บอนแบล็ก (Carbon Black) เป็นต้น [3-17] ทั้งนี้ในการเพิ่มสมบัติการนำไฟฟ้าของวัสดุเชิงประกอบพอลิเมอร์จะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ ขนาด โครงสร้าง ปริมาณ และชนิดของวัสดุนำไฟฟ้าที่ใช้ผสมกับพอลิเมอร์

งานวิจัยชิ้นนี้สนใจทำการศึกษาและดำเนินการปรับปรุงสมบัติทางไฟฟ้าของยางธรรมชาติ เนื่องจากในยางธรรมชาติหรือยางพารานี้ยังมีข้อจำกัดที่สำคัญอยู่ คือมีค่าการนำไฟฟ้าต่ำมาก โดยจะทำการเติม

วัสดุเสริม คือ คาร์บอนแบล็ก เพื่อให้ยางธรรมชาตินั้นมีสมบัติในการนำไฟฟ้าที่ดีขึ้น ซึ่งจะศึกษาด้วยการนำยางธรรมชาติ 2 ประเภท คือน้ำยางพาราสด กับยางพาราแบบผง มาผสมกับคาร์บอนแบล็ก ที่มีขนาดต่างกัน 3 ขนาด เพื่อศึกษาการนำไฟฟ้า และการนำไฟฟ้าขณะทำการดึง-ยืด ของยางธรรมชาติเมื่อทำการผสมกับคาร์บอนแบล็กแล้ว และนำไปเปรียบเทียบกับค่าการนำไฟฟ้าของยางธรรมชาติบริสุทธิ์ที่มีสภาพการนำไฟฟ้าประมาณ $10^{-14} \Omega^{-1}$ ซึ่งถือว่าอยู่ในช่วงของวัสดุที่เป็นฉนวนทางไฟฟ้า และทดสอบสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์โดยการวัดค่าการยืดตัวสูงสุดที่จุดขาด (Elongation at break) ค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength) และค่าความทนทานต่อการฉีกขาด (Tear resistance)

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อศึกษาผลของขนาดอนุภาค และปริมาณของคาร์บอนแบล็ก ที่ส่งผลต่อค่าการนำไฟฟ้าและค่าการนำไฟฟ้าระหว่างดึง-ยืด ของยางธรรมชาติ

1.2.2 เพื่อศึกษาสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติเมื่อผสมคาร์บอนแบล็ก ได้แก่ ค่าระยะการยืดตัวสูงสุดที่จุดขาด ค่าความต้านทานแรงดึง และค่าความต้านทานแรงฉีก

1.3 ขอบเขตในการดำเนินโครงการ

1.3.1 ตัวแปรต้น

1.3.1.1 ชนิดของยางพารา คือ น้ำยางพาราสด และยางพาราแบบผง

1.3.1.2 ขนาด และปริมาณของคาร์บอนแบล็ก

1.3.2 ตัวแปรตาม

1.3.2.1 ค่าการนำไฟฟ้าของยางธรรมชาติเมื่อผสมคาร์บอนแบล็ก

1.3.2.2 สมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติผสมคาร์บอนแบล็กที่มีปริมาณ และขนาดต่างกัน

1.3.3 ตัวแปรควบคุม

1.3.3.1 คาร์บอนแบล็ก เกรด N 330

บทที่ 2 ทฤษฎีเบื้องต้นและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีเบื้องต้น

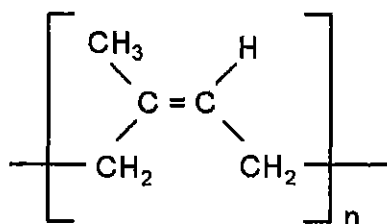
2.1.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับยางธรรมชาติและสมบัติ

2.1.1.1 ยางธรรมชาติ (Natural Rubber, NR) [18]

ยางธรรมชาติส่วนมากเป็นยางที่ได้มาจากต้นยาง *Hevea Braziliensis* ซึ่งมีต้นกำเนิดจากกลุ่มแม่น้ำ อเมซอนในทวีปอเมริกาใต้ น้ำยางสดที่กรีตได้จากต้นยางมีลักษณะสีขาวขุ่นและมีเนื้อยางแห้ง (Dry rubber) ประมาณ 30 % แขนงลอยอยู่ในน้ำ ถ้านำน้ำยางที่ได้นี้ไปผ่านกระบวนการปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) จนกระทั่งได้น้ำยางที่มีปริมาณยางแห้งเพิ่มขึ้นเป็น 60 % เรียกว่า น้ำยางข้น (Concentrated latex) การเติมสารแอมโมเนียลงไปจะช่วยรักษาสภาพของน้ำยางข้นให้เก็บไว้ได้ ส่วนที่เหลือจะถูกนำไปใช้เป็นตัวเติมในอุตสาหกรรมถุงมือยางและถุงยางอนามัย เป็นต้น แต่เมื่อนำน้ำยางสดที่กรีตได้มาเติมกรดเพื่อให้อนุภาคน้ำยางจับตัวกันเป็นของแข็งแยกตัวจากน้ำ จากนั้นกรีตยางให้เป็นแผ่นด้วยเครื่องรีด (Two-roll mill) และนำไปตากแดดเพื่อไล่ความชื้นก่อนจะนำไปอบรมควันที่อุณหภูมิประมาณ 60-70 °C เป็นเวลา 3 วันจะได้ยางแผ่นรมควัน

นอกจากยางแผ่นรมควันแล้ว อุตสาหกรรมส่วนใหญ่เริ่มเปลี่ยนมาใช้ยางแท่งหรือยางก้อนเป็นวัตถุดิบ ทั้งนี้เนื่องจากยางแท่งเป็นยางที่มีคุณภาพที่สม่ำเสมอกว่ายางแผ่นรมควัน ผ่านการทดสอบและจัดชั้นเพื่อรับรองคุณภาพตามหลักวิชาการ วัตถุดิบของการผลิตยางแท่ง ได้แก่ น้ำยางหรือยางแผ่นขึ้นอยู่กับเกรดของยางแท่งที่ต้องการผลิต เช่น ถ้าต้องการผลิตยางแท่งเกรด STR5L ซึ่งมีสีจางมาก จำเป็นต้องใช้น้ำยางเป็นวัตถุดิบ หรือถ้าต้องการผลิตยางแท่งเกรด STR20 ซึ่งเป็นเกรดที่มีสีเงาปนสูงและมีสีเข้ม ก็อาจใช้ยางแผ่นหรือขี้ยางเป็นวัตถุดิบ เป็นต้น ส่วนกระบวนการผลิตยางแท่งค่อนข้างจะยุ่งยากต้องอาศัยเครื่องจักรที่มีราคาแพงและต้องมีการควบคุมคุณภาพอย่างสม่ำเสมอ

ยางธรรมชาติมีชื่อทางเคมี คือ Cis-1,4-polyisoprene กล่าวคือ มี Isoprene (C₅H₈) โดยที่ n มีค่าตั้งแต่ 15,000 -20,000 เนื่องจากส่วนประกอบของยางธรรมเป็นไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นยางจึงละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เบนซีน เฮกเซน เป็นต้น โดยทั่วไปยางธรรมชาติมีโครงสร้างการจัดเรียงตัวของโมเลกุลแบบอสัณฐาน (Amorphous) แต่ในบางสภาวะโมเลกุลของยางสามารถจัดเรียงตัวค่อนข้างเป็นระเบียบที่อุณหภูมิต่ำหรือเมื่อถูกยืด มันจึงสามารถเกิดผลึก (Crystallize) ได้ การเกิดผลึกเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ จะทำให้ยางแข็งมากขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นยางก็จะอ่อนลงและกลับสู่สภาพเดิม ในขณะที่การเกิดผลึกเนื่องจากการยืดตัว (Strain induced crystallization) ทำให้มีสมบัติเชิงกลตีมีความทนทานต่อแรงดึง (Tensile strength) ความทนทานต่อการฉีกขาด (Tear resistance) และความทนทานต่อการขัดสี (Abrasion resistance) สูง



รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างยางธรรมชาติ [18]

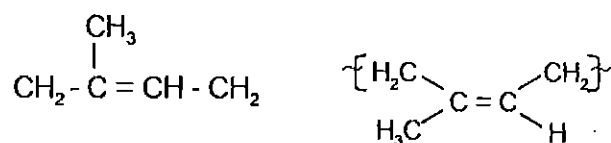
ลักษณะเด่นอีกอย่างของธรรมชาติคือ ความยืดหยุ่น (Elasticity) ยางธรรมชาติมีความยืดหยุ่นสูง เมื่อแรงภายนอกที่มากระทำกับมันหมดไป ยางก็จะกลับคืนสู่รูปร่างและขนาดเดิม (หรือใกล้เคียง) อย่างรวดเร็ว ยางธรรมชาติยังมีสมบัติดีเยี่ยมด้านการเหนียวติดกัน (Tack) ซึ่งเป็นสมบัติสำคัญของการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องอาศัยการประกอบ (Assemble) ชิ้นส่วนต่างๆ เข้าด้วยกัน เช่น ยางรถยนต์ เป็นต้น

2.1.1.2 น้ำยางธรรมชาติ (Natural Rubber Latex) [19]

ความหมายของน้ำยาง

น้ำยาง (Latex) มาจากภาษาละติน หมายถึง ของเหลว (Liquid) หรือของไหล (Fluid) ในบางครั้งก็มีการให้ความหมายว่าเป็นของเหลวหรือของไหลที่มีลักษณะคล้ายน้ำนม (Milky) โดยเฉพาะของไหลที่มีส่วนประกอบของน้ำ ในระยะเวลา 10 ปี ก่อนศตวรรษที่ 19 นักพฤกษศาสตร์ให้ความหมายของน้ำยางว่าเป็นน้ำจากเนื้อเยื่อพืชที่มีลักษณะคล้ายน้ำนม สีขาว ต่อมากลางศตวรรษที่ 19 น้ำยางจึงเป็นคำที่ใช้กันทั่วไปในอุตสาหกรรมยาง

ความหมายของน้ำยางทางด้านวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์และเทคโนโลยี เป็นสารพอลิเมอร์ที่มีการกระจายตัวแบบคอลลอยด์ในตัวกลางที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบ ดังนั้น น้ำยางธรรมชาติที่ได้จากต้นยางพารา *Hevea Brasiliensis* จึงเป็นสารพอลิเมอร์ของอนุภาคยางที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกระจายตัวอยู่ในตัวกลางน้ำ



ไอโซพรีน (isoprene) พอลิไอโซพรีน (cis - 1, 4 - Polyisoprene)

รูปที่ 2.2 สูตรโมเลกุลของไอโซพรีนและพอลิไอโซพรีน [19]

ส่วนประกอบของน้ำยางสด แบ่งได้ 2 ส่วนหลัก คือ

- 1) ส่วนที่เป็นยาง (Dry Rubber Content, DRC) เป็นอนุภาคยางของไอโซพรีนที่เชื่อมต่อกันประมาณ 2000 - 5000 หน่วย ต่อ 1 โมเลกุล
- 2) ส่วนที่ไม่ใช่ยาง (Non Rubber Content) เป็นส่วนประกอบอื่นๆ ทั้งหมดที่ไม่ใช่ยางมีสารประกอบต่างๆ หลายชนิด เช่น น้ำตาล โปรตีน ไขมัน คาโรทีนอยด์ เกลือแร่ เอนไซม์และสารประกอบไนโตรเจน เป็นต้น สัดส่วนของส่วนประกอบของน้ำยางสด ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สัดส่วนของส่วนประกอบของน้ำยางสด [19]

ส่วนประกอบ	สัดส่วน (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (ส่วนที่เป็นเนื้อยางและไม่ใช่เนื้อยาง)	36
สารจำพวกโปรตีน	1 - 1.5
สารจำพวกเรซิน	1 - 2.5
ซีลีล่า	สูงถึง 1
น้ำตาล	1
น้ำ (ปริมาณที่รวมกับสารอื่น แล้วเป็น 100)	

ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางสด จะมีส่วนที่เป็นเนื้อยางแห้ง (Dry rubber) ประมาณ 33% กับส่วนที่ไม่ใช่ยาง (Non rubber) 3% แต่เมื่อปั่นน้ำยางสดเป็นน้ำยางข้นแล้ว ส่วนที่ไม่ใช่ยางจะลดลงเหลือประมาณ 1% - 2% ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพและการปรับเครื่องปั่น ความแปรปรวนของสารต่างๆ ในน้ำยางขึ้นกับ พันธุ์ยาง อายุยาง ฤดูกาลกรีดยาง และวิธีการกรีดยาง

การรักษาสภาพน้ำยางสด

น้ำยางสดสามารถคงสภาพเป็นของเหลวได้ เนื่องจากปัจจัย 2 ประการ คือ

1) ส่วนประกอบของโปรตีนที่ดูดซับอยู่รอบๆ ผิวของอนุภาคยาง หรือ โปรตีนเป็นชั้นห่อหุ้ม (Hydrated protein envelop) อนุภาคยางไว้ จึงมีความสำคัญต่อสถานะความคงตัวของเหลวของ น้ำยางเพราะโปรตีนจะป้องกันการรวมตัวกันของอนุภาคยาง ถ้ามีการสูญเสียน้ำ (Dehydrated) ในชั้นของโปรตีนที่ 7 หุ้มอนุภาคยาง ซึ่งอาจเกิดจากการเติมแอลกอฮอล์หรือสารบางอย่างลงในน้ำยาง ทำให้อนุภาคยางมารวมตัวกันเป็นก้อนยาง (Coagulum) น้ำยางก็จะสูญเสียความคงตัว ไม่เป็นของเหลว

2) ประจุลบที่อยู่รอบๆ อนุภาคยางซึ่งก่อให้เกิดการผลักกันระหว่างอนุภาคยางก็จะช่วยรักษาสถานะการกระจายตัวของอนุภาคยางด้วย ทำให้น้ำยางยังเป็นของเหลวอยู่ได้ ถ้าเกิดผลกระทบที่ทำให้ประจุลบลดลง อนุภาคยางก็จะรวมตัวกันเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ ทำให้การกระจายตัวของอนุภาคยางค่อยๆ ลดลงจนกระทั่งเกิดเป็นก้อนยาง น้ำยางก็จะเสียสภาพการเป็นของเหลว

น้ำยางสดที่ได้จากการกรีดยางมีสถานะเป็นกลาง และมีสารประกอบน้ำตาลที่เป็นอาหารของแบคทีเรียและยีสต์ที่อยู่ในอากาศ เมื่อน้ำยางสดไหลออกจากต้นยาง แบคทีเรียในอากาศจะปะปนกับน้ำยางบนรอยกรีดยาง เปลือกต้นยาง และในถ้วยรับน้ำยาง ทำให้น้ำตาลเปลี่ยนเป็นสารที่เป็นกรดซึ่งไปทำลายชั้นโปรตีนที่หุ้มอนุภาคยาง ทำให้น้ำยางเสียสภาพการเป็นของเหลว น้ำยางจะหนืดขึ้น และจับตัวเป็นเม็ดเล็กๆ ซึ่งชาวบ้านเรียกว่า เม็ดพริก มีกลิ่นเหม็นบูดเน่าภายในเวลาไม่กี่ชั่วโมง การเสียสภาพแบบนี้ เรียกว่า การจับตัวที่เกิดเองตามธรรมชาติ (Natural or Spontaneous Coagulation) การจับตัวของยางจะช้าเร็วเพียงใดขึ้นกับปัจจัยต่างๆ เช่น สภาพแวดล้อม อุณหภูมิ ความคงตัวของน้ำยาง พันธุ์ยาง เป็นต้น ดังนั้นเพื่อป้องกันมิให้น้ำยางสดที่ได้อยู่ในสภาพของเหลว ไม่จับเป็นก้อน จำเป็นต้องเติมสารเคมีรักษาสภาพน้ำยางสดอย่างไรก็ตามต้องเลือกสารเคมีรักษาสภาพน้ำยางสดให้เหมาะสมสำหรับการนำน้ำยางสดไปแปรรูปเป็นยางดิบชนิดต่างๆ ด้วย

สารเคมีรักษาสภาพน้ำยางสด

สารเคมีรักษาสภาพน้ำยางควรมีสมบัติ ดังนี้

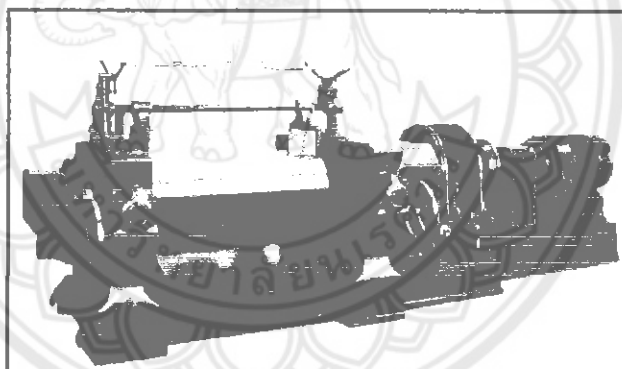
- 1) มีประสิทธิภาพในการทำละลายจุลินทรีย์
- 2) ควรมีประสิทธิภาพเป็นด่างเพื่อส่งเสริมสถานะแขวนลอยให้น้ำยาง
- 3) ทำให้อนุมูลโลหะหนักไม่รบกวนต่อการเกิดปฏิกิริยา
- 4) สามารถระงับการทำงานของเอนไซม์ที่ช่วยการเจริญของจุลินทรีย์
- 5) ไม่เป็นพิษต่อคนและต่อคุณภาพของยาง กำจัดได้ง่ายและ กำจัดได้สะดวก

2.1.1.3 การขึ้นรูปยาง [20]

การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง (Molding) คือการขึ้นรูปยางให้เป็นชิ้นงานที่มีขนาดและรูปร่างที่แน่นอน โดยใช้แม่พิมพ์ในการขึ้นรูป โดยเปลี่ยนยางเทอร์โมเซตจากสถานะที่เป็นของเหลวไปสู่สถานะของแข็งเครื่องผสมยางแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1) เครื่องผสมยางแบบไม่ต่อเนื่อง (Batch mixer) ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ระบบ ได้แก่

1.1) ระบบเปิดได้แก่ เครื่องผสมแบบ 2 ลูกกลิ้ง (Two roll mill) เครื่องผสมยางแบบ 2 ลูกกลิ้งเป็นเครื่องผสมระบบเปิดประกอบด้วยลูกกลิ้ง 2 ลูก เรียงตัวในแนวนอนขนานกัน หมุนเข้าหากันด้วยความเร็วต่างกัน ทำให้เกิดแรงเฉือนที่จำเป็นต่อการบดผสมยางกับสารเคมียาง ในการผสมยางกับสารเคมียางจะใส่ยางลงช่องระหว่างลูกกลิ้ง ยางจะถูกรีดออกมาเป็นแผ่นรอบลูกกลิ้งด้านหน้า จากนั้นจึงเติมสารเคมียาง โดยผู้ผสมต้องทำการกรีดยางแผ่นและพับไปมาในขณะที่เติมสารเคมีลงไป ในยาง ซึ่งยางที่ถูกตัดพับจะถูกใส่กลับไปยังช่องระหว่างลูกกลิ้ง แรงเฉือนที่เกิดขึ้นจะช่วยให้สารเคมีต่างๆ กระจายตัวเข้ากับเนื้อยางได้ดี เครื่องผสมยางแบบสองลูกกลิ้งใช้ผสมยางในปริมาณไม่มาก เนื่องจากต้องใช้ความชำนาญและกำลังคนในการผสม



รูปที่ 2.3 เครื่องผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) [20]

1.2) ระบบปิด แบ่งตามลักษณะของโรเตอร์ ออกเป็น 4 แบบ ได้แก่ เครื่องผสมที่เป็นระบบปิดแบบนบุรี (Banbury internal mixer) เครื่องผสมระบบปิดแบบอินเตอร์มิกซ์ (Intermix internal mixer) เครื่องผสมระบบปิดแบบที่ปรับระยะห่างระหว่างโรเตอร์ได้ (Variable intermeshing clearance internal mixer) เครื่องผสมระบบปิดอื่นๆ ได้แก่ เครื่องนวดยางหรือนีดเตอร์ (Kneader)

2) เครื่องผสมยางแบบต่อเนื่อง (Continuous mixer) ได้แก่ เครื่องผสมแบบเกลียวทวนเดี่ยว (Single screw) เครื่องผสมแบบเกลียวทวนคู่ (Twin screw)

การขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์ (molding)

การขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์นั้นเป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดทั้งการขึ้นรูป (forming) และ คงรูป (vulcanizing) ผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนเดียวกัน โดยอาศัยความร้อนและแรงอัด เริ่มจากการให้ความร้อนแก่แม่พิมพ์ก่อน จากนั้นจึงนำยางคอมพาวด์ไปใส่ลงในแม่พิมพ์ เมื่อยางไหลเต็มแม่พิมพ์แล้ว ความร้อนจากแม่พิมพ์จะทำให้ยางเกิดปฏิกิริยาคงรูปต่อไป แม่พิมพ์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมสามารถแบ่งได้ออกเป็น 3 แบบ ได้แก่

- 1) แม่พิมพ์แบบกดอัด (compression mold)
- 2) แม่พิมพ์แบบกึ่งฉีด (transfer mold)
- 3) แม่พิมพ์แบบฉีด (injection mold)

การขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์แบบกดอัด (compression mold)

การขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์แบบกดอัดเป็นวิธีที่ใช้กันมากที่สุดในอุตสาหกรรมเมื่อเทียบกับวิธีการขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์แบบอื่น เพราะเป็นวิธีที่ง่ายและเครื่องจักรที่ใช้มีราคาไม่สูงมากนัก เครื่องจักรที่ใช้ ได้แก่ เครื่องกดอัดระบบไฮดรอลิก (hydraulic press) ซึ่งประกอบด้วยแผ่นกดอัด (platen) จำนวน 2 แผ่น หรือมากกว่า 2 แผ่น ขึ้นกับการออกแบบ แผ่นกดอัดจะเลื่อนขึ้นลงด้วยระบบไฮดรอลิกเพื่ออัดและส่งผ่านแรงดันไปสู่แม่พิมพ์ที่อยู่ตรงกลางระหว่างแผ่นกดอัด เครื่องจะสามารถตั้งอุณหภูมิและควบคุมความร้อนให้คงที่ระหว่างการผลิต

ในส่วนของแม่พิมพ์แบบกดอัดนี้ประกอบด้วยแม่พิมพ์ 2 ส่วน คือแม่พิมพ์ส่วนบน (lid) และแม่พิมพ์ส่วนล่าง (base) โดยแม่พิมพ์ส่วนล่างจะมีช่องเป็นรูปร่างของผลิตภัณฑ์ เรียกว่า แม่พิมพ์ (cavity) สำหรับใส่ยางคอมพาวด์ที่จะขึ้นรูป จากนั้นนำแม่พิมพ์ส่วนบนมาปิดทับ สลัก (pin) ที่ติดอยู่กับแม่พิมพ์ส่วนบนจะช่วยล็อกไม่ให้เกิดการเคลื่อนตัวในแนวระนาบขณะที่ได้รับแรงกดอัด เมื่อให้แรงดันแก่แม่พิมพ์ ยางคอมพาวด์จะถูกบังคับให้ไหลจนเต็มแม่พิมพ์ และความร้อนจากแม่พิมพ์จะทำให้ยางเกิดการคงรูป ผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่ เช่น ยางล้อ ยางโอริง ยางรองแท่นเครื่อง พื้นรองเท้า ฯลฯ ก็ขึ้นรูปด้วยวิธีนี้

2.1.1.4 สารทำให้ยางคงรูป หรือ สารวัลคาไนซิ่ง (Vulcanizing Agent) [21]

สารทำให้ยางคงรูป หรือ สารวัลคาไนซิ่ง เป็นสารที่ก่อให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลของยาง (Crosslink) ตรงตำแหน่งที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา เพื่อการปรับปรุงสมบัติของผลิตภัณฑ์ยางให้ดีขึ้นปฏิกิริยาที่เกิดเรียกว่า การคงรูป หรือการวัลคาไนซิ่ง (Vulcanization หรือ Cure) ซึ่งสมบัติของยางที่เปลี่ยนไปมีดังนี้

- 1) ยางจะเปลี่ยนจากความเป็นอีลาสติก ความเป็นพลาสติกไปสู่ความเป็นอีลาสติกสูงขึ้น

- 2) เพิ่มความแข็งแรง เพิ่มโมดูลัส และเพิ่มความต้านทานต่อการสึกหรอ
- 3) เปลี่ยนสภาพของยางจากการละลายในสารละลายเป็นยางที่ไม่ละลายในสารละลายและไม่พองตัว
- 4) เปลี่ยนสภาพของยาง จากสภาพที่เป็นเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) เป็นเทอร์โมเซต (Thermosetting)

สารทำให้ยางคงรูป หรือ สารวัลคาไนซ์ แบ่งได้เป็น 3 พวก คือ

1) กำมะถัน (Sulfur, S) กำมะถัน เป็นสารทำให้ยางคงรูป หรือ สารวัลคาไนซ์ซึ่งที่นิยมใช้มากที่สุด โดยมีประมาณ 90% และนิยมใช้กับยางที่ไม่อิ่มตัว (Unsaturated rubber) ซึ่งได้แก่ ยางธรรมชาติ ยางสไตรีนบิวตาไดอีน ยางบิวทาไดอีน ยางพอลิไอโซพรีน ยางเอทิลีน-โพรพิลีน-ไดอีน ยางไนไตรล์ เป็นต้น เมื่อนำกำมะถันใส่ เข้าไปในยาง แล้วให้ความร้อน จะเกิดการคงรูป หรือการวัลคาไนซ์ขึ้นโดยกำมะถันจะเป็นตัวไปเชื่อมระหว่างโมเลกุลของยาง เรียกว่าเกิด Crosslink และถ้าเพิ่มปริมาณของกำมะถันโครงสร้างแบบเชื่อมโยงจะเพิ่มขึ้น

ปริมาณของกำมะถันที่ใช้ จะอยู่ในช่วงประมาณ 1 – 3 phr (หน่วย phr หรือ part per hundred of rubber คือ หน่วยการผสมยางโดยคิดสัดส่วนปริมาณสารต่างๆเมื่อเทียบกับยาง 100 ส่วนโดยน้ำหนัก) แต่โดยทั่วไปสำหรับในยางธรรมชาติ มักไม่เกิน 2.5 phr เพราะปริมาณกำมะถัน 2.5 phr จะให้ความต้านทานต่อแรงดึงสูงที่สุด นอกจากเมื่อต้องการยางที่มีโมดูลัสต่ำ จะใช้กำมะถันน้อยลง หรือถ้าต้องการยางที่มีโมดูลัสสูง จะใช้กำมะถันมากขึ้น แต่ในยางสไตรีนบิวตาไดอีนนั้นจะมีปริมาณของกำมะถันที่ใช้น้อยกว่าในยางธรรมชาติประมาณ 1.5 – 2.0 phr

กำมะถันที่ใช้ในยางต้องเป็นกำมะถันที่มีขนาดอนุภาคเล็ก ซึ่งขนาดอนุภาคยิ่งเล็ก จะทำให้กำมะถันกระจายในยางได้ทั่วถึงดีขึ้น ทำให้ยางเกิดการคงรูปได้ทั่วถึง และยางที่คงรูปแล้วจะมีสมบัติสูงด้วย การใส่กำมะถันลงในยาง จะใส่หลังสุดในจำนวนสารเคมีทั้งหมด เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการคงรูปก่อนกำหนด แต่อย่างบางอย่าง เช่น ยางไนไตรล์ ซึ่งกำมะถันกระจายในยางได้ไม่ดี จะต้องใส่กำมะถันเข้าไปตั้งแต่เริ่มต้น เพื่อช่วยให้เวลาในการกระจายเพิ่มขึ้น

การผสมกำมะถันเข้าไปในยาง เมื่อตั้งทิ้งไว้ กำมะถันที่เป็นส่วนเกินจะตกผลึกออกมาที่ผิวยาง เรียกว่า เกิดการบลูม (Blooming) การแก้ปัญหาของการที่กำมะถันเกิดการแยกตัวมาอยู่ที่ผิวยางสามารถทำได้โดยผสมกำมะถันเข้าไปในยางที่อุณหภูมิต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้ หรืออาจใช้กำมะถันชนิดไม่ละลาย (Insoluble sulfur) แทนกำมะถันธรรมดาซึ่งเป็นแบบชนิดละลาย (Soluble sulfur) แต่กำมะถันชนิด ไม่ละลายไม่คงตัว จะเปลี่ยนเป็นกำมะถันชนิดละลายภายใน 10 – 20 นาที ในกระบวนการแปรรูปยางจะต้องให้อุณหภูมิของยางต่ำเพื่อป้องกันไม่ให้อุณหภูมิของกำมะถันชนิดไม่ละลายเปลี่ยนรูปในการใช้งานจริง ๆ อาจใช้กำมะถันชนิดไม่ละลายปนกับกำมะถันชนิดละลายก็ได้ เช่น ใช้กำมะถันชนิดไม่ละลายประมาณ 70% ของปริมาณทั้งหมด จะลดการตกผลึกของกำมะถันที่ผิวทางได้

ข้อดีและข้อเสียของกำมะถัน

- ข้อดี**
- 1) กำมะถันมีราคาค่อนข้างถูก ทำให้ต้นทุนต่ำ
 - 2) กระจายตัวง่ายในยาง
 - 3) ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ
 - 4) มีผลโดยตรงต่อสารเร่ง จึงเป็นตัวควบคุมอัตราการเกิดวัลคาไนซ์

- ข้อเสีย**
- 1) มีแนวโน้มทำให้เกิดการแยกตัวมาอยู่ที่ผิวยาง
 - 2) มีการติดสีของซัลไฟด์
 - 3) ถ้านำยางที่ผสมกำมะถันไปอบจะมีความต้านทานต่อความร้อนไม่ดี
 - 4) มีขีดจำกัดในการใช้ คือ ใช้ได้กับยางที่ไม่อิมตัว

นอกจากกำมะถันแล้ว ยังมีธาตุอื่น ๆ ที่คล้ายกำมะถัน ทำหน้าที่เป็นสารทำให้ยางคงรูปหรือสารวัลคาไนซ์ ได้แก่ ซีลีเนียม (Selenium) และ เทลลูเรียม (Tellurium) ใช้แทนกำมะถันเมื่อต้องการสมบัติความต้านทานต่อความร้อน แต่ปฏิกริยามีสาร 2 ตัวนี้ทำกับยาง ไม่ได้เท่ากับกำมะถันและยังเป็นพิษ โดยทั่วไปนิยมใช้เป็นสารทำให้ยางคงรูปเสริมร่วมกับกำมะถัน ซึ่งจะทำให้ใช้ปริมาณกำมะถันลดลง และทำให้ได้ยางที่มีความต้านทานต่อความร้อนและไอน้ำ และมีโมดูลัสสูงขึ้นด้วย

2) สารที่ให้กำมะถัน (Sulfur donor) หมายถึง สารที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ และสลายให้กำมะถันที่อุณหภูมิของการคงรูปได้แก่ TMTD (Tetramethyl thiuram disulphide), DTDM (Dimorpholine disulphide, Dithiodimorpholine), DPTT (Dipentamethylene thiuram tetrasulphide)

การใช้สารที่ให้กำมะถันจะใช้ร่วมกับปริมาณเล็กน้อยของกำมะถัน คือ ใช้กำมะถันต่ำกว่า 1 phr ร่วมกับสารที่ให้กำมะถัน 3 – 4 phr หรือบางกรณีอาจไม่ใช้กำมะถันเลยก็ได้ โครงสร้างของการเชื่อมโยงโมเลกุลที่เกิดขึ้น มีประสิทธิภาพแข็งแรงดีกว่าการเชื่อมโยงโมเลกุลยางโดยระบบที่ใช้กำมะถันตามปกติ ไม่เกิดการขลุ่ยที่ผิวยาง ช่วยให้เกิดความปลอดภัยในกระบวนการผลิต คือ ไม่เกิดการคงรูปก่อนกำหนด และผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความต้านทานต่อการเสื่อมสภาพที่อุณหภูมิสูงกว่า และให้โมดูลัสสูงกว่าการใช้กำมะถันล้วนๆ ในปริมาณเท่ากัน แต่การใช้สารที่ให้กำมะถันจะมีราคาแพงกว่าการใช้กำมะถันเพียงอย่างเดียว เพราะสารนี้มีราคาแพงกว่ากำมะถันธรรมดา และต้องใช้ในปริมาณมาก

3) สารอื่นๆ ที่ไม่ใช้กำมะถันสามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิด คือ

3.1) โลหะออกไซด์ (Metallic oxides) ซึ่งจะได้แก่ พวกซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide, ZnO) แมกนีเซียมออกไซด์ (Magnesium oxide, MgO) และตะกั่วออกไซด์ (Lead oxide, PbO) ใช้ในการ วัลคาไนซ์ยางบางชนิด เช่น ซิงค์ออกไซด์ แมกนีเซียมออกไซด์ ใช้วัลคาไนซ์ยางนีโอพรีน (CR) แมกนีเซียม-ออกไซด์ ใช้วัลคาไนซ์ยางฟลูออโรอีลาสโตเมอร์ (FPM) ตะกั่วออกไซด์ แมกนีเซียมออกไซด์ ใช้วัลคาไนซ์ยางไฮพาลอน (CSM)

3.2) สารพวกที่มีกลุ่มที่ไวต่อปฏิกิริยา 2 กลุ่ม สารพวกนี้จะฟอร์มการเชื่อมโยงในโมเลกุลยางโดยทำปฏิกิริยากับแขนงของสายโมเลกุล เช่น การใช้ฮิพรีออกซิเรซินวัลคาไนซ์ยางไนไตรล์ การใช้ Quinone dioxime วัลคาไนซ์ยางบิวไทล์ เป็นต้น

3.3) สารเพอร์ออกไซด์ (Peroxide) ใช้สารเพอร์ออกไซด์เพื่อการคงรูปยางได้ทั้งพวกที่มีความอิมตัว เช่น ยางซิลิโคน และพวกที่ไม่อิมตัว หรือพวกที่ไม่มีกลุ่มไวต่อปฏิกิริยาการคงรูป

สารเพอร์ออกไซด์ที่นิยมใช้กับยาง ควรเป็นสารที่มีความเสถียรที่จะเก็บรักษาไว้ได้นาน มีความว่องไวพอสมควรในการทำปฏิกิริยากับยางที่อุณหภูมิของการคงรูป และปลอดภัยในการใช้ ซึ่งได้แก่ Dicumyl peroxide, Benzoyl peroxide

ข้อดีของสารเพอร์ออกไซด์

1) เกิดการคงรูปแบบ Plateau cure อย่างทุก ๆ ส่วนจะเกิดการคงรูปในเวลาใกล้เคียงกัน

2) สมบัติด้าน Compression set ดีมาก

3) มีความต้านทานต่อความร้อนดีมาก

4) ไม่เกิดปัญหาการ Bloom

5) ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีสดใส

6) สมบัติทางไฟฟ้าดีมาก

ข้อเสียของสารเพอร์ออกไซด์

1) ราคาแพงกว่าการใช้กำมะถัน

2) มีความต้านทานต่อแรงดึงต่ำกว่ายางที่ใช้กำมะถัน

3) ค่อนข้างจะมีกลิ่น

4) Induction period สั้นมาก

5) สมบัติส่วนใหญ่จะต่ำกว่ายางที่ใช้กำมะถัน

2.1.1.5 สมบัติของยางธรรมชาติ

คุณสมบัติของยาง

ความยืดหยุ่น (Elasticity)

สมบัติความยืดหยุ่น เป็นลักษณะเด่นอีกประการหนึ่งของยางธรรมชาติ กล่าวคือ ยางธรรมชาติที่คงรูปแล้วจะมีความยืดหยุ่นสูง เมื่อแรงภายนอกที่มากระทำกับยางหมดไปยางจะกลับคืนสู่รูปร่างและขนาดเดิม (หรือใกล้เคียง) ได้อย่างรวดเร็ว ความเหนียวติดกัน (Tack) ยางธรรมชาติ (ในสภาพที่ยังไม่คงรูป) มีสมบัติในด้านความเหนียวติดกันซึ่งเป็นสมบัติสำคัญของการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องการอาศัยการประกอบชิ้นส่วนต่างๆ เข้าด้วยกัน เช่น ยางล้อรถยนต์ เป็นต้น

ความต้านทานแรงดึง (Tensile strength)

เนื่องจากโมเลกุลของยางธรรมชาติมีความเป็นระเบียบสูงจึงทำให้ยางธรรมชาติสามารถตกผลึกได้ง่ายเมื่อถูกยืดซึ่งผลึกที่เกิดขึ้นจะช่วยเสริมความแข็งแรงให้กับยางตั้งนั้นยางธรรมชาติจึงมีค่าความต้านทานแรงดึง โดยที่ไม่ต้องใช้สารตัวเติมเสริมแรงเข้าช่วย (20 MPa หรือสูงกว่านั้น) การเติมสารตัวเติมเสริมแรงลงไปก็จะช่วยทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงขึ้น ซึ่งสมบัตินี้จะแตกต่างจากยางสังเคราะห์ส่วนใหญ่ที่มีค่าความต้านทานแรงดึงต่ำจึงไม่สามารถนำไปใช้งานในทางวิศวกรรมได้ นอกจากนี้จะมีการเติมสารตัวเติมเสริมแรงเข้าช่วยเท่านั้น

ความต้านทานแรงฉีก (Tear strength)

เนื่องจากยางธรรมชาติสามารถตกผลึกได้เมื่อถูกยืด ดังนั้นยางธรรมชาติจึงมีความต้านทานแรงฉีกสูงมากทั้งๆที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิสูงการเติมสารตัวเติมเสริมแรงลงไปก็จะช่วยทำให้ค่าความทนทานต่อการฉีกขาดของยางสูงขึ้นด้วย

ความเป็นฉนวนไฟฟ้า (Insulation)

ยางธรรมชาติมีความเป็นฉนวนไฟฟ้าสูงมาก โดยมีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ (Specific Resistivity) สูงถึง 10^{15} หรือ 10^{16}

2.1.2 คอมโพสิต (Composite) [22]

คอมโพสิต (Composite) คือวัสดุที่มีองค์ประกอบทางเคมีหรือโครงสร้าง แตกต่างกันตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปมาผสมกันซึ่งวัสดุที่ได้จะมีสมบัติของวัสดุเริ่มต้นรวมกันโดยทั่วไปแล้วคอมโพสิตจะประกอบด้วยวัสดุตัวหนึ่งทำหน้าที่เป็นเนื้อหลักหรือเมทริกซ์ และวัสดุที่ทำหน้าที่เป็นเฟสที่กระจายตัวอยู่ (Dispersed phase) ในเมทริกซ์นั้น หรืออาจเรียกว่าเป็นเฟสเสริมแรง (Reinforced phase) ยกตัวอย่างคอมโพสิตที่พบในธรรมชาติ เช่น ไม้ ซึ่งเป็นวัสดุเชิงประกอบระหว่างลิกนิน (Lignin) กับเส้นใยเซลลูโลส (Cellulose fiber) หรือกระดูกซึ่งเป็นคอมโพสิตระหว่างแร่อะพาไทต์ (Apatite) กับโปรตีนคอลลาเจน (Collagen) เป็นต้น

พอลิเมอร์คอมโพสิต (Polymer composites)

วัสดุคอมโพสิตเป็นวัสดุที่มีวัสดุอย่างน้อย 2 ชนิดเป็นองค์ประกอบ โดยวัสดุทั้งสองชนิดมีสมบัติต่างกัน ทำให้วัสดุผสมที่ได้มีลักษณะเฉพาะที่เป็นสมบัติที่ต้องการ และนำไปใช้ประโยชน์ได้วัสดุคอมโพสิตจะมี 2 ส่วน ดังนี้

1) เมทริกซ์ (Matrix)

2) สารเสริมแรง (Reinforcement) ซึ่งบางครั้งอาจมีการใช้สารตัวเติม (Fillers) ร่วมกับพอลิเมอร์คอมโพสิตจัดเป็นวัสดุที่มีความสำคัญมาก ในปัจจุบันเป็นที่นิยม และมีปริมาณการใช้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากวัสดุพอลิเมอร์คอมโพสิตมีข้อดีหลายประการ เช่น มีน้ำหนักเบา มีความแข็งแรง

และค่าโมดูลัสค่อนข้างสูง ขึ้นรูปได้ง่ายและต้นทุนการผลิตต่ำ ทั้งยังสามารถประยุกต์นำไปใช้งานแทนวัสดุอื่นได้ เช่น โลหะ และเซรามิก เป็นต้น

วัสดุพอลิเมอร์คอมโพสิตสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ ดังนี้

1) พอลิเมอร์คอมโพสิตแบบอนุภาค (Particulate polymer composites) เป็นคอมโพสิตที่เกิดจากการกระจายอนุภาคในเมทริกซ์ ซึ่งอนุภาคจะมีรูปร่าง การจัดเรียงตัว และขนาดต่าง ๆ กัน โดยอนุภาคอาจเป็นผง เม็ด หรือผลึก

2) พอลิเมอร์คอมโพสิตแบบลามินาร์ (Laminar polymer composites) เป็นคอมโพสิตที่เกิดจากการยึดติดระหว่างแผ่นวัสดุเสริมแรงกับเมทริกซ์ในลักษณะคล้ายแซนด์วิช แล้วอัดด้วยความดันสูง ซึ่งจะได้วัสดุคอมโพสิตเป็นชั้นๆ

3) พอลิเมอร์คอมโพสิตแบบเส้นใย (Fibrous polymer composites) เป็นคอมโพสิตที่เกิดจากเส้นใยเสริมแรงในเมทริกซ์ ซึ่งเส้นใยอาจเป็นเส้นใยคาร์บอน (Carbon fiber), เส้นใยแก้ว (Glass fiber), เส้นใยอินทรีย์ (Organic fiber) ยกตัวอย่างเช่น เส้นใยอะรามิด (Aramid fiber) และเส้นใยธรรมชาติ (Natural fiber) เป็นต้น

2.1.2.1 พอลิเมอร์คอมโพสิตนำไฟฟ้า

วัสดุที่มีสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้า (Insulating material) เช่น ไม้ กระจก พลาสติก ยกเว้นพอลิเมอร์ที่นำไฟฟ้า (Conducting polymer) โดยทั่วไปไม่มีประจุไฟฟ้าอิสระ (Free electric charges) เคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องในสนามไฟฟ้า ดังนั้นจึงไม่มีกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้น พอลิเมอร์โดยทั่วไปมีสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้า แต่มีบางกรณีที่พอลิเมอร์สามารถนำไฟฟ้าได้ เช่น กรณีของพอลิเมอร์นำไฟฟ้า (Conducting polymer) ที่มีสูตรโครงสร้างทางเคมีซึ่งประกอบด้วยพันธะคู่สลับกับพันธะเดี่ยว (Conjugated bonds) เมื่อผ่านกระบวนการสังเคราะห์ หรือกระตุ้น (Doping) ก็จะสามารถนำไฟฟ้าได้ หรือโดยการเติมสารตัวเติมที่นำไฟฟ้า (Electrically conductive fillers) ลงไปผสมได้เป็นพอลิเมอร์คอมโพสิตนำไฟฟ้ายกตัวอย่างเช่น พอลิอะเซทิลีน (Polyacetylene, PA), พอลิไพโรล (Polypyrrole, PPy), พอลิอะนิลีน (Polyaniline, PANI), พอลิไทโอฟีน (Polythiophene, PT), พอลิพาราฟีนีลีน (Polyparaphenylene), พอลิฟีนีลีนไวนิลีน (Polyphenylene- vinylene, PPV)

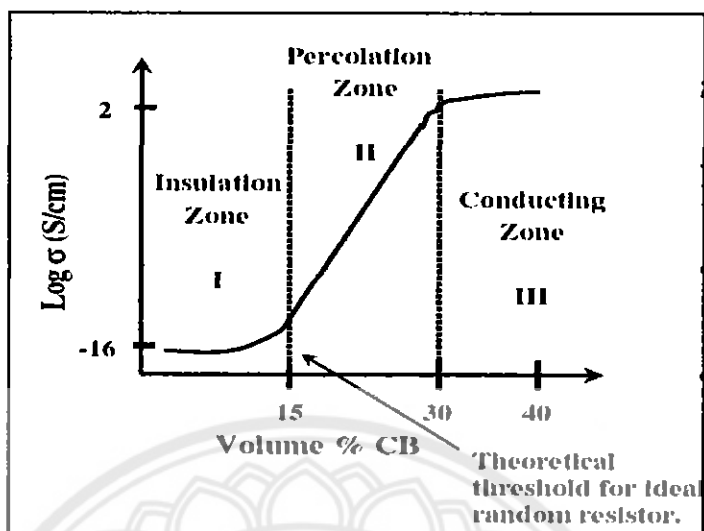
พอลิเมอร์คอมโพสิตนำไฟฟ้า เป็นลักษณะของการผสมกันของวัสดุพอลิเมอร์ ทั้งชนิดเทอร์โมพลาสติก และชนิดเทอร์โมเซตซึ่งทำหน้าที่เป็นเมทริกซ์ ที่มีสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้า (Insulator) กับสารตัวเติม (Fillers) ในกลุ่มที่มีสมบัตินำไฟฟ้า (Electrically conductive fillers) เช่น ผงคาร์บอนแบล็ก (Carbon black), แกรไฟต์ (Graphite), ท่อนาโนคาร์บอน (Carbon nanotube), เส้นใยคาร์บอน (Carbon fiber) และผงโลหะ (Metal) โดยเมื่อผสมกันแล้วจะทำให้วัสดุคอมโพสิตมีสมบัตินำไฟฟ้าได้ซึ่ง

การนำไฟฟ้าของคอมโพสิตขึ้นอยู่กับ การเชื่อมต่อกันของแต่ละอนุภาคของสารตัวเติม และความต้านทานที่ผิวสัมผัสระหว่างแต่ละอนุภาคที่อยู่ใกล้กัน และระหว่างอนุภาคกับเมทริกซ์

กลไกที่ทำให้พอลิเมอร์คอมโพสิตนำไฟฟ้า ทำได้โดยนำอนุภาคโลหะหรืออนุภาคนำไฟฟ้าอื่นๆ ผสมลงในพอลิเมอร์เมทริกซ์ที่มีสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้า (Non-conducting polymer) ด้วยกระบวนการขึ้นรูปพอลิเมอร์ต่างๆ โดยต้องทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระอย่างต่อเนื่องในโครงสร้างโมเลกุลของอนุภาคนำไฟฟ้า และเกิดการเหนี่ยวนำทำให้เกิดการนำไฟฟ้าขึ้นในวัสดุพอลิเมอร์คอมโพสิตนี้

ซึ่งการที่พอลิเมอร์จะมีสภาพนำไฟฟ้าได้ต้องใส่อนุภาคโลหะ หรืออนุภาคนำไฟฟ้าอื่นๆ ในปริมาณค่อนข้างสูง คือ ประมาณ 20 - 80% โดยปริมาตร หรือ 70% โดยน้ำหนักเพื่อที่จะให้เกิดการเชื่อมต่อกันอย่างต่อเนื่องจนทำให้เกิดการเรียงตัวเป็นโครงร่างตาข่ายของอนุภาคนำไฟฟ้า (Conductive network) ทั่วตลอดพอลิเมอร์เมทริกซ์ โดยปริมาณของสารตัวเติมที่เติมลงไปผสมในเมทริกซ์ ต้องมีปริมาณเกินกว่าสัดส่วนวิกฤติ (Critical volume fraction) ที่เรียกว่าสัดส่วนที่ทำให้เกิดการเชื่อมต่อกันของอนุภาค (The percolation threshold) ซึ่งเป็นจุดที่วัสดุคอมโพสิตเปลี่ยนจากความเป็นฉนวนไฟฟ้าเป็นตัวนำไฟฟ้า ส่งผลให้มีค่าของความต้านทานของคอมโพสิตลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งความต้านทานไฟฟ้าของคอมโพสิตมีความสัมพันธ์กับสัดส่วนโดยปริมาตรและโครงสร้างการเรียงติดกันของเฟสกระจายตัวของสารตัวเติม

ค่าการนำไฟฟ้าของพอลิเมอร์คอมโพสิตขึ้นกับสัดส่วนที่ทำให้เกิดการเชื่อมต่อกันของอนุภาค โดยเป็นช่วงกราฟที่มีค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างมากที่ปริมาณสารตัวเติมเพิ่มขึ้นค่าหนึ่ง เรียกว่า บริเวณการเกิดการเชื่อมต่อกันของอนุภาค (Percolation zone) และหลังจากช่วงกราฟนี้ การเพิ่มปริมาณสารตัวเติมขึ้นอีก ค่าการนำไฟฟ้าก็จะไม่เพิ่มขึ้นมากอย่างชัดเจนแล้ว เนื่องจากการเชื่อมต่อกันอย่างต่อเนื่องจนทำให้เกิดการเรียงตัวเป็นโครงร่างตาข่ายของอนุภาคนำไฟฟ้าในคอมโพสิตสมบูรณ์แล้ว เรียกว่า บริเวณที่สามารถนำไฟฟ้าได้ (Conducting zone) ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 สัดส่วนที่ทำให้เกิดการเชื่อมต่อกันของอนุภาค (The percolation threshold) [22]

2.1.2.2 สารตัวเติม (Filler)

สารตัวเติมหมายถึง สารอื่นๆ ที่ไม่ใช่ยางที่ใส่ลงไปนยางเพื่อไปช่วยลดต้นทุนในการผลิต หรือเพื่อปรับปรุงสมบัติของยางให้ดีขึ้น เช่น พวกรคาร์บอนแบล็ก แคลเซียมคาร์บอเนต และซิลิกา เป็นต้น

สารตัวเติมที่ใส่ลงไปนยาง ใส่เพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ดังนี้

- 1) เพื่อลดต้นทุน
- 2) เพื่อเปลี่ยนแปลงสมบัติทางฟิสิกส์ของยาง
- 3) เพื่อช่วยในกระบวนการผลิต
- 4) ลดการพองตัวของยางในน้ำมัน
- 5) เพื่อเพิ่มการนำทางไฟฟ้า
- 6) เพื่อเพิ่มอายุการใช้งานของยาง

2.1.2.3 การแบ่งชนิดของสารตัวเติม

สารตัวเติมแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ แบ่งตามการผลิต และแบ่งตามลักษณะ

การแบ่งชนิดของสารตัวเติมตามการผลิต แบ่งได้เป็น 5 ชนิด คือ

1) สารตัวเติมที่มีตามธรรมชาติ หรือจากผลพลอยได้จากธรรมชาติ แล้วนำมาบดให้ละเอียดเช่น แคลเซียมคาร์บอเนตจากหินปูน เปลือกหอย ซอล์ค แคลเซียม และแมกนีเซียมซิลิเกตจากแป้งทัลคัม

2) สารตัวเติมตามธรรมชาติที่ร่อนแยกความละเอียด เช่น คาโอลิน

3) สารตัวเติมที่ได้จากวิธีการตกตะกอน เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต และสารอลูมิเนียมซิลิเกต

4) สารตัวเติมในรูปของผงฝุ่น เช่น คาร์บอนแบล็ก ซิงค์ออกไซด์ และสารตัวเติมแมกนีเซียมออกไซด์

5) สารตัวเติมประเภทที่มีการทำปฏิกิริยาที่ผิว (Surface modified products) เป็นผลิตภัณฑ์ที่นำสารตัวเติมมาทำปฏิกิริยาที่ผิว เพื่อให้สารตัวเติมนั้นเกาะติดแน่นกับยาง ซึ่งจะทำให้ยางมีสมบัติทางกายภาพดีขึ้น เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต แป้งทัลคัม ซิลิกาที่ทำปฏิกิริยาที่ผิวหรือฉาบผิว

การแบ่งชนิดของสารตัวเติมตามลักษณะ แบ่งได้เป็น 3 ชนิด คือ

1) สารตัวเติมชนิดที่มีลักษณะเป็นเม็ด (Particulate filler) ซึ่งได้แก่ แคลเซียมคาร์บอเนต คาร์บอนแบล็ก เป็นต้น แบ่งตามหน้าที่ได้เป็น 3 ชนิด คือ

1.1) สารตัวเติมพวกเสริมความแข็งแรง (Reinforcing filler) เป็นสารตัวเติมที่ใส่เข้าไปในยางแล้วช่วยให้ยางมีสมบัติทางกายภาพดีขึ้น คือ มีความต้านทานต่อแรงดึง ทนต่อการสึกหรอ และต่อการฉีกขาดสูง เป็นต้น แต่ถ้าเพิ่มปริมาณของสารตัวเติมมากขึ้น จะทำให้ยางมีสมบัติความต้านทานต่อการกระดอนลดลง ส่วนใหญ่มีอนุภาคขนาดเล็ก ประมาณ 180 – 600 Å เช่น คาร์บอนแบล็ก ซิลิกา เป็นต้น

1.2) สารตัวเติมพวกกึ่งเสริมความแข็งแรง (Semi – reinforcing filler) เป็นสารตัวเติมประเภทที่ใส่เข้าไปในยางแล้ว ช่วยเสริมความแข็งแรงให้กับยางบ้าง สารตัวเติมเหล่านี้จะมีขนาดอนุภาคปานกลาง เช่น อลูมิเนียมซิลิเกต แคลเซียมซิลิเกต คาโอลิน

1.3) สารตัวเติมพวกช่วยลดต้นทุนการผลิต (Diluent filler) สารตัวเติมประเภทนี้ไม่เสริมประสิทธิภาพความแข็งแรงให้กับยาง มีราคาถูก มีอนุภาคขนาดใหญ่ตั้งแต่ 10,000 Å ขึ้นไปเช่น แคลเซียมคาร์บอเนต แป้งทัลคัม แบเรียมซัลเฟต เป็นต้น สารตัวเติมประเภทนี้จะทำให้สมบัติทางกายภาพบางอย่างลดลง เช่น ลดความต้านทานแรงดึง ลดความต้านทานต่อการฉีกขาด และลดความต้านทานต่อการสึกหรอ แต่จะปรับปรุงสมบัติบางอย่างให้ดีขึ้น เช่น ทำให้ความแข็ง และโมดูลัสดีขึ้น ทำให้กระบวนการแปรรูปง่าย ลดการบวมของยาง และเป็นการลดต้นทุนการผลิต เพราะมีราคาถูก

- 2) สารตัวเติมที่มีลักษณะเป็นเส้นใย (Fibrous filler) เช่น แอสเบสทอส ผงเยื่อไม้
- 3) สารตัวเติมที่มีลักษณะเป็นเรซิน (Resinous filler) เช่น High styrene resin, Phenolic resin

2.1.3 คาร์บอนแบล็ก [3]

คาร์บอนแบล็กเป็นคาร์บอนบริสุทธิ์ในรูปแบบของอนุภาคคอลลอยด์ ที่มีการผลิตโดยการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์หรือการสลายตัวทางความร้อนของก๊าซไฮโดรคาร์บอน หรือของเหลวภายใต้สภาวะการควบคุม (Controlled vapor-phase pyrolysis and partial combustion) ของเชื้อเพลิงประเภทไฮโดรคาร์บอน โดยอาจเกิดปนกันอยู่กับสารกลุ่มฟูลเลอร์รีน คาร์บอนแบล็กมีหลายชนิด บางชนิดก็มีขนาดนาโนเท่านั้น แต่บางชนิดก็เป็นส่วนผสมของอนุภาคขนาดนาโน และอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่าบ้าง การใช้งานจะใช้ในยางรถยนต์ ยาง ผลิตภัณฑ์พลาสติก หมึกพิมพ์และเคลือบ โดยจะสัมพันธ์กับคุณสมบัติของพื้นที่ผิวจำเพาะ ขนาดอนุภาค โครงสร้าง ไฟฟ้า และสี นอกจากนี้คาร์บอนแบล็กยังอยู่ใน 50 อันดับแรกในอุตสาหกรรมเคมีที่ผลิตทั่วโลกอีกด้วย

การผลิตคาร์บอนแบล็กสามารถผลิตได้ 3 วิธี และการเรียกชื่อคาร์บอนแบล็กจะเรียกตามวิธีการผลิตแต่ละชนิด ได้แก่

1) Channel black โดยอาศัยการเผาไหม้แก๊สธรรมชาติ และเปลวไฟจากการเผาไหม้จะกระทบกับท่อเหล็ก (Channel iron) ซึ่งเคลื่อนไปมาเหนือเปลวไฟ เมื่อเกิดเขม่า จะมีอุปกรณ์ทำหน้าที่กวาดเขม่าลงช่องเก็บ และส่งต่อไปยังที่รวบรวมโดยสายพาน สามารถควบคุมขนาดของเขม่าที่ได้ โดยการควบคุมปริมาณของอากาศในการเผาไหม้ อุณหภูมิของเตาเผา ปริมาณอากาศที่ให้ออกมา ความดันของแก๊สที่ใช้ในการเผาไหม้คาร์บอนแบล็กที่ได้มีขนาดตั้งแต่ 100 – 400 Å แต่คาร์บอนแบล็กชนิด Channel black ที่ใช้กับยางควรมีขนาดตั้งแต่ 170 Å ขึ้นไป เพราะคาร์บอนแบล็กที่มีขนาดเล็กกว่า 150 Å จะนำมาผสมเข้ากับยางได้ยาก และยางที่ได้จะแข็งและแปรรูปยาก Channel black มีสมบัติเป็นกรดทำให้เวลาในการวัลคาไนซ์ของยางนานขึ้น

Channel black แบ่งตามขนาดของอนุภาค ได้ดังนี้

1.1) CC (Conductive channel black) มีขนาดของอนุภาคเล็กมาก ไม่เกิน 200 Å ยากในการบดผสมเข้ากับยาง ให้ผลิตภัณฑ์ยางที่มีสมบัติความต้านทานต่อการฉีกขาดและการสึกหรอดีมาก ใช้ผสมกับยางเพื่อให้ยางนำไฟฟ้าได้

1.2) HPC (Hard processing channel black) มีขนาดของอนุภาคที่เล็กประมาณ 200 Å ยากในการบดผสมเข้ากับยาง และให้ผลิตภัณฑ์ยางที่มีสมบัติความต้านทานต่อการฉีกขาดและทนต่อการสึกหรอดีมาก

1.3) MPC (Medium processing channel black) มีขนาดอนุภาคที่มีขนาดปานกลาง ประมาณ 300 Å บดผสมเข้ากับยางปกติ ให้ผลิตภัณฑ์ยางที่มีสมบัติความต้านทานต่อการสึกกร่อน และการสึกหรอดี

1.4) EPC (Easy processing channel black) มีขนาดของอนุภาคประมาณ 400 Å ง่ายในการบดผสมเข้ากับยาง ให้ผลิตภัณฑ์ยางที่มีสมบัติความต้านทานต่อการสึกกร่อน และการสึกหรอดี การกระดอนสูง การเกิดความร้อนสะสมต่ำ

2) Furnace black โดยการนำแก๊สธรรมชาติหรือน้ำมันที่ได้จากโรงงานถ่านหิน หรือ โรงงานน้ำมันมาเผาไหม้อย่างไม่สมบูรณ์ คาร์บอนแบล็กที่ใช้กันในปัจจุบัน จะนิยมผลิตโดยวิธีนี้ คาร์บอนแบล็กที่ได้มีขนาดของอนุภาคตั้งแต่ 140 - 900 Å คาร์บอนแบล็กชนิดนี้มีสมบัติเป็นต่าง ซึ่งจะปลดเวลาในการวัลคาไนซ์ของยางคาร์บอนแบล็กชนิดนี้ แต่เดิมจะเรียกชื่อตามความสามารถในการเสริมแรง เช่น High Abrasion Furnace Black (HAF) ซึ่งเป็นคาร์บอนแบล็กที่ทำให้ยางมีความต้านทานต่อการสึกหรอ แต่ปัจจุบันพบว่าคาร์บอนแบล็ก HAF ไม่ได้ทำให้ยางทนต่อการสึกหรอดีที่สุด หรือ High Modulus Furnace Black ก็ได้ทำให้ยางมีค่าโมดูลัสสูง ดังนั้น จึงมีการเสนอมาตรฐานให้ชื่อคาร์บอนแบล็กชนิดนี้ขึ้นใหม่เพื่อไม่ให้เกิดการสับสน โดย ASTM (American Society for Testing Materials) การเรียกชื่อคาร์บอนแบล็กโดยวิธี ASTM จะบ่งชี้อัตราเร็วของการทำให้ยางคงรูป โดยใช้อักษร "N" แทนอัตราการคงรูปปกติ อักษร "S" แทนอัตราการคงรูปช้า และใช้ตัวเลข 3 ตัว โดยตัวแรกเป็นตัวบ่งชี้ขนาดของอนุภาคของคาร์บอนแบล็กหรือพื้นที่ผิวของคาร์บอนแบล็ก ส่วนตัวเลขที่ 2 และ 3 เป็นการตั้งขึ้น ลอยๆ แต่ถ้าคาร์บอนแบล็กมีโครงสร้างมาตรฐานก็ให้ตัวเลขที่ 2 ซ้ำกับตัวเลขแรก และตัวที่ 3 เป็นศูนย์

คาร์บอนแบล็กชนิด Furnace black แบ่งได้ดังนี้

2.1) N110 หรือ SAF (Super abrasion furnace black) มีขนาดอนุภาค 200 Å ยากในการบดผสมเข้ากับยาง ให้ผลิตภัณฑ์ยางที่มีสมบัติความต้านทานต่อการสึกหรอดี และความต้านทานต่อการเกิดรอยแตกเนื่องจากการหักงอดีมาก

2.2) N220 หรือ ISAF (Intermediate super abrasion furnace black) มีขนาดของอนุภาค 240 Å ให้ผลิตภัณฑ์ยางที่มีสมบัติความต้านทานต่อการสึกหรอดี (อยู่ระหว่าง SAF และ HAF) ความต้านทานต่อการเกิดรอยแตกดีมาก การนำไฟฟ้าดี

2.3) N330 หรือ HAF (High abrasion furnace black) มีขนาดของอนุภาค 400 Å ให้ผลิตภัณฑ์ยางที่มีสมบัติความต้านทานต่อการสึกหรอดี ความต้านทานต่อแรงดึงสูง ความต้านทานต่อการเกิดรอยแตกเนื่องจากการหักงอดี การเกิดความร้อนสะสมต่ำ และการนำไฟฟ้าดี

2.4) N550 หรือ FEF (Fast extrusion furnace black) มีขนาดของอนุภาค 400 Å ถึง 500 Å ง่ายในการบดผสมเข้ากับยาง ให้ผลิตภัณฑ์ยางที่มีสมบัติความต้านทานต่อการสึกหรอ

ปานกลาง สมบัติการกระดอนสูง ความต้านทานต่อแรงดึงดี โมดูลัสสูง ใ้ยางที่ออกจากเครื่องอัดผ่านได้ มีผิวเรียบ

2.5) N660 หรือ GPF (General purpose furnace black) โดยมีขนาดของอนุภาค 600 Å ให้ผลิตภัณฑ์ยางที่มีสมบัติทางกายภาพดี การเกิดความร้อนสะสมต่ำ ใ้ยางที่ออกจากเครื่องอัดผ่านได้ มีผิวเรียบ

2.6) N762 หรือ SRF (Semi-reinforcing furnace black) มีขนาดอนุภาค 700 Å ให้ผลิตภัณฑ์ยางที่มีสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงดี โมดูลัสสูง มีค่าความต้านทานต่อการเกิดรอยแตก เนื่องจากการหักงอดี การเกิดความร้อนสะสมต่ำ

3) Thermal black โดยการแยกสลายแก๊สธรรมชาติโดยใช้ความร้อนสูงถึง 1300°C ในสภาพปราศจากอากาศ คาร์บอนแบล็กชนิดนี้มีขนาดของอนุภาคใหญ่มาก และมีสมบัติเป็นกลาง

Thermal black แบ่งตามขนาดของอนุภาค ได้ดังนี้

3.1) FT (Fine thermal black) มีขนาดของอนุภาค 1000 – 2000 Å ให้ผลิตภัณฑ์ยางที่มีโมดูลัสต่ำ การกระดอนสูงมาก

3.2) MT (Medium thermal black) ที่มีขนาดของอนุภาคประมาณ 3000 ถึง 5000 Å ให้ผลิตภัณฑ์ยางที่มีโมดูลัสต่ำ การกระดอนสูง

2.1.3.1 ปัจจัยของคาร์บอนแบล็กที่มีผลต่อสมบัติการเสริมแรง

ในการเติมสารตัวเติม เช่น คาร์บอนแบล็กเพื่อเพิ่มเนื้อและเสริมแรงใ้กับยาง มีหลายปัจจัยที่ต้องพิจารณาเนื่องจากจะมีผลอย่างมากต่อสมบัติของยาง ปัจจัยที่สำคัญได้แก่

1. ขนาด หรือพื้นที่ผิว
2. โครงสร้าง
3. เคมีของพื้นผิว เช่น หมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิว ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ฯลฯ

2.1.3.2 ขนาดของอนุภาคคาร์บอนแบล็ก

ขนาดอนุภาค ของคาร์บอนแบล็กจะแปรผกผันกับพื้นที่ผิว กล่าวคือสารตัวเติมของแข็งที่มีขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวมาก สารตัวเติมขนาดใหญ่จะมีพื้นที่ผิวน้อย เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่า สารตัวเติมที่ทำหน้าที่เป็นสารตัวเติมชนิดเสริมแรงจะต้องมีขนาดอนุภาคเล็กประมาณเล็กกว่า 1 ไมครอน (μm) สารตัวเติมยังมีขนาดเล็กประสิทธิภาพการเสริมแรงยิ่งสูงขึ้นจะทำให้ยางมีความแข็งแรงสูงขึ้น ความทนทานต่อการสึกหรอสูงขึ้น อย่างไรก็ตามคาร์บอนแบล็กขนาดเล็ก การผสมคาร์บอนแบล็กใ้เข้ากับยางจะสามารถทำได้ดียิ่งขึ้น

2.1.3.3 เทคนิคการหาขนาดอนุภาคหรือพื้นที่ผิวของคาร์บอนแบล็ก

1) การศึกษาสัณฐานวิทยา (Morphology) จากการทำการศึกษาสัณฐานวิทยาของคาร์บอนแบล็กแล้วทำการวัดโดยตรงจากภาพถ่ายหรือใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์วิเคราะห์ภาพ สามารถทำการวัดขนาดอนุภาคของคาร์บอนแบล็กได้โดยตรง เช่น กล้องจุลทรรศน์ (Optical Microscope, OM) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

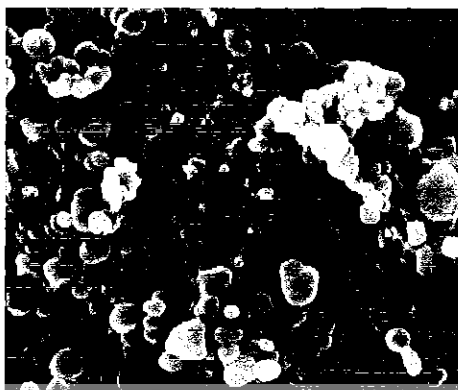
2) กระบวนการดูดซับก๊าซไนโตรเจน (Brunauer–Emmett–Teller (BET) theory N_2 Absorption) เป็นเทคนิคการหาพื้นที่ผิวทำได้โดยการวัดปริมาณของก๊าซไนโตรเจนที่อุณหภูมิคงที่ที่ดูดซับที่ผิวของอนุภาคคาร์บอนแบล็ก ซึ่งจะดูดซับเพียงหนึ่งชั้น (Monolayer) บนพื้นผิวเรียกเทคนิคนี้ว่า ค่าการดูดซับก๊าซไนโตรเจน หรือค่ารายงานเป็นพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักคาร์บอนแบล็ก (เช่น m^2/g)

3) การดูดซับไอโอดีน (Iodine Absorption) ทำได้โดยนำไอโอดีนที่ละลายในโพแทสเซียมไอโอดีน (KI) ผสมเพื่อให้ดูดซับกับคาร์บอนแบล็กที่ทราบน้ำหนักแน่นอน จากนั้นทำการกรองแล้วไตเตรตหาปริมาณไอโอดีนที่เหลือ ปริมาณไอโอดีนที่ดูดซับจะสัมพันธ์กับพื้นที่ผิวของคาร์บอนแบล็ก คาร์บอนแบล็กขนาดเล็กพื้นที่ผิวมากจะดูดซับไอโอดีนได้มาก

4) การหาค่าบดบังแสง (Tinting strength) เทคนิคนี้เป็นการวัดสมบัติทางแสงคือค่าการบดบังแสง ซึ่งความสามารถของวัตถุในการบดบังแสง เตรียมตัวอย่างโดยผสมคาร์บอนแบล็ก 0.1 กรัม เข้ากับซิงค์ออกไซด์ (ZnO) 3.75 กรัม โดยใช้ น้ำมัน เช่น น้ำมันถั่วเหลือง ทำให้ได้ของหนืดข้น (Paste) สีเทา เพื่อทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงคาร์บอนแบล็กที่มีขนาดเล็กจะจัดเรียงตัวอนุภาคกันแน่นมีความสามารถในการบดบังแสง หรือค่าการบดบังแสงสูง ทำให้เห็นตัวอย่างที่มีสีดำนอกกว่าคาร์บอนแบล็กที่มีขนาดใหญ่ และนอกจากนี้คาร์บอนแบล็กที่มีโครงสร้างเล็ก (กลม หรือกึ่งก้านน้อย) จะจัดเรียงอนุภาคใกล้ชิดกันมากกว่าทำให้ค่าการบดบังแสง สูงกว่าหรือบดบังแสงได้มากกว่ามีสีดำกว่า

2.1.3.4 รูปร่างและโครงสร้างของคาร์บอนแบล็ก

รูปที่ 2.5 แสดงสัณฐานวิทยาของคาร์บอนแบล็กที่ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Electron Microscope) จะเห็นได้ว่าคาร์บอนแบล็กมีลักษณะเป็นกลุ่มก้อนกลมติดกันอย่างไม่เป็นระเบียบ มีรูปร่างคล้ายพวงอุ้งน กลุ่มก้อนของอนุภาคที่ติดกันนั้นเรียกว่า “แอ็กกรีเกต” (Aggregate) ที่เกิดจากการหลอมติดของอนุภาคเล็กๆ ที่เรียกว่า “โนตุล” ซึ่งเป็นหน่วยที่เล็กที่สุดของคาร์บอนแบล็ก แต่ละโนตุลเกิดจากการเรียงตัวหลายๆชั้นของแผ่น แกรไฟต์ (Graphitic Layer Planes) เป็นผลึกเรียงเป็นวงขยายออกตามแนวรัศมี โครงสร้างผลึกของคาร์บอนแบล็ก จะไม่เป็นระเบียบเหมือนแกรไฟต์ เช่น มีระยะห่างระหว่างชั้นมากกว่า (ประมาณ 3.5 \AA) มีอะตอมที่หายไป อาจมีหมู่ฟังก์ชันหรืออะตอมของธาตุอื่นด้วย



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของคาร์บอนแบล็กที่ถ่ายด้วย Electron microscope (100 nm) [3]

2.1.3.4 พันธะของคาร์บอนแบล็ก [26]

คาร์บอนเป็นธาตุในหมู่ 4A หรือหมู่ 14 มีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ 4 จึงสามารถใช้อิเล็กตรอนร่วมกับอะตอมอื่นๆ อีก 4 อิเล็กตรอน เกิดเป็นพันธะโคเวเลนต์ได้ 4 พันธะ และมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนครบ 8 ตามกฎออกเตต เช่น คาร์บอน 1 อะตอมใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกับไฮโดรเจน 4 อะตอมเกิดเป็นมีเทน CH_4 เขียนโครงสร้างลิวอิสแสดงได้ดังนี้



รูปที่ 2.6 โครงสร้างลิวอิสของมีเทน

สารประกอบอินทรีย์ส่วนใหญ่เป็นสารโคเวเลนต์ที่มีธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบหลัก โดยที่ธาตุคาร์บอนสามารถสร้างพันธะกับธาตุคาร์บอนด้วยพันธะเดี่ยวพันธะคู่หรือพันธะสามและสร้างพันธะต่อกันไปได้เรื่อยๆ นอกจากนี้ธาตุคาร์บอนยังสามารถสร้างพันธะโคเวเลนต์กับธาตุอื่นๆ เช่น ไนโตรเจน ออกซิเจน กำมะถัน และแฮโลเจนได้อีกด้วย จากเหตุผลดังกล่าวจึงทำให้มีสารประกอบอินทรีย์เป็นจำนวนมาก

การเขียนสูตรโครงสร้างของสารประกอบอินทรีย์

สูตรโครงสร้างของสารเป็นสูตรที่แสดงการจัดเรียงอะตอมของธาตุองค์ประกอบที่มีอยู่ใน 1 โมเลกุลของสารนั้นสำหรับสารประกอบอินทรีย์ที่โมเลกุลมีขนาดใหญ่ การเขียนโครงสร้างลิวอิสแสดงโครงสร้างโมเลกุลของสารเหล่านั้นทำได้ไม่สะดวก จึงอาจเขียนแสดงด้วย สูตรโครงสร้างแบบย่อโดยแสดงเฉพาะพันธะคู่หรือพันธะสามระหว่างอะตอมของคาร์บอน ส่วนอะตอมของธาตุอื่นที่สร้างพันธะกับอะตอมของคาร์บอน ให้เขียนไว้ข้างคาร์บอนและไม่ต้องแสดงพันธะแล้วเขียนตัวเลขแสดงจำนวนอะตอมกำกับไว้ ถ้ามีกลุ่มอะตอมเหมือนกันมากกว่าหนึ่งหมู่

2.1.4 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการนำไฟฟ้า [3]

วัสดุฉนวนไฟฟ้าซึ่งจะทำหน้าที่ป้องกันกระแสไฟฟ้าไม่ให้ไหลผ่านจากตัวนำหนึ่งไปยังอีกตัวนำหนึ่ง ฉนวนไฟฟ้าที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในปัจจุบันส่วนใหญ่จะผลิตมาจากวัสดุพอลิเมอร์ เนื่องจากวัสดุพอลิเมอร์มีสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีและนอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติอื่นอีกที่เหมาะสม เช่น การขึ้นรูปง่าย ทนต่อการกัดกร่อนสูง และมีน้ำหนักที่เบา ฉนวนพอลิเมอร์ทั่วไปมีสมบัติการนำไฟฟ้าที่ต่ำ และมีความยืดหยุ่นสูงเหมาะสำหรับทำวัสดุหุ้มสายไฟ อย่างไรก็ตามไม่ใช่พอลิเมอร์ทุกชนิดที่จะใช้เป็นฉนวนไฟฟ้าได้อย่างสมบูรณ์ สำหรับอุปกรณ์จ่ายกระแสไฟฟ้าทั่วไปการไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านฉนวนเพียงเล็กน้อยสามารถยอมรับได้ แต่ในเครื่องมือวัดทางอิเล็กทรอนิกส์บางอย่างที่ต้องการความเที่ยงตรงมากๆ การไหลของกระแสไฟฟ้าเพียงน้อยนิด ผ่านฉนวนที่มีคุณภาพต่ำก็อาจจะทำให้เครื่องวัดนั้นเสีย หรือลดความแม่นยำลงได้ ดังนั้นการทดสอบเพื่อให้ทราบว่าวัสดุพอลิเมอร์ตัวไหนมีค่าความต้านทานไฟฟ้า (Resistivity) หรือ มีคุณสมบัติเป็นฉนวนที่ดีมาก หรือน้อย แตกต่างกันอย่างไร จึงมีความจำเป็นเพื่อที่จะได้เลือกใช้วัสดุให้เหมาะสมกับงาน

สภาพการนำไฟฟ้าเชิงปริมาตร

สภาพการนำไฟฟ้าของชิ้นงานเป็นไปตามสมการ

$$\sigma = \frac{L I}{A V} \quad (2.1)$$

σ คือ สภาพการนำไฟฟ้า ($\Omega \cdot \text{cm}$)⁻¹

V คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้า (โวลต์, V)

I คือ กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์, A)

L คือ ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า (cm)

A คือ พื้นที่หน้าตัดขั้วไฟฟ้า (cm)²

สภาพความต้านทานไฟฟ้า

โดยทั่วไปสภาพความต้านทานไฟฟ้าแบ่งเป็น 4 ประเภทคือ

1. ความต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตร (Volume Resistance) คือ อัตราส่วนระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้า (Voltage) ระหว่าง 2 ขั้วไฟฟ้าที่อยู่บนพื้นผิวตรงกันข้ามกันของชิ้นทดสอบกับกระแสไฟฟ้า (Current) ที่วัดได้ระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสองในเวลาที่ยำเพาะค่าหนึ่ง โดยไม่รวมค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าบนผิวของชิ้นทดสอบ และไม่นำค่าของผลอันเนื่องมาจาก Polarization Effect ที่อาจเกิดขึ้นได้ที่ขั้วไฟฟ้ามาคิดคำนวณ

2. สภาพความต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตร (Volume Resistivity) คือค่าที่คำนวณจากอัตราส่วนของค่าการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าเกรเดียน (Voltage Gradient) (ซึ่งคำนวณจากค่าศักย์ไฟฟ้าที่ใช้วัดหารด้วยค่าความหนาของชิ้นทดสอบ) กับค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า (Current Density) ที่ใช้อย่างไรก็ตามค่าการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าเกรเดียนจริง (True Voltage Gradient) นั้นมีความต่างจากค่าที่ใช้วัดเนื่องจากมีผลของการสัมผัสกันระหว่างขั้วไฟฟ้ากับชิ้นทดสอบมาเกี่ยวข้องด้วย

3. ความต้านทานไฟฟ้าเชิงพื้นผิว (Surface Resistance) คือ อัตราส่วนโดยตรงระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ในการวัดของขั้วไฟฟ้า 2 ขั้วบนผิวของชิ้นทดสอบ กับค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้ระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้ง 2 นั้น หลังจากเวลาที่ใช้วัดค่าหนึ่งโดยไม่สนใจผลของการเกิด Polarization ที่ขั้วไฟฟ้า

4. สภาพความต้านทานไฟฟ้าเชิงพื้นผิว (Surface Resistivity) คือ ค่าสภาพความต้านทานไฟฟ้าเชิงพื้นผิว ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ หรือเป็นอัตราส่วนระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าเกรเดียนและค่ากระแสต่อหนึ่งหน่วยความกว้างของทางกระแส (Current Path)

หน่วยการวัดค่าสภาพความต้านทานไฟฟ้า

ในระบบหน่วยพื้นฐานของ SI ค่าสภาพความต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตรจะมีค่าเป็น Ohm-Meter ($\Omega \cdot m$) ซึ่งเป็นการถอดหน่วยสมการมาจาก $\Omega m^2/m$ โดยทั่วไปมักจะใช้หน่วยเป็น $\Omega \cdot cm$ มากกว่า โดยที่วัสดุฉนวนโดยทั่วไปจะมีค่าสภาพความต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตรโดยประมาณเป็น $10^{18} \Omega \cdot cm$ ซึ่งจะจัดอยู่ในกลุ่มพลาสติกประเภทไม่มีขั้ว (Non-polar Plastic) ตัวอย่างเช่น พอลิเอทิลีน พอลิสไตรีน และอื่นๆ ซึ่งในการวัดทดสอบค่าสภาพความต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตร ในตัวอย่างพลาสติกพวกนี้ค่อนข้างยาก เนื่องจากมีค่าสภาพความต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตรที่สูงมากๆ

สำหรับหน่วย SI ของสภาพความต้านทานไฟฟ้าเชิงพื้นผิวจะมีหน่วยเป็น Ω เนื่องจากเป็นการถอดแก้สมการหน่วยมาจาก $\Omega m/m$ ซึ่งในบางครั้งอาจจะหมายความถึงค่า “ Ω per square”

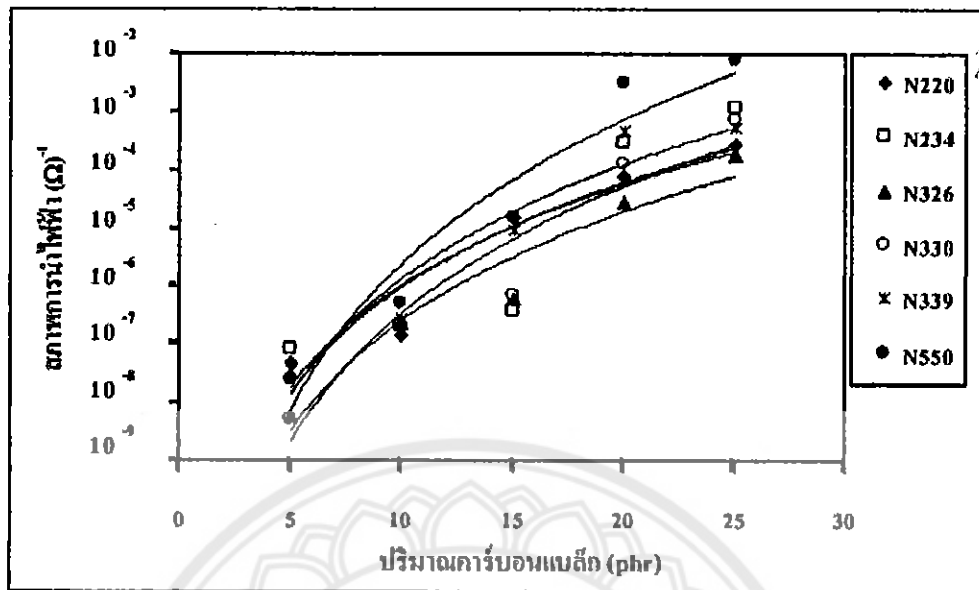
เนื่องจากมีความแตกต่างกันของค่าความต้านทานที่วัดในแต่ละครั้งในสภาวะการทดสอบที่แตกต่างกัน ความไม่สม่ำเสมอของรูปทรงของชิ้นทดสอบถึงแม้ว่าจะตัดมาจากแผ่นตัวอย่างเดียวกันก็ตาม ดังนั้นค่าที่วัดได้จากชิ้นทดสอบแต่ละชิ้นยากที่จะทำให้ค่าใกล้เคียงกันในระดับน้อยกว่า 10%

โดยส่วนมากจะได้ค่าที่แตกต่างกันค่อนข้างมาก ทำให้มีผู้ทดสอบบางรายมักจะอ้างอิงค่าสภาพความต้านทานในรูปของค่า Logarithm ซึ่งเหมาะสำหรับการนำเสนอผลการทดสอบในรูปของตารางหรือรูปกราฟ อย่างไรก็ตามในอุตสาหกรรมในการพิจารณาว่าวัสดุสองชนิดจะมีค่าสภาพความต้านทานต่างกัน (ในการใช้เป็นฉนวนไฟฟ้า) หรือไม่อย่างไร ก็ต่อเมื่อมีค่าสภาพความต้านทานที่วัดได้ต่างกันอย่างน้อยครึ่งหนึ่ง (50%)

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงสมบัติการนำไฟฟ้าของพอลิเมอร์ที่เป็นฉนวนทางไฟฟ้านั้น ที่ผ่านมาได้มีนักวิจัยมากมายพยายามปรับปรุงสมบัติทางไฟฟ้านี้ โดยใช้คาร์บอนแบล็กเป็นสารตัวเติม เช่น

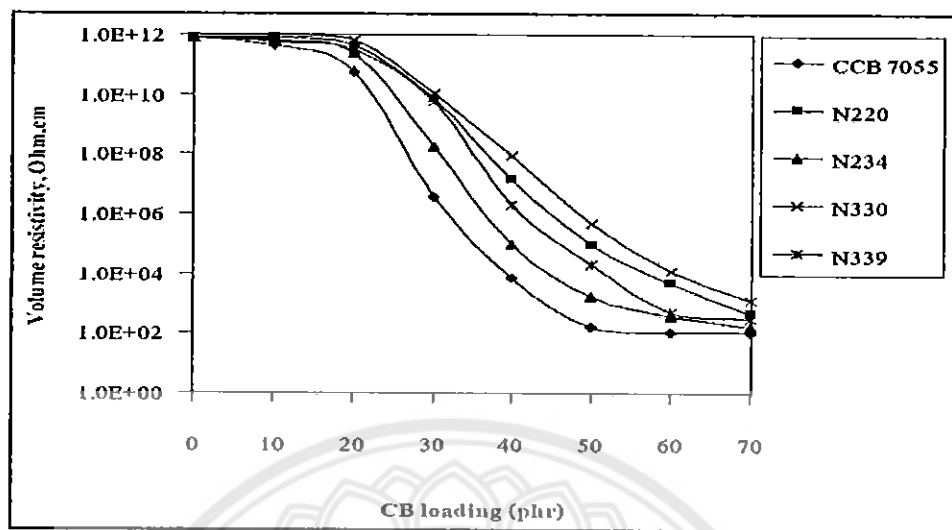
วัชรพันธุ์ มณีรัตน์ [3] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงสมบัติการนำไฟฟ้าของยางธรรมชาติโดยการเติมคาร์บอนแบล็ก จากการทดลองพบว่าสภาพการนำไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณคาร์บอนแบล็ก โดยมีค่าการนำไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ $10^{-2}\Omega^{-1}$ ที่ปริมาณคาร์บอนแบล็ก 25 phr (ดังรูปที่ 2.7) คาร์บอนแบล็กโครงสร้างสูงจะมีประสิทธิภาพในการเพิ่มการนำไฟฟ้าสูงกว่าคาร์บอนแบล็กที่มีโครงสร้างต่ำ และคาร์บอนแบล็กที่มีขนาดอนุภาคเล็กจะเพิ่มการนำไฟฟ้าได้ดีกว่าอนุภาคขนาดใหญ่ ภายใต้สภาวะที่ชิ้นงานถูกดัดยึดสมบัติในการนำไฟฟ้าจะลดลงตามระยะการดัดยึด ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการนำไฟฟ้าของวัสดุเชิงประกอบจะเห็นได้ชัดเจนในกรณีที่ชิ้นงานอยู่ในสภาพที่ปราศจากความเค้น แต่เมื่อชิ้นงานอยู่ภายใต้ความเค้นอุณหภูมิจะมีผลต่อการนำไฟฟ้าน้อยลง



รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ของค่าสภาพการนำไฟฟ้ากับปริมาณคาร์บอนแบล็กที่ผสม [3]

M. Knite และคณะ [4] ได้ทำการศึกษาผลของการใส่พลาสติกไซเซอร์ (plasticizer) เพื่อลดความเครียดที่มีต่อสมบัติความต้านทานไฟฟ้าโดยใช้คาร์บอนแบล็กขนาดอนุภาคระดับนาโน กับพอลิเมอร์พอลิไอโซพรีนพบว่าที่ปริมาณคาร์บอนแบล็ก ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักยาง (phr) ทดสอบการนำไฟฟ้าโดยการดึงยืดขึ้นทดสอบร้อยละ 40 ของความยาวเดิมจะทำให้ค่าการต้านทานไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไป 4 อันดับโดยมีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อผสมพลาสติกไซเซอร์ในชิ้นงานจะส่งผลให้ค่าความต้านทานไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปโดยมีค่าลดลง มีการเข้ากันของคาร์บอนแบล็กกับเนื้อยางได้ดีขึ้น โมเลกุลของคาร์บอนแบล็กมีการตอบสนองต่อกระแสไฟฟ้าที่ส่งผ่านได้มากขึ้น

หนึ่งฤทัย ประระใจ [5] ได้ศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยของปริมาณ และชนิดของคาร์บอนแบล็กต่อการนำไฟฟ้าของยางนิโอพรีน และสมบัติทางกายภาพของยางวัลคาไนซ์การเสื่อมสภาพที่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส จากการทดลองพบว่ายิ่งคาร์บอนแบล็กมีค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณของคาร์บอนแบล็กเพิ่มขึ้น และพบว่าคาร์บอนแบล็กชนิด CB 7055 จะให้ค่าการนำไฟฟ้าที่ดีที่สุด โดยจุดที่เปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนของค่าการนำไฟฟ้าจะอยู่ในช่วงของปริมาณคาร์บอนแบล็กที่ประมาณ 20-35 phr และสมบัติทางกายภาพต่อการเสื่อมสภาพที่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส พบว่าค่าความหนาแน่น, ค่าความแข็ง, ค่าความทนต่อแรงดึง และค่าการนำไฟฟ้าของยางจะเพิ่มขึ้นในช่วงแรก และต่อมาจะเริ่มมีค่าลดลง

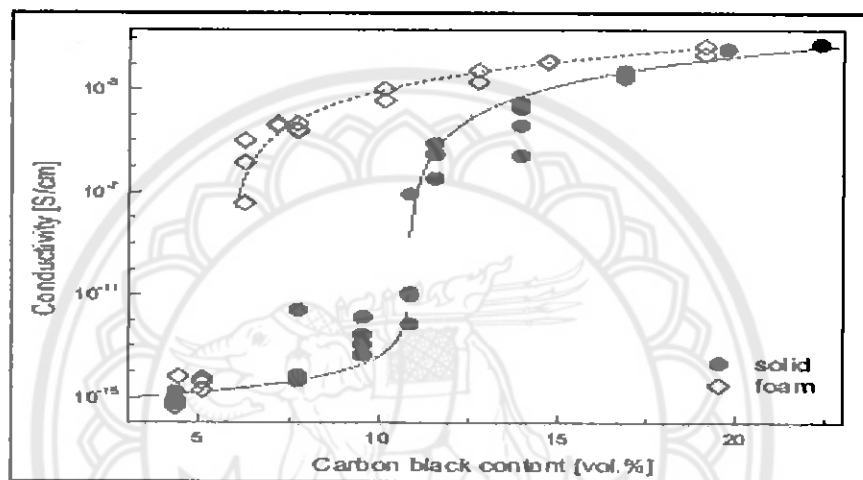


รูปที่ 2.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณของคาร์บอนแบล็กกับ Volume resistivity, ($\Omega \cdot cm$)

L.C. Costa และ F. Henry [6] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงสมบัติการนำไฟฟ้าของ โพลีสไตรีน โดยใช้คาร์บอนแบล็กเป็นสารตัวเติม จากนั้นจะทำการวัดค่าการนำไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ของโพลีสไตรีนที่ผสมเป็นเนื้อเดียวกันกับคาร์บอนแบล็ก หากประสบความสำเร็จจะเป็นวัสดุสำคัญที่ใช้ในการผลิตอุปกรณ์เซมิคอนดักเตอร์ โดยในการศึกษาจะนำชิ้นงานมาทดสอบการนำไฟฟ้าในอุณหภูมิแตกต่างกัน ตั้งแต่ที่อุณหภูมิ 80-250 K จากการทดลองจะพบว่า การไหลผ่านของไฟฟ้าในชิ้นงานที่เป็น โพลีสไตรีนที่ผสมคาร์บอนแบล็กนั้นไม่ได้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ หรือมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก

Zdenek Starý และคณะ [7] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการเสีรูปทางกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตนำไฟฟ้า (polymethyl-methacrylate /Carbon black) ระหว่างกระบวนการหลอมละลายที่ส่งผลกระทบต่อสมบัติทางไฟฟ้า โดยการวัดพฤติกรรมเชิงกลของวัสดุที่ตอบสนองต่อแรงที่มากกว่า และสมบัติทางไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลงในโครงสร้างของขั้นตอนการผสมที่เกิดการเสีรูปขึ้น ในงานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาการตรวจสอบค่าการนำไฟฟ้าระหว่างการเสีรูปจากแรงเฉือน และหลังการเสีรูปจากแรงเฉือนที่มีค่าความเครียดคงที่ จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่า จากกระบวนการที่มีสร้างเงื่อนไขขึ้นจะทำให้การนำไฟฟ้ามีความเสถียรมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างที่เกิดขึ้นภายใต้เงื่อนไขที่คงที่ ดังนั้นวัสดุที่มีการเสีรูปที่ต่างกันนั้นมีการนำไฟฟ้าได้เหมือนกัน แต่จะมีความแตกต่างของพฤติกรรมนำไฟฟ้าภายใต้การเกิดการเสีรูปอย่างชัดเจน

M. Pelířsková และคณะ [8] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการนำไฟฟ้าของเอทิลีนบิวทิลอะคริเลตที่ผสมกับคาร์บอนแบล็กในแต่ละความเข้มข้น โดยจะเน้นศึกษาผลกระทบจากการเกิดฟองของชิ้นงานตัวอย่างเทียบกับชิ้นงานที่ไม่มีฟอง จากนั้นจะทำการวัดการไหลผ่านของไฟฟ้าในเอทิลีนบิวทิลอะคริเลตจากการศึกษาจะเห็นได้ว่า พอลิเมอร์เอทิลีนบิวทิลอะคริเลตแบบที่ไม่มีฟองอากาศสามารถนำไฟฟ้าได้ 10.9 vol.% ส่วนเอทิลีนบิวทิลอะคริเลตแบบที่มีฟองอากาศนั้นมีค่าการนำไฟฟ้าลดลงเป็น 5.8 vol.% เนื่องจากมีช่องว่างที่เกิดจากฟองในเนื้องานทำให้การไหลของไฟฟ้าในชิ้นงานไม่ต่อเนื่อง ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ของค่าสภาพการนำไฟฟ้ากับปริมาณคาร์บอนแบล็กแบบที่มีฟองอากาศ และไม่มีฟองอากาศ [8]

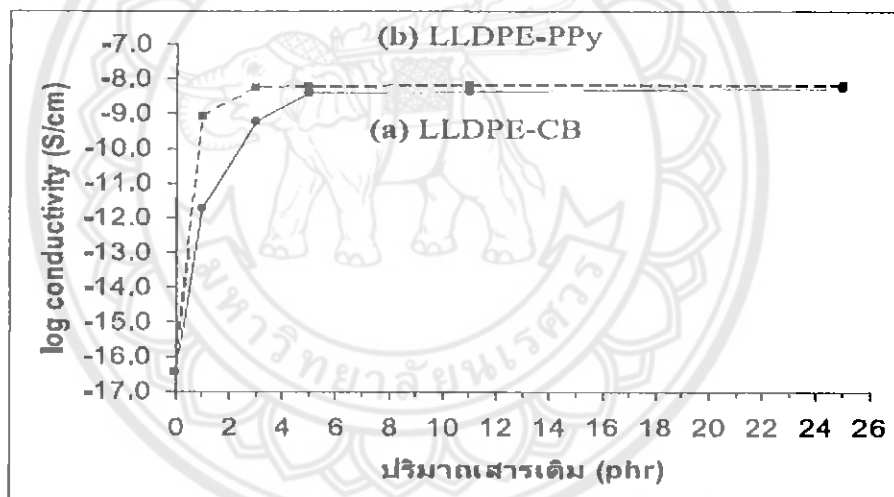
สรญา พิบูลกุลสัมฤทธิ์ [9] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาคอมพาวด์นำไฟฟ้าระหว่างผงคาร์บอนแบล็ก กับพอลิสไตรีนชนิดต้านทานแรงกระแทกสูง ที่ผลิตภายในประเทศโดยคอมพาวด์มีค่าความต้านทานไฟฟ้าอยู่ในช่วงป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ได้ ($10^{15} - 10^{12}$ โอห์มต่อพื้นที่) ที่พัฒนาขึ้นด้วยเทคนิค Twin screw extruder จากการศึกษาเบื้องต้นโดยใช้เครื่อง Counter-rotating twin screw extruder ในการเตรียมคอมพาวด์ระหว่างคาร์บอนแบล็ก และพอลิสไตรีนชนิดต้านทานแรงกระแทกสูงพบว่า ความเร็วในการผสม และปริมาณของผงคาร์บอนแบล็กมีผลโดยตรงกับค่าสมบัติการนำไฟฟ้าของคอมพาวด์ จากนั้นได้มีการศึกษาการเตรียมคอมพาวด์โดยใช้ Twin screw extruder ขนาดโรงงานต้นแบบเพื่อเพิ่มกำลังการผลิต โดยอาศัยการออกแบบสกรูของเครื่อง Co-rotating twin screw extruder ที่แตกต่างกัน 3 แบบ จากการศึกษาพบว่า การออกแบบสกรูมีผลโดยตรงกับสมบัติการนำไฟฟ้าของคอมพาวด์ ในขณะที่การเปลี่ยนความเร็วรอบสกรูมีผลกับค่าต้านทานแรงกระแทกของคอมพาวด์น้อย

Hongfan Yang และคณะ [10] ในการศึกษาได้นำคาร์บอนแบล็กผสมกับโพรพิลีน และคาร์บอนไฟเบอร์คอมโพสิต เพื่อประสานฟังก์ชันนำไฟฟ้าให้มีความเสถียรทางความร้อนหรือทำให้ติดไฟช้าและการนำไฟฟ้าที่ดีขึ้น จากการทดลองพบว่าลักษณะโครงสร้างของคาร์บอนไฟเบอร์คอมโพสิตนั้นมีการกระจายตัวอย่างดีในเมทริกซ์โพรพิลีน และเมื่อนำเมทริกซ์โพรพิลีนมาเปรียบเทียบกับโพรพิลีนบริสุทธิ์ จะเห็นว่าอุณหภูมิที่เกิดการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุดภายใต้บรรยากาศเพิ่มถึง 79 องศาเซลเซียส ค่าสูงสุดของอัตราการปล่อยความร้อนวัดโดยเครื่องวัดความร้อนลดลงประมาณ 70% และปล่อยความร้อนรวมลดลง 198 ถึง 166 MJ/m² นั้นทำให้วัสดุผสมโพรพิลีนติดไฟได้ช้าลง เนื่องจากการรวมตัวที่แข็งแรงของโครงสร้างแบบตาข่ายในเมทริกซ์โพรพิลีนที่มีไฟเบอร์คอมโพสิตทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมต่อกับคาร์บอนแบล็กแต่ละตัว นอกจากนี้การนำไฟฟ้าของวัสดุผสมโพรพิลีนยังเพิ่มขึ้นเป็น 7.8 S/m เนื่องจากการรวมตัวกันของคาร์บอนแบล็กที่ผสมอยู่ในโพรพิลีน และคาร์บอนไฟเบอร์คอมโพสิตในเมทริกซ์

Mohd Yusuf Zakaria และคณะ [11] ได้ศึกษาผลของการเติมสารคาร์บอนไฟเบอร์เป็นฟิลเลอร์รองของวัสดุนำไฟฟ้าที่ผสมกับกราไฟท์และอีพ็อกซีสำหรับวัสดุนำไฟฟ้า โดยใช้แผ่นคาร์บอนคอมโพสิตที่มี 2 ชั้นซึ่งประกอบไปด้วยกราไฟท์สังเคราะห์ และเส้นใยคาร์บอนผสมกับสารตัวเติมนำไฟฟ้า และอีพ็อกซีที่เป็นพอลิเมอร์เมทริกซ์ โดยมีค่าการนำไฟฟ้าในแผ่นวัสดุสูงสุดอยู่ที่ 69.8 S/cm และค่าการนำไฟฟ้าประมาณ 50.34 S/cm เมื่อไหลผ่านวัสดุที่ผสมคอมโพสิต 2 w.% และที่สารตัวเติมคาร์บอนไฟเบอร์ 80 w.% ซึ่งจะมากกว่าค่าการนำไฟฟ้าของกราไฟท์ทั่วไปอยู่ 30% ที่น้ำหนัก 80% จะมีค่าการนำไฟฟ้าในแผ่นวัสดุอยู่ที่ 53 S/cm และมีค่าการนำไฟฟ้าประมาณ 40 S/cm เมื่อไหลผ่านวัสดุคอมโพสิต ความแข็งแรงของวัสดุคอมโพสิตต่อการดัดงอเพิ่มขึ้นเป็น 36.28 MPa เมื่อเทียบกับการใส่สารตัวเติมตัวเดียวซึ่งจะอยู่ที่ประมาณ 25.22 MPa

D. Wu และคณะ [12] ได้ศึกษา Polylactide ของโพลีคอมโพสิตที่มีท่อนาโนคาร์บอนและผงคาร์บอนแบล็กที่มีผลกับพลเลเดียมของสารตัวเติมในการนำไฟฟ้าโดยนำอนุภาคของถ่านคาร์บอนแบล็ก (CB) และท่อนาโนคาร์บอน (CNTs) มาใช้เป็นสารตัวเติม เพื่อศึกษาผลของสารในการนำไฟฟ้า จากผลการศึกษาพบว่าอนุภาคคาร์บอนแบล็ก และท่อนาโนคาร์บอนที่รวมกันอยู่ในเมทริกซ์ Polylactide นั้นเป็นอิสระต่อกัน ดังนั้นจึงไม่มีผลกระทบต่อสารตัวเติมทั้งสอง และคอมโพสิตที่ประกอบไปด้วย 3 องค์ประกอบ ที่มีทั้งคาร์บอนแบล็ก และท่อนาโนคาร์บอน ระบบคอมโพสิตที่มี 3 ตัวทำให้มีการรวมกันอย่างลงตัวของสารตัวเติม เพราะโครงสร้างทางชีวภาพระหว่างคาร์บอนแบล็ก และท่อนาโนคาร์บอนนั้นมีโครงสร้างที่เชื่อมต่อกัน ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาค่าการนำไฟฟ้าของสารตัวเติมที่โครงสร้าง มีข้อบกพร่องน้อยใน Polylactide เป็นผลให้วัสดุคอมโพสิตที่มีหลายองค์ประกอบมีการนำไฟฟ้าที่ดีกว่าการนำไฟฟ้าของวัสดุที่มีสารตัวเติมตัวเดียว

คุณาลยา สถานสถิต และคณะ [13] ได้ศึกษาวัสดุที่มีสมบัติกระจายไฟฟ้าสถิตของบรรจุภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ เพื่อลดผลของการประทุของไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Discharge) ต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในระหว่างเก็บรักษาและขนส่ง โดยจะทำการเปรียบเทียบผลของการเติมสารตัวเติมนำไฟฟ้าสองชนิดได้แก่ คาร์บอนแบล็ก และพอลิพีโรลต่อสมบัติเชิงกล สมบัติเชิงความร้อน และสมบัติเชิงไฟฟ้าของพอลิเมอร์เชิงประกอบซึ่งเตรียมจากการผสมสารเติมแต่ละชนิดลงใน LLDPE สมบัติเชิงกลและค่าการนำไฟฟ้าของ LLDPE ที่เติมพอลิพีโรล (LLDPE-PPy) และ LLDPE ที่เติมคาร์บอนแบล็ก (LLDPE-CB) สูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของสารตัวเติม ค่าการนำไฟฟ้าของ LLDPE-PPy และ LLDPE-CB เพิ่มขึ้นถึง 10^{-9} S/cm เมื่อเติมปริมาณพอลิพีโรล 1 phr และคาร์บอนแบล็ก 5 phr ตามลำดับ พอลิเมอร์จะมีค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการป้องกันการประทุของไฟฟ้าสถิตซึ่งต้องการวัสดุที่มีค่าการนำไฟฟ้าในช่วง 10^{-9} S/cm ถึง 10^{-6} S/cm ดังนั้น พอลิเมอร์เชิงประกอบจึงมีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้ในงานบรรจุภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ 2.10 แสดงค่าการนำไฟฟ้าของ (a) LLDPE-CB (LLDPE ผสมคาร์บอนแบล็ก) และ (b) LLDPE-PPy (LLDPE ผสมกับพอลิพีโรล) ที่มีปริมาณสารเติมต่างกัน [13]

และนอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงสมบัติการนำไฟฟ้าของพอลิเมอร์ และการนำไปประยุกต์ใช้งานในอีกหลายด้าน โดยใช้วัสดุที่เป็นสารตัวเติมชนิดอื่นๆ เช่น

นันทินธ์ พ่วงเล็ก [14] ได้ทำการศึกษาสมบัติการนำไฟฟ้าของพอลิไพร์โรล และอนุพันธ์พอลิไพร์โรล 3 ชนิด ได้แก่ พอลิไพร์โรล (PPy) อนุพันธ์พอลิไพร์โรลที่มีหมู่แทนที่ ณ ตำแหน่งที่สามเป็นหมู่คาร์บอนิล (3-PPy) อนุพันธ์พอลิไพร์โรลที่มีหมู่แทนที่ ณ ตำแหน่งที่สามเป็นหมู่ออกซิม (3-PPy oxime) และเฟอร์โรซีนคาร์บอกซีเลทพอลิไพร์โรล (3-PPy oxime FCC) และได้ทำการศึกษาอิทธิพลของขนาดแอนไอออนของสารกระตุ้นตัวนำประจุ 3 ชนิด ได้แก่ ลิเทียมฟลูออไรด์ ลิเทียมเปอร์คลอเรต และโซเดียมโตนเดคซิลเบนซีนซัลโฟนิคแอซิด (ABSA) ต่อสมบัติการนำไฟฟ้าของพอลิเมอร์ภายใต้บรรยากาศก๊าซไนโตรเจน พบว่าพอลิเมอร์ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยลิเทียมฟลูออไรด์ สามารถนำไฟฟ้าได้ดีที่สุดเนื่องจากแอนไอออนของฟลูออไรด์มีขนาดเล็ก (1.33 Å) จากนั้นนำไปทดสอบการนำไฟฟ้าขณะผ่านไอระเหยเมทานอลและไอระเหยไดเอทิลอีเทอร์ จากการทดสอบพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อสมบัติการนำไฟฟ้า และความว่องไวในการตรวจสอบก๊าซของพอลิเมอร์ดังกล่าวขึ้นอยู่กับโครงสร้างของพอลิเมอร์ โครงสร้างไอระเหยที่ใช้ทดสอบ และความเข้มข้นของไอระเหยที่ใช้ทดสอบ

Nipon.K [15] ได้ทำการศึกษาพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของไบโอเซนเซอร์ที่มีจุลอนุภาคโลหะเป็นสารตัวเติมในฟิล์มพอลิเมอร์เพื่อให้เกิดการนำไฟฟ้าและสามารถนำไปใช้ทำนายสัญญาณตอบสนองของไบโอเซนเซอร์ต่อการวัดน้ำตาลกลูโคสจากนั้นจึงใช้แบบจำลองที่ได้ศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ทางฟิสิกส์ และเคมี คือ ความเข้มข้นของกลูโคส ความหนาฟิล์มพอลิเมอร์ แอคทิวิตี้ของเอนไซม์ ค่าคงที่ของการเกิดปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่ง (หรือจำนวนของจุลอนุภาคโลหะในชั้นฟิล์มพอลิเมอร์) และชั้นของไฮโดรไดนามิกส์ ที่มีต่อสัญญาณตอบสนองของไบโอเซนเซอร์ในการวัดน้ำตาลกลูโคส จากผลการวิจัยสามารถบอกได้ว่ากลไกของการเกิดต่อสัญญาณการตอบสนองของไบโอเซนเซอร์ถูกควบคุมโดยปฏิกิริยาเอนไซม์ และการแพร่ของสารในฟิล์มพอลิเมอร์

สมฤทัย [16] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการเตรียมเอปีเอสคอมโพสิตนำไฟฟ้า เพื่อใช้เป็นไบโพลาร์เพลตในเซลล์เชื้อเพลิงแบบฟิวเซลล์ ทดแทนไบโพลาร์เพลตเดิมที่ทำจากแผ่นแกรไฟต์ซึ่งมีราคาแพง และมีสมบัติเชิงกลต่ำ โดยการเตรียมเอปีเอสคอมโพสิตนำไฟฟ้าด้วยสารตัวเติมนำไฟฟ้า ได้แก่ แกรไฟต์ และเส้นใยคาร์บอน แล้วทำการศึกษาผลของปริมาณ และการทำงานร่วมกันของสารตัวเติมนำไฟฟ้า นอกจากนี้ยังศึกษาผลของสารประสานคู่ควบไซเลน และความยาวของเส้นใยคาร์บอนที่มีต่อสมบัติการนำไฟฟ้า และสมบัติเชิงกลของคอมโพสิต จากการทดลองพบว่า เอปีเอสคอมโพสิตที่ใช้แกรไฟต์ที่ปรับสภาพผิวด้วยสารประสานคู่ควบไซเลนมีค่าการนำไฟฟ้าสูงกว่าเอปีเอสคอมโพสิตที่ใช้แกรไฟต์ไม่ปรับสภาพผิว นอกจากนี้ยังพบว่าเอปีเอสคอมโพสิตที่ใช้สารตัวเติมนำไฟฟ้า 2 และ 3 ชนิดร่วมกันมีสมบัติการนำไฟฟ้า และสมบัติเชิงกลสูงกว่าเอปีเอสคอมโพสิตที่ใช้สารตัวเติมนำไฟฟ้าชนิดเดียว

อัจฉิมา [17] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาพอลิเมอร์คอมโพสิตที่มีราคาถูกและน้ำหนักเบา เพื่อนำไปผลิตเป็นไบโพลาร์เพลต ซึ่งคอมโพสิตนี้เตรียมโดยกระบวนการเวตเลย์ โดยใช้สารตัวเติม นำไฟฟ้าเป็นแกรไฟต์ แกรไฟต์ขยาย และผงคาร์บอนแบล็ก ในขณะที่ใช้สารเสริมแรงคือ เส้นใยคาร์บอน และเส้นใยแก้ว โดยใช้โพลีฟอสฟีนเป็นเมทริกซ์ในสัดส่วนที่แตกต่างกัน จากนั้นนำไปขึ้นรูปด้วยวิธีการ กดอัดที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส ความดัน 1500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และนำไปศึกษาค่าการนำไฟฟ้า สมบัติเชิงกล และความหนาแน่น จากการทดลองพบว่าคอมโพสิตที่ผสมแกรไฟต์ และแกรไฟต์ขยายตัว เข้าด้วยกันจะให้ความแข็งแรงที่สูงกว่าการใช้แกรไฟต์ขยายเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ยังพบว่า การผสม แกรไฟต์ แกรไฟต์ขยาย และคาร์บอนแบล็ก ในปริมาณ 70, 7, 3, และ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ให้ค่า สภาพการนำไฟฟ้าสูงที่สุดคือ 84.5 ซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ในขณะที่สมบัติเชิงกลของคอมโพสิตนี้ก็มี ค่าสูงขึ้นด้วย

ณัฐพร มโนอิม และคณะ [25] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของชนิด และปริมาณของ คาร์บอนแบล็กที่มีต่อสมบัติการไหล สมบัติการคงรูปและสมบัติเชิงกลของชิ้นงานยาง HNBR เมื่อผสม คาร์บอนแบล็กชนิด N330 N550 และ N660 ในปริมาณ 60 และ 70 phr ตามลำดับ โดยสมบัติการไหล และการคงรูปที่ได้ศึกษา ได้แก่ ความหนืดมูนีและระยะเวลาในการคงรูปของยางที่ 90 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่สมบัติเชิงกลที่ได้ศึกษา ได้แก่ สมบัติความต้านทานต่อแรงดึง ความต้านทานต่อการฉีกขาด ความต้านทานต่อการขีดสี ค่าความแข็ง รวมทั้งความต้านทานต่อการยุบตัวเนื่องจากแรงอัด จากผลการ ทดลองพบว่า ค่าความหนืดมูนีเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณการผสมคาร์บอนแบล็ก ในขณะที่เวลาเริ่มคงรูป และเวลาคงรูปของยางที่ 90 เปอร์เซ็นต์ มีแนวโน้มลดลง และเมื่อพิจารณาสมบัติเชิงกลของชิ้นงาน พบว่า เมื่อผสมคาร์บอนแบล็กในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ชิ้นงานยางมีความต้านทานต่อแรงดึงเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่ค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดและความต้านทานต่อการขีดสีมีแนวโน้มลดลง อย่างไรก็ตามการ ผสมคาร์บอนแบล็กที่มีอนุภาคขนาดเล็กในปริมาณที่สูงเกินไป ทำให้ประสิทธิภาพการผสมลดลง ซึ่งส่งผลให้ความแข็งแรงของชิ้นงานมีแนวโน้มคงที่หรือลดลง

บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงการ

3.1 วัสดุและสารเคมี

3.1.1 คาร์บอนแบล็ก

คาร์บอนแบล็กที่ใช้ในการวิจัยนี้เป็นคาร์บอนแบล็กชนิด N330 ซึ่งมีสมบัติในการนำไฟฟ้าได้ดี และมีความต้านทานแรงดึงยี่ดสูง โดยในงานวิจัยนี้จะใช้คาร์บอนแบล็ก 3 ขนาด คือ ขนาดมากกว่า 425 ไมโครเมตร, ขนาดระหว่าง 180 – 225 ไมโครเมตร และ ขนาดระหว่าง 45 – 150 ไมโครเมตร ปริมาณการเติมที่ 10% w/v, 20% w/v และ 30% w/v

3.1.2 น้ำยางพาราสด

น้ำยางพาราสดที่ใช้ในการวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์มาจาก บริษัท ทีทีเอ็นรับเบอร์ จำกัด ซึ่งมีสารแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 2% จำนวน 10 มิลลิลิตร ต่อน้ำยางสด 1 ลิตร ผสมเพื่อคงรูปน้ำยางพาราสด

3.1.3 ยางพาราผง

ยางพาราผงที่ใช้ในการวิจัยนี้ คือ ยางพาราที่นำมาบดเป็นผงขนาด 150 – 180 ไมโครเมตร

3.1.4 สารเคมีขึ้นรูปน้ำยางพาราสด

- 1) กรดสเตียริก (Stearic acid)
- 2) กำมะถัน (Sulfue)
- 3) ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide, ZnO)
- 4) ZDEC (Zinc-diethyldithiocarbamate, $C_{10}H_{20}H_2S_4Zn$)

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

- 1) เครื่องผสมสารเคมี
- 2) ตู้อบสารเคมี
- 3) เครื่องมือวัดสมบัติการนำไฟฟ้า
- 4) เครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิกส์
- 5) บีกเกอร์ (Beaker)

- 6) แม่พิมพ์ขนาด 15×15 cm
- 7) เวอร์เนีย (Vernia caliper)
- 8) เครื่อง Compress Molding
- 9) เครื่อง Universal Testing

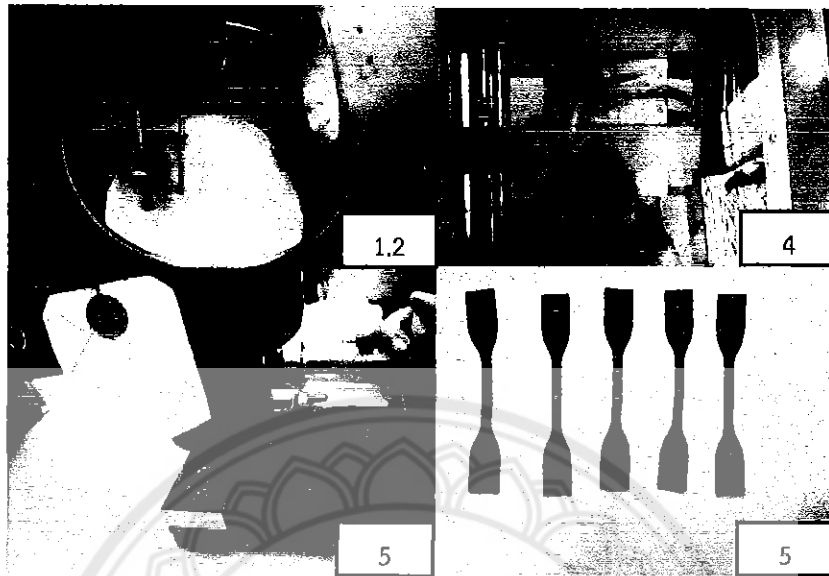
3.3 การเตรียมชิ้นงานวิจัย

3.3.1 ชิ้นงานที่ใช้ตัวอย่างพาราสด

- 1) นำน้ำยางมาทำการปั่นกวนด้วยเครื่องกวนผสมที่ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อทำการกำจัดแอมโมเนียในน้ำยางก่อนเริ่มทำกระบวนการขึ้นรูป
- 2) ผสมน้ำยางพาราสดกับผงคาร์บอนแบล็ก แต่ละขนาดที่เตรียมไว้ลงในเครื่องกวนผสม ในอัตราส่วน ปริมาณคาร์บอนแบล็กคาร์บอนแบล็กทั้ง 3 ขนาด ที่ปริมาณการเติม 10% w/v, 20% w/v และ 30% w/v
- 3) จากนั้นผสมกับสารต่างๆตามตารางที่ 3.1
- 4) นำใส่แม่พิมพ์ และนำไปเข้าเครื่อง Compress Molding ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นทำการแกะชิ้นงานออกแม่พิมพ์
- 5) เก็บชิ้นงานที่อุณหภูมิห้องเพื่อให้ชิ้นงานคงรูป จากนั้นทำการตัดชิ้นงานตามการทดสอบ ก่อนทำการวัดค่าต่างๆ

3.3.2 ชิ้นงานที่ใช้ยางพาราผง

- 1) นำน้ำยางมาทำการปั่นกวนด้วยเครื่องกวนผสมที่ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อทำการกำจัดแอมโมเนียในน้ำยางก่อนเริ่มทำกระบวนการขึ้นรูป
- 2) ผสมน้ำยางพาราสดกับผงยางพาราขนาด 150 – 180 ไมโครเมตร ที่ 5 % w/v กับ ผงคาร์บอนแบล็กแต่ละขนาดที่เตรียมไว้ลงในเครื่องกวนผสม ในอัตราส่วน ปริมาณคาร์บอนแบล็กคาร์บอนแบล็กที่ปริมาณการเติม 10% w/v และ 20% w/v
- 3) จากนั้นผสมกับสารต่างๆตามตารางที่ 3.1
- 4) นำใส่แม่พิมพ์ และนำไปเข้าเครื่อง Compress Molding ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นทำการแกะชิ้นงานออกแม่พิมพ์
- 5) เก็บชิ้นงานที่อุณหภูมิห้องเพื่อให้ชิ้นงานคงรูป จากนั้นทำการตัดชิ้นงานตามการทดสอบ ก่อนทำการวัดค่าต่างๆ



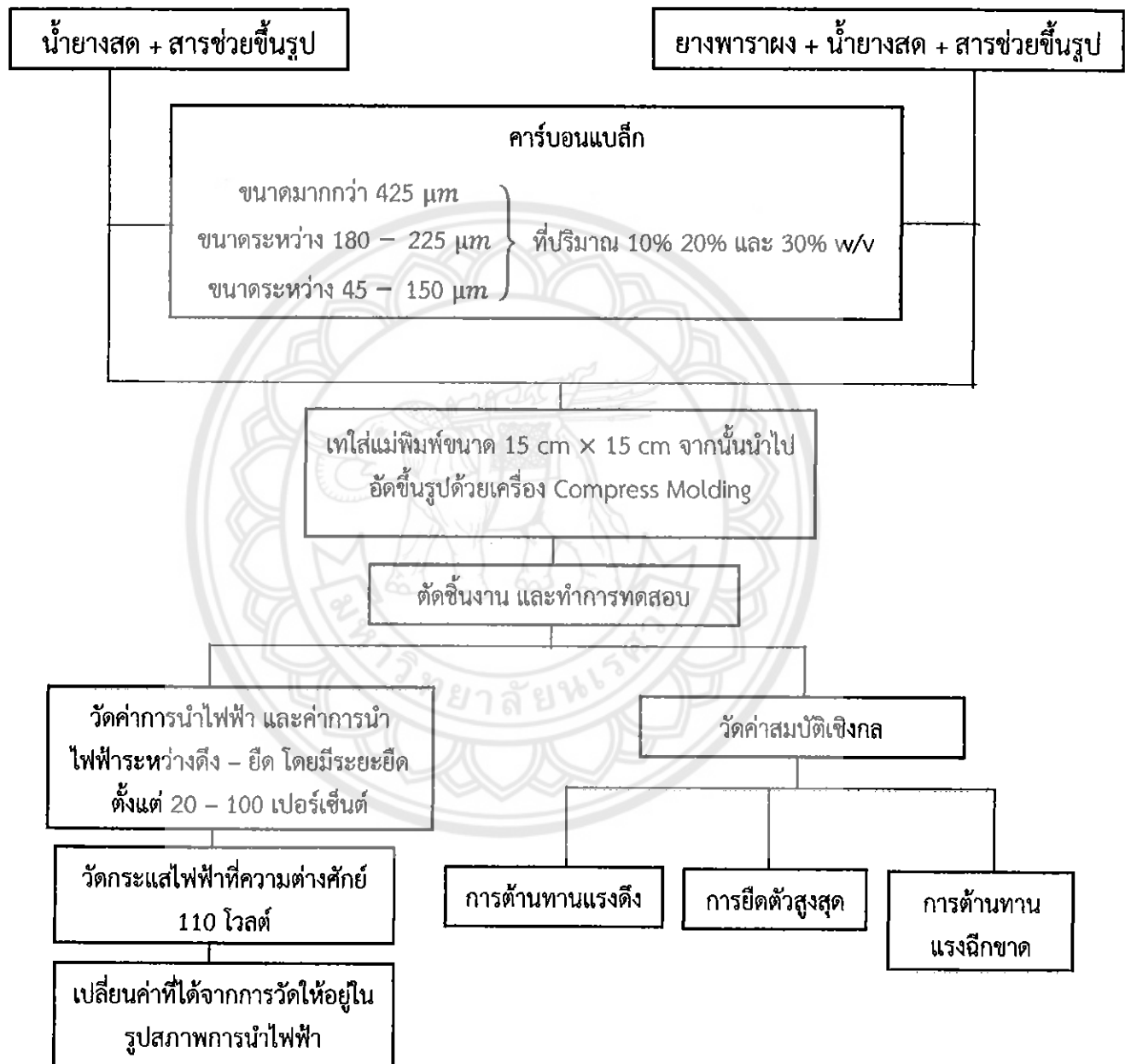
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนในการขึ้นรูปชิ้นงาน

ตารางที่ 3.1 : อัตราส่วนผสมสารเคมีที่ใช้ในการขึ้นรูปของน้ำยางพาราสด [3]

สารเคมีขึ้นรูปยาง	อัตราส่วนผสม (phr)
1. กรดสเตียริก	1.250
2. กำมะถัน	3.125
3. ซิงค์ออกไซด์	1.875
4. ZDEC	1.875

แผนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน



รูปที่ 3.2 แผนการดำเนินงาน

3.4 การวัดสภาพการนำไฟฟ้า

3.4.1 การวัดค่าสภาพการนำไฟฟ้า

การเตรียมชิ้นงานก่อนทำการวัดสภาพการนำไฟฟ้า ทำการตัดชิ้นงานของยางเป็นรูปดัมเบล (หัว Die C) (รูปที่ 3.2) จากนั้นทำการวัดสภาพการนำไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ 110 โวลต์ [3] โดยในแต่ละเงื่อนไขจะใช้ชิ้นงานทดสอบ 3 ชิ้น ซึ่งค่าที่ได้จากการวัดจะทำการเปลี่ยนให้อยู่ในรูปค่าสภาพการนำไฟฟ้า



รูปที่ 3.3 ชิ้นงานทดสอบเพื่อวัดค่าสภาพการนำไฟฟ้า [3]

3.4.2 วัดค่าการนำไฟฟ้าระหว่างดึง-ยึด

ชิ้นงานที่ใช้วัดความสัมพันธ์สภาพการนำไฟฟ้าตามระยะการดึงยึดเป็นไปตามมาตรฐาน ชิ้นงานที่ใช้ทดสอบสมบัติเชิงกลของยาง ASTM D3183 ที่มีช่วงแกนวัดระยะยึด (Gauge length) และเป็นแกนวัดความสัมพันธ์กับสภาพการนำไฟฟ้าตามระยะยึดตัว 25 ± 0.25 มิลลิเมตร โดยมีระยะยึดที่ใช้ทดสอบวัดสภาพการนำไฟฟ้าตั้งแต่ 10 – 100 เปอร์เซ็นต์ระยะดึงยึดเทียบกับขณะไม่ยึดตัว ค่าที่ได้จะแสดงความสัมพันธ์สภาพการนำไฟฟ้าขณะดึงยึดโดยเปรียบเทียบกับสภาพการนำไฟฟ้าขณะไม่ยึดตัว

3.5 การวัดสมบัติเชิงกล

3.5.1 วัดค่าการยึดตัวสูงสุด

1) การวัดค่าการยึดตัวสูงสุดเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D412 ซึ่งจะทำการทดสอบโดยใช้ เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine รุ่น Lloyd, LR 10K Plus) (รูปที่ 3.3)

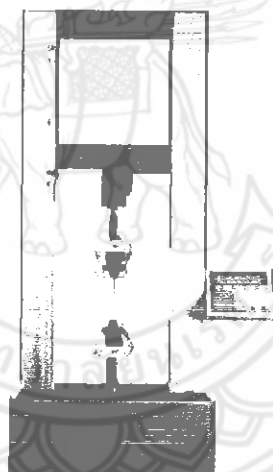
2) เตรียมชิ้นงานให้เป็นรูป dumb bell (รูปที่ 3.4) ชิ้นงานที่ใช้ทดสอบมีความหนา 2.0 ± 0.2 มิลลิเมตร ความกว้าง 10.0 ± 1.0 มิลลิเมตร และความยาว 100.0 ± 10.0 มิลลิเมตร

- 3) ใช้อัตราเร็วในการดึงขึ้นงาน 500 ± 50 มิลลิเมตรต่อนาทีที่กำลังการดึง 5 กิโลนิวตัน
- 4) วัดร้อยละการยืดตัวสูงสุด ซึ่งตัวอย่างหนึ่งสูตรจะใช้ขึ้นงานทดสอบตัวอย่างละ 3 ชิ้น แล้วนำค่าที่ได้ 3 ค่ามาทำการหาค่าเฉลี่ยของแต่ละตัวอย่าง

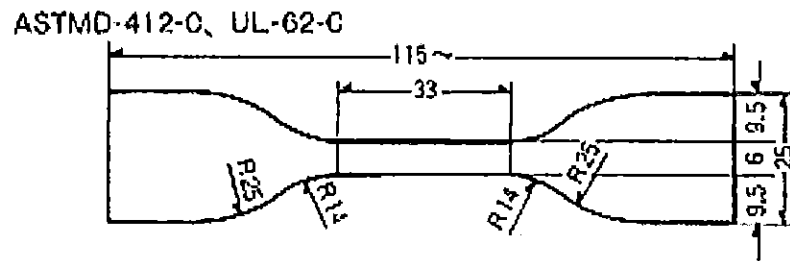
3.5.2 วัดค่าความต้านทานแรงดึง

การวัดค่าความต้านทานแรงดึงเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D412 ซึ่งจะทำการทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (รูปที่ 3.3) เพื่อทดสอบสมบัติของยางที่ทนต่อการถูกดึง

- 1) เตรียมชิ้นงานขนาดเดียวกันกับการวัดค่าการยืดตัวสูงสุด (รูปที่ 3.4)
- 2) วัดค่าต้านทานแรงดึงวัดที่ร้อยละ 100 ของร้อยละการยืดตัว และวัดร้อยละการยืดตัวสูงสุด ตัวอย่างหนึ่งสูตรจะใช้ขึ้นงานทดสอบตัวอย่างละ 3 ชิ้น แล้วนำค่าที่ได้ 3 ค่ามาทำการหาค่าเฉลี่ยของแต่ละตัวอย่าง



รูปที่ 3.4 เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine รุ่น Lloyd, LR 10K Plus) [24]



รูปที่ 3.5 ชิ้นงานทดสอบรูปคัมเบลล์ (Die C) [24]

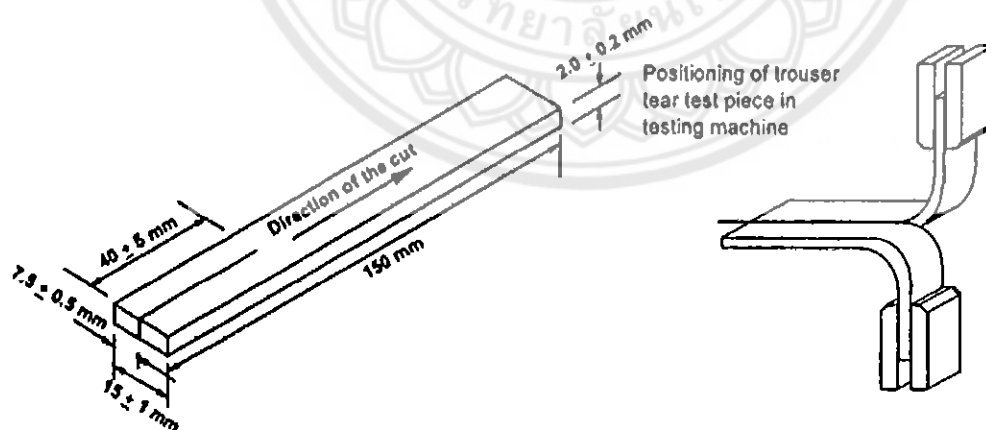
3.5.3 วัดค่าความต้านทานแรงฉีก

การวัดค่าความต้านทานแรงฉีกเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D624 เพื่อวัดความต้านทานต่อการฉีกขาด หรือความแข็งแรงในพันธะของชิ้นงานตามแนวนอน ทดสอบชิ้นงานด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ Universal Testing Machine (UTM) (รูปที่ 3.3)

1) เตรียมชิ้นงานตามชิ้นงานทดสอบ Type T (Trouser) ที่มีความกว้าง 15 ± 1 mm ความยาว 150 mm หนา 2.0 ± 0.2 mm และแบ่งครึ่งชิ้นงานโดยตัดตามแนวยาวประมาณ 40 ± 5 mm (ดังรูปที่ 3.5)

2) ใช้ความเร็วในการทดสอบ 500 มิลลิเมตรต่อนาที

3) ดึงชิ้นงานตัวอย่างจนฉีกขาดไปในทิศทางที่ขนานกับความยาวของขาทั้งสองข้าง ตัวอย่างหนึ่งสูตรจะใช้ชิ้นงานในการทดสอบ 3 ชิ้นแล้วนำค่าที่ได้ 3 ค่ามาทำการหาค่าเฉลี่ยของแต่ละตัวอย่าง



รูปที่ 3.6 ชิ้นงานทดสอบแบบ Type T (Trouser) ตามมาตรฐาน ASTM D624 [24]

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

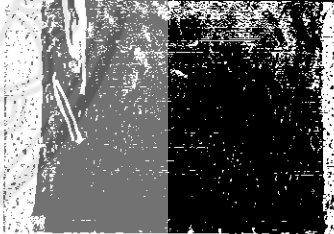

4.1 การศึกษากระบวนการขึ้นรูปชิ้นงาน

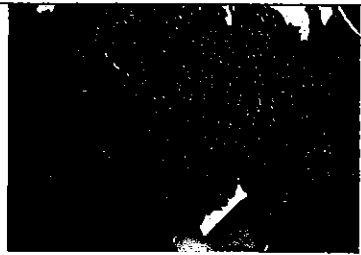
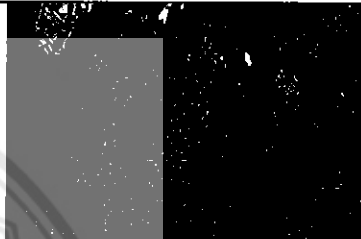
ในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาเกี่ยวกับการเปรียบเทียบขนาด และปริมาณของคาร์บอนแบล็กที่มีผลต่อ ยางพาราแบบน้ำ และยางพาราแบบผงซึ่งจากการทำทดลองทำชิ้นงานมีผลการทดลองทำชิ้นงานในแต่ละ แบบดังนี้

4.1.1 การศึกษากระบวนการขึ้นรูปสำหรับยางพาราแบบผง

ในการขึ้นรูปชิ้นงานยางผงด้วยเครื่อง Two roll mill นั้นทางผู้จัดทำทำการทดลองเติม คาร์บอนแบล็กที่ปริมาณ 10 phr และทำการขึ้นรูปยางผงที่อุณหภูมิต่างๆ ผลการทดลองที่ได้ดังแสดงใน ตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงผลการขึ้นรูปชิ้นงานยางผงด้วยเครื่อง Two roll mill

Conditions	ลักษณะของชิ้นงาน	รูปของชิ้นงาน
ยางผง ที่มีการเติม คาร์บอนแบล็กที่ 10 phr ขึ้นรูปด้วยความร้อน 60°C	ยางผงไม่มีการหลอมละลายสามารถ มองเห็นลักษณะยางเป็นผงเหมือนก่อน ทำการขึ้นรูปชิ้นงาน	
ยางผง ที่มีการเติม คาร์บอนแบล็กที่ 10 phr ขึ้นรูปด้วยความร้อน 80°C	เมื่อมีการขึ้นรูปประมาณ 1 ชั่วโมง ยาง ผงไม่มีการหลอมละลายแต่เกิดการไหม้ ของยางผงจากผงสีน้ำตาลกลายเป็นผง สีดำ	

Conditions	ลักษณะของชิ้นงาน	รูปของชิ้นงาน
ยางผง ที่มีการเติมคาร์บอนแบล็กที่ 10 phr ขึ้นรูปด้วยความร้อน 100°C	ยางเริ่มมีหลอมละลายจับกันเป็นแผ่น แต่ยังมีผงของยางพาราบางส่วนที่ยังไม่หลอมละลาย ชิ้นงานที่ได้มีความเหนียวเพียงเล็กน้อย และเปราะ	
ยางผง ที่มีการเติมคาร์บอนแบล็กที่ 10 phr ขึ้นรูปด้วยความร้อน 150°C	ยางมีการหลอมละลายเร็วกว่าที่อุณหภูมิอื่น และเกิดการไหม้ ชิ้นงานที่ได้มีความแข็งและเปราะ	

จากการศึกษาการขึ้นรูปชิ้นงานแบบผงด้วยเครื่อง Two roll mill นั้นไม่สามารถทำการขึ้นรูปได้ เนื่องจากยางผงอาจมีการผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์เข้ามาแล้วก่อนนำมาบดให้เป็นผงละเอียด ทำให้เมื่อมาขึ้นรูปยางผงจึงไหม้ และมีการหลอมละลายเพียงเล็กน้อยแต่ไม่สามารถรวมเป็นแผ่นที่สมบูรณ์ได้

4.1.2 การศึกษากระบวนการขึ้นรูปสำหรับยางพาราแบบน้ำ

ในการทำการขึ้นรูปชิ้นงานโดยใช้ยางพาราแบบน้ำนั้นทางผู้จัดทำได้ทำการทดลองเติมคาร์บอนแบล็กที่ปริมาณต่างๆ โดยเมื่อทำการเติมที่ 50 phr 40 phr และ 35 phr ลงไปผสมกับน้ำยางธรรมชาติ ผลจากการทดลองเมื่อเติมคาร์บอนแบล็กลงไปแล้ว เนื้อยางกับคาร์บอนแบล็กจับตัวกันเป็นก้อนแข็งทันที ทำให้ไม่สามารถขึ้นรูปได้ จากนั้นลองลดปริมาณของคาร์บอนแบล็กลงมาที่ปริมาณการเติม 10 phr 20 phr และ 30 phr ผลจากการทดลองสามารถทำการขึ้นรูปชิ้นงานเป็นแผ่นยางได้ โดยเมื่อเติมคาร์บอนแบล็กลงไปแล้วทำการปั่นผสมให้เข้ากันจะได้น้ำยางที่ผสมคาร์บอนแบล็กที่มีลักษณะข้นและเหนียวสามารถนำไปใส่แม่พิมพ์และขึ้นรูปเป็นชิ้นงานได้ ดังนั้นผู้จัดทำจึงทำการเลือกปริมาณการเติมคาร์บอนแบล็กที่ปริมาณการเติมที่ 10 phr 20 phr และ 30 phr เพื่อมาทำการขึ้นรูปเป็นชิ้นงาน และทดสอบสมบัติต่างๆ ต่อไป

4.1.3 การศึกษากระบวนการขึ้นรูปสำหรับยางพาราแบบน้ำผสมยางพาราแบบผง

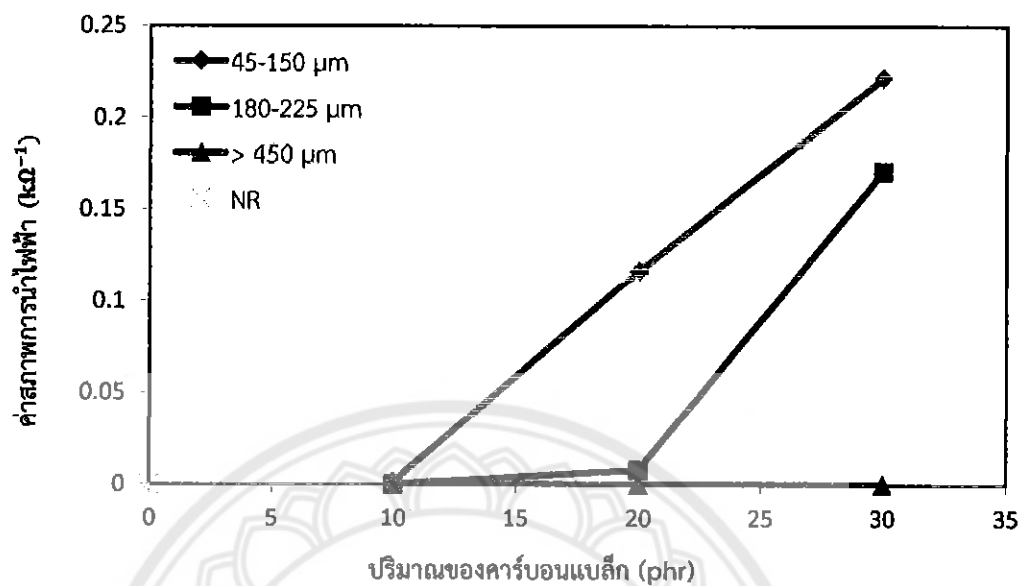
ผู้จัดทำได้ทดลองนำยางน้ำ มาผสมยางผงที่ปริมาณต่างๆ เพื่อทำการขึ้นรูปชิ้นงาน และนำไปเปรียบเทียบกับกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานโดยยางพาราแบบน้ำ โดยจากการทดลองผู้จัดทำได้ทำการทดลองเติมผงของยางธรรมชาติที่ 5 phr สามารถทำการขึ้นรูปได้ แต่เมื่อทดลองทำการเพิ่มปริมาณเป็น 10 phr ไม่สามารถเติมคาร์บอนแบล็กลงไปชิ้นงานได้ จากนั้นทำการขึ้นรูปชิ้นงานโดยผสมกับคาร์บอนแบล็กที่ปริมาณ และขนาดต่างๆ ผลการทดลองในการเติมคาร์บอนแบล็กที่ 30 phr ไม่สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้ ดังนั้นทางผู้จัดทำจึงเลือกการเติมผงยางพาราที่ปริมาณ 5 phr ผสมกับยางน้ำ และเติมคาร์บอนแบล็กที่ปริมาณ 10 phr และ 20 phr เพื่อนำมาทำการศึกษาสมบัติต่างๆ

4.2 ปัจจัยต่างๆของคาร์บอนแบล็กที่ส่งผลต่อสภาพการนำไฟฟ้า

4.2.1 ผลของปริมาณของคาร์บอนแบล็กที่ส่งผลต่อสภาพการนำไฟฟ้าในยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติ (NR) จัดเป็นพอลิเมอร์ที่มีความเป็นขั้วต่ำซึ่งเป็นคุณสมบัติของวัสดุที่เป็นฉนวน ในการเติมวัสดุที่สามารถนำไฟฟ้าได้ลงในพอลิเมอร์ที่เป็นฉนวน จะสามารถเพิ่มสมบัติในการนำไฟฟ้าได้ โดยสมบัติการนำไฟฟ้ายิ่งขึ้นกับปริมาณของวัสดุนำไฟฟ้าที่เติมลงไปในพอลิเมอร์ แต่เมื่อเพิ่มปริมาณของวัสดุนำไฟฟ้ามากขึ้น สมบัติการนำไฟฟ้าจะเข้าใกล้ค่าหนึ่งที่มีค่าใกล้เคียงกับค่าการนำไฟฟ้าของวัสดุที่เติมลงไป ซึ่งจะสอดคล้องกับงานวิจัยของ คุณหนึ่งฤทัย ประระใจ [5] ที่เมื่อเพิ่มปริมาณคาร์บอนแบล็กลงในยางนีโอพรีน ค่าจะเพิ่มขึ้นในช่วงแรก และเข้าใกล้ค่าหนึ่งในช่วงต่อมา

เมื่อทำการทดลองโดยการเติมคาร์บอนแบล็กที่ 10 20 และ 30 Phr ลงในยางธรรมชาติที่ขนาดโมเลกุลต่างๆ ได้ผลดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงค่าสภาพการนำไฟฟ้าของคาร์บอนแบล็กที่ปริมาณ 10 20 และ 30 p/hr

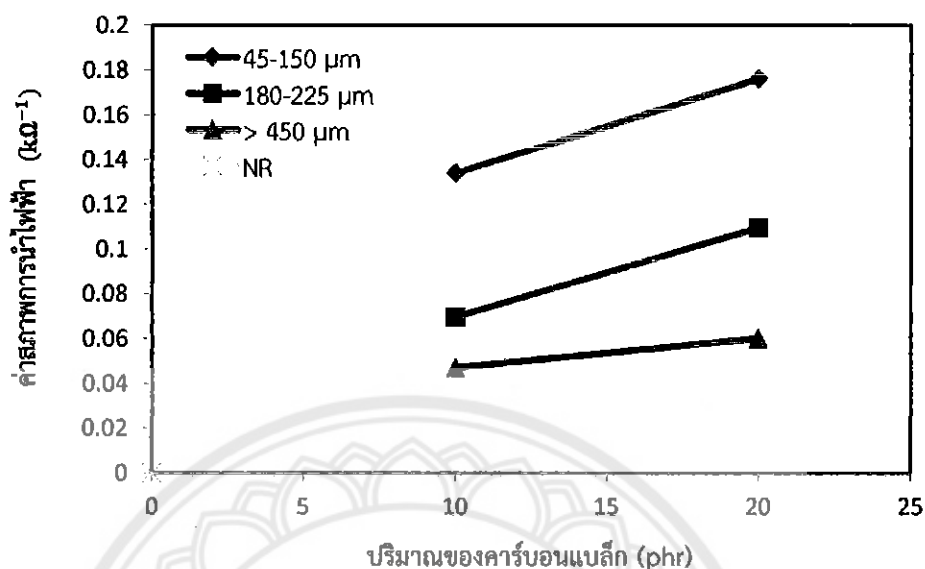
จากรูปที่ 4.1 แสดงค่าสภาพการนำไฟฟ้าของคาร์บอนแบล็กที่ปริมาณ 10 20 และ 30 Phr พบว่าแนวโน้มของค่าสภาพการนำไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของคาร์บอนแบล็ก โดยสังเกตได้อย่างชัดเจนจากเส้นกราฟของการเติมคาร์บอนแบล็กขนาด 45-150 ไมโครเมตร ที่ส่งผลให้ยางธรรมชาติที่มีสภาพความเป็นฉนวนอยู่ที่ 10^{14} หรือมีค่าสภาพการนำไฟฟ้าที่ $10^{-17} \text{ k}\Omega^{-1}$ มีค่าสภาพการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นประมาณ 10^{14} เท่า เมื่อเทียบกับยางที่เติมคาร์บอนแบล็ก 10 p/hr เมื่อเพิ่มปริมาณของคาร์บอนแบล็กเป็น 20 p/hr ค่าสภาพการนำไฟฟ้าเมื่อเทียบกับยางธรรมชาติมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 10^{16} เท่า และเมื่อเพิ่มปริมาณของคาร์บอนแบล็กไปจนถึง 30 p/hr ค่าสภาพการนำไฟฟ้าเมื่อเทียบกับยางธรรมชาติมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 2×10^{16} เท่า ซึ่งค่าก็จะเริ่มเข้าใกล้ค่าหนึ่งดังที่กล่าวมาข้างต้น เนื่องจากการเติมปริมาณของคาร์บอนแบล็กลงไปในเรื่องที่มีขีดจำกัดในการเติม เมื่อเติมมากขึ้นทำให้โมเลกุลของคาร์บอนแบล็กจับตัวกันเร็วขึ้นจนไม่สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้ ผลการทดลองในรูปที่ 4.1 จึงไม่สามารถที่จะบอกแนวโน้มของค่าสภาพการนำไฟฟ้าที่เริ่มเข้าใกล้ค่าหนึ่งได้

4.2.2 ผลของขนาดโมเลกุลของคาร์บอนแบล็กที่ส่งผลต่อสภาพการนำไฟฟ้าในยางธรรมชาติ

นอกจากปริมาณการเติมคาร์บอนแบล็กที่ส่งผลต่อ ค่าสภาพการนำไฟฟ้าในยางธรรมชาติแล้ว ผลของขนาดโมเลกุลของคาร์บอนแบล็กยังทำให้ค่าสภาพการนำไฟฟ้าในยางธรรมชาติเกิดการเปลี่ยนแปลงอีกด้วย ดังรูปที่ 4.1 พบว่าที่ขนาดโมเลกุล 45-150 ไมโครเมตร นำไฟฟ้าได้ดีกว่า ที่ขนาด 180-225 ไมโครเมตร และ ขนาดมากกว่า 450 ไมโครเมตร ตามลำดับ โดยเปรียบเทียบได้จากการเติมคาร์บอนแบล็กในปริมาณสูงสุดคือ 30 phr ที่ขนาดโมเลกุล 45-150 ไมโครเมตร ทำให้ค่าสภาพการนำไฟฟ้าเมื่อเปรียบเทียบกับยางธรรมชาติเพิ่มขึ้นประมาณ 2×10^{16} เท่า ที่ขนาด 180-225 ไมโครเมตร มีค่าสภาพการนำไฟฟ้าเมื่อเทียบกับยางธรรมชาติเพิ่มขึ้น 10^{16} เท่าและที่ขนาดมากกว่า 450 ไมโครเมตร มีค่าสภาพการนำไฟฟ้าเมื่อเทียบกับยางธรรมชาติเพิ่มขึ้นประมาณ 10^{13} เท่า ซึ่งจากข้อมูลพบว่าเมื่อขนาดโมเลกุลใหญ่ขึ้นค่าสภาพการนำไฟฟ้าจะลดลง เนื่องจากในปริมาณคาร์บอนแบล็กที่เท่ากัน โมเลกุลขนาดใหญ่ที่เข้าไปอยู่ในเนื้อยางกระจายตัวได้น้อยกว่าขนาดเล็ก ทำให้มีการเชื่อมต่อกันระหว่างโมเลกุลคาร์บอนแบล็กน้อยกว่าขนาดเล็ก ดังนั้นยางธรรมชาติที่เติมคาร์บอนแบล็กขนาดใหญ่จึงสามารถนำไฟฟ้าได้น้อยกว่ายางธรรมชาติที่เติมคาร์บอนแบล็กขนาดเล็กกว่า

4.2.3 ผลของปริมาณของคาร์บอนแบล็กที่ส่งผลต่อสภาพการนำไฟฟ้าในยางธรรมชาติผสมยางพาราผง

เนื่องจากยางพาราผงไม่สามารถทำการขึ้นรูปได้ จึงได้ทำการทดลองโดยการเติมยางพาราแบบผงลงในชิ้นงาน ซึ่งก็มีข้อจำกัดในการเติม คือสามารถเติมได้ในปริมาณสูงสุด 5 phr เพราะเมื่อเติมมากขึ้นทำให้ไม่สามารถขึ้นรูปได้ เนื่องจากยางพาราผงมีสถานะเป็นของแข็งทำให้มีโมเลกุลเข้าไปอยู่ในเนื้อยางเพิ่มมากขึ้น จนไม่สามารถเติมของแข็งชนิดใดลงไปได้อย่างได้อีก เช่นเดียวกับการเติมปริมาณคาร์บอนแบล็กที่เติมได้สูงสุดที่ปริมาณ 20 phr ได้ผลดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงค่าสภาพการนำไฟฟ้าของคาร์บอนแบล็กที่ปริมาณ 10 และ 20 Phr ของยางธรรมชาติผสมยางพาราผง

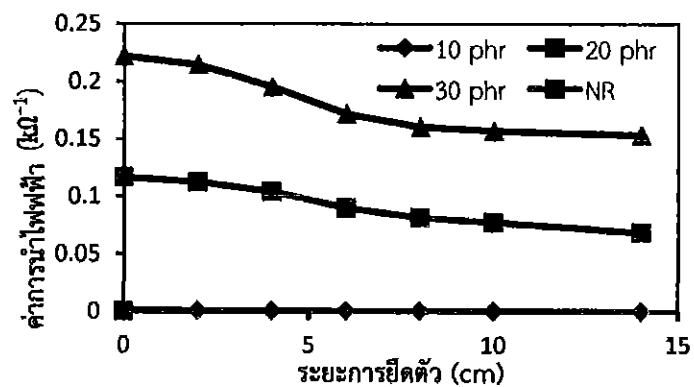
จากรูปที่ 4.2 แสดงค่าสภาพการนำไฟฟ้าของคาร์บอนแบล็กที่ปริมาณ 10 และ 20 phr ของยางธรรมชาติผสมยางพาราผง พบว่าแนวโน้มของค่าสภาพการนำไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของคาร์บอนแบล็ก โดยสังเกตได้จากเส้นกราฟของการเติมคาร์บอนแบล็กขนาด 45-150 ไมโครเมตร ที่ส่งผลให้ยางธรรมชาติที่มีสภาพความเป็นฉนวนอยู่ที่ 10^{14} Ω หรือมีค่าสภาพการนำไฟฟ้าที่ 10^{-17} kΩ⁻¹ มีค่าสภาพการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นประมาณ 10^{16} เท่า เมื่อเทียบกับยางที่เติมคาร์บอนแบล็ก 10 phr และเมื่อเพิ่มปริมาณของคาร์บอนแบล็กเป็น 20 phr ค่าสภาพการนำไฟฟ้าเมื่อเทียบกับยางธรรมชาติมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 10^{16} เท่า เช่นกัน ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของแต่ละขนาดก็จะมีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน คือเมื่อปริมาณคาร์บอนแบล็กเพิ่มมากขึ้นค่าการนำไฟฟ้าก็จะเพิ่มมากขึ้นจนเริ่มเข้าใกล้ค่าหนึ่งดังที่กล่าวไว้ข้างต้น

4.2.4 ผลของขนาดโมเลกุลของคาร์บอนแบล็กที่ส่งผลต่อสภาพการนำไฟฟ้าในยางธรรมชาติผสมยางพาราผง

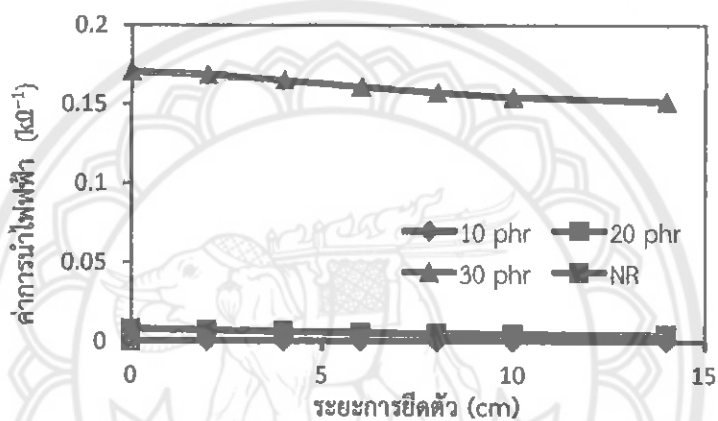
ดังที่กล่าวไว้ว่า นอกจากปริมาณการเติมคาร์บอนแบล็กที่ส่งผลต่อ ค่าสภาพการนำไฟฟ้าในยางธรรมชาติแล้ว ผลของขนาดโมเลกุลของคาร์บอนแบล็กยังทำให้ค่าสภาพการนำไฟฟ้าในยางธรรมชาติเกิดการเปลี่ยนแปลงอีกด้วย ดังรูปที่ 4.2 พบว่าที่ขนาดโมเลกุล 45-150 ไมโครเมตร นำไฟฟ้าได้ดีกว่า ที่ขนาด 180-225 ไมโครเมตร และ ที่ขนาดมากกว่า 450 ไมโครเมตร ตามลำดับ โดยเปรียบเทียบได้จากการเติมคาร์บอนแบล็กในปริมาณสูงสุดคือ 30 phr ที่ขนาดโมเลกุล 45-150 ไมโครเมตร ทำให้ค่าสภาพการนำไฟฟ้าเมื่อเปรียบเทียบกับยางธรรมชาติเพิ่มขึ้นประมาณ 10^{16} เท่า ที่ขนาดโมเลกุล 180-225 ไมโครเมตร มีค่าสภาพการนำไฟฟ้าเมื่อเทียบกับยางธรรมชาติเพิ่มขึ้น 10^{16} เท่า และที่ขนาดโมเลกุล มากกว่า 450 ไมโครเมตร มีค่าสภาพการนำไฟฟ้าเมื่อเทียบกับยางธรรมชาติเพิ่มขึ้นประมาณ 10^{15} เท่า ซึ่งจากข้อมูลพบว่าเมื่อขนาดโมเลกุลใหญ่ขึ้นค่าสภาพการนำไฟฟ้าจะลดลง

4.2.5 ผลของขนาดและปริมาณคาร์บอนแบล็กที่ส่งผลต่อค่าการนำไฟฟ้าระหว่างดิ่งยึด

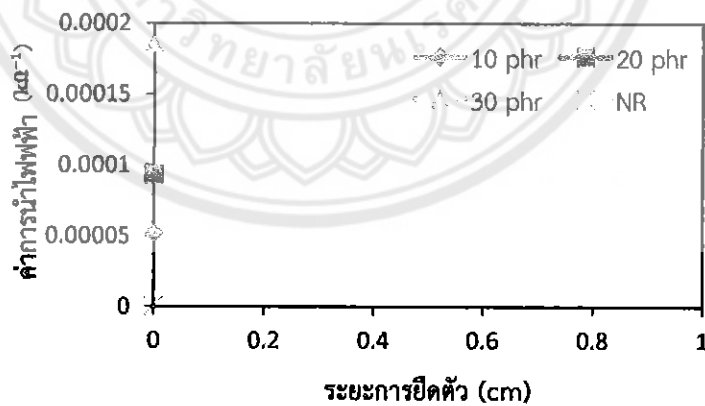
นอกจากการวัดค่าสภาพการนำไฟฟ้าของยางธรรมชาติแล้ว ยังได้ทำการทดลองการวัดค่าการนำไฟฟ้าระหว่างดิ่งยึด โดยวัดค่าการนำไฟฟ้าที่ระยะยึด 20-100 mm และระยะก่อนจุดขาด ซึ่งได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.3



(ก)



(ข)



(ค)

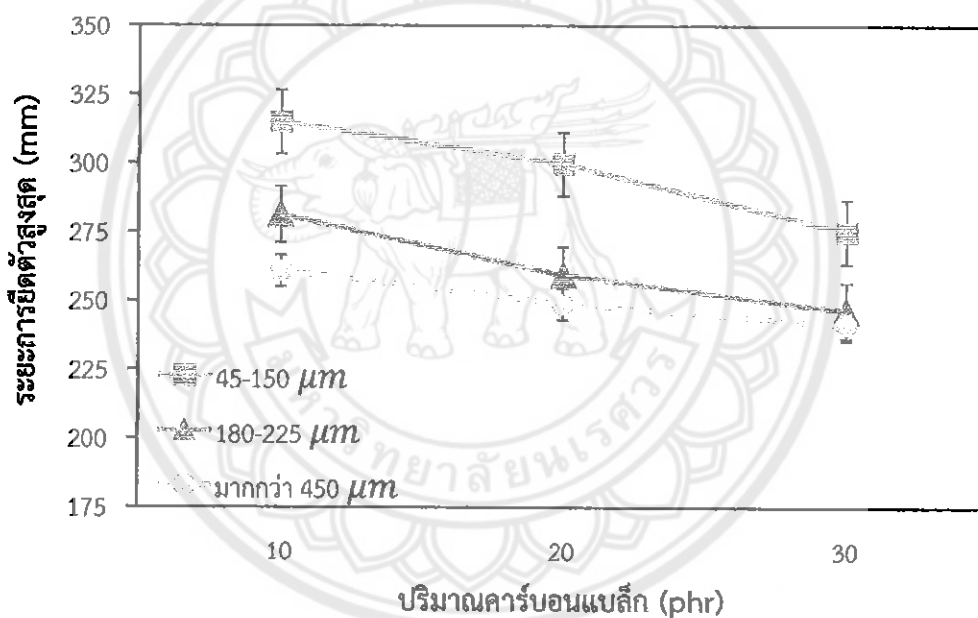
รูปที่ 4.3 (ก) ค่าการนำไฟฟ้าระหว่างดิ่งยัดของขนาด 45-150 ไมโครเมตร (ข) ค่าการนำไฟฟ้าระหว่างดิ่งยัดของขนาด 80-225 ไมโครเมตร (ค) ค่าการนำไฟฟ้าระหว่างดิ่งยัดของขนาดมากกว่า 450 ไมโครเมตร

จากรูปที่ 4.3 ค่าการนำไฟฟ้าระหว่างดิ่งยึด จะพบว่าค่าการนำไฟฟ้าในแต่ละปริมาณการเติมคาร์บอนแบล็กจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะยึดเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของคาร์บอนแบล็กเกิดการขยายและการเชื่อมต่อกันของคาร์บอนแบล็กลดน้อยลง จึงทำให้ค่าการนำไฟฟ้าลดลงไปด้วย จากกราฟค่าการนำไฟฟ้าที่ดีที่สุดคือที่ขนาดของคาร์บอนแบล็ก 45-150 ไมโครเมตร ในปริมาณการเติมคาร์บอนแบล็ก 30 phr ดังรูปที่ 4.3 (ก) ซึ่งที่เริ่มต้นสภาพการนำไฟฟ้าก่อนการดิ่งยึดนั้น มีค่าสภาพการนำไฟฟ้าเมื่อเทียบกับยางธรรมชาติเพิ่มขึ้นประมาณ 2×10^{16} เท่า และเมื่อวัดค่าการนำไฟฟ้าระหว่างดิ่งโดยเพิ่มระยะไปเรื่อยๆจะมีค่าการนำไฟฟ้าลดลง จนถึงค่าการนำไฟฟ้าก่อนจุดขาดเมื่อเทียบกับยางธรรมชาติมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 10^{16} เท่า ซึ่งมีค่าลดลงจากเดิม อันเนื่องมาจากการเรียงตัวของโมเลกุลในเนื้อยางนั้น เมื่อเนื้อยางเกิดการขยาย ทำให้โมเลกุลของคาร์บอนแบล็กมีการขยับเลื่อนห่างออกจากกันมากขึ้นเรื่อยๆ จึงทำให้สมบัติการนำไฟฟ้ามีค่าลดลงตามระยะของการยึด โดยในแต่ละปริมาณจะมีแนวโน้มแบบเดียวกันทั้งหมด แต่ในส่วนของการผสมคาร์บอนแบล็กขนาดมากกว่า 450 ไมโครเมตรนั้น แสดงผลดังรูปที่ 4.3 (ค) เมื่อทำการยึดระยะออกจากกัน จะไม่สามารถวัดค่าการนำไฟฟ้าได้ เนื่องจากโมเลกุลของคาร์บอนแบล็กกับยางถูกยึดทำให้โมเลกุลของคาร์บอนแบล็กที่เชื่อมติดกับยางเกิดการขยับจนเสียรูปจึงไม่สามารถวัดค่าการนำไฟฟ้าได้

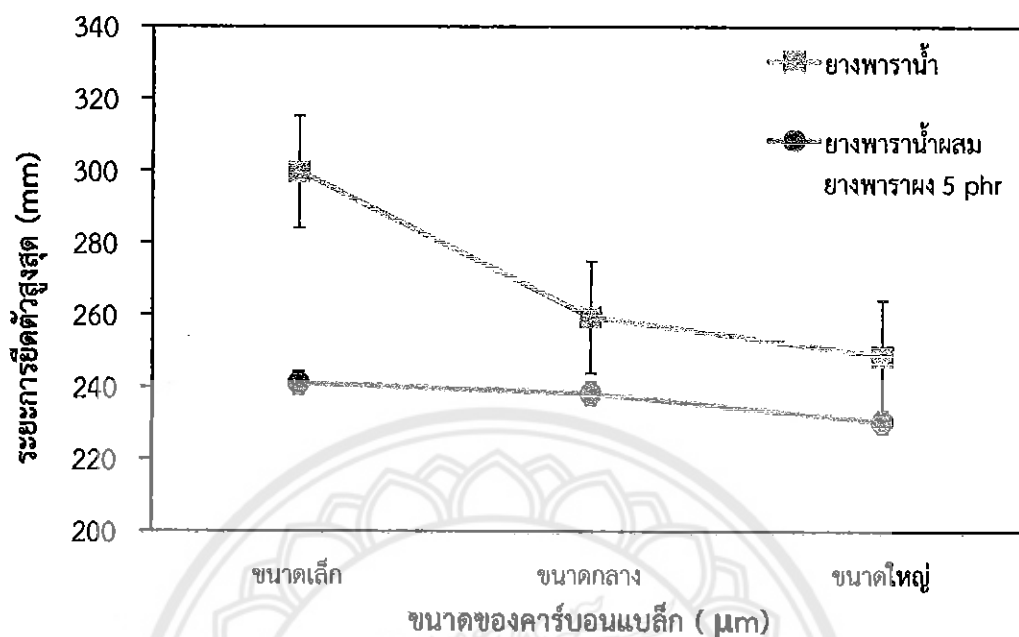
4.3 การศึกษาสมบัติเชิงกลที่เป็นผลมาจากการใส่คาร์บอนแบล็ก

4.3.1 การศึกษาสมบัติเชิงกลที่เป็นผลมาจากการใส่คาร์บอนแบล็กโดยการวัดค่าระยะการยืดตัวสูงสุด

การศึกษาสมบัติเชิงกลที่เป็นผลจากการใส่คาร์บอนแบล็กโดยการวัดค่าระยะการยืดตัวสูงสุดในงานวิจัยนี้จะทำการวัดระยะยืดตัวสูงสุดที่จุดขาดของชิ้นงานโดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่เป็นยางพาราแบบน้ำ และส่วนที่เป็นยางพาราแบบยางน้ำผสมยางผงที่ 5 phr และจากนั้นทำการเติมด้วยคาร์บอนแบล็กที่มีโมเลกุลที่มีขนาดเล็ก โมเลกุลขนาดกลาง และโมเลกุลขนาดใหญ่ โดยในช่วงการเติมคาร์บอนแบล็กที่ 10 phr 20 phr และ 30 phr โดยได้ผลจากการศึกษาดังนี้



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่าระยะการยืดตัวสูงสุดของยางพาราแบบน้ำ ต่อปริมาณของคาร์บอนแบล็กที่ขนาดโมเลกุลต่างๆ

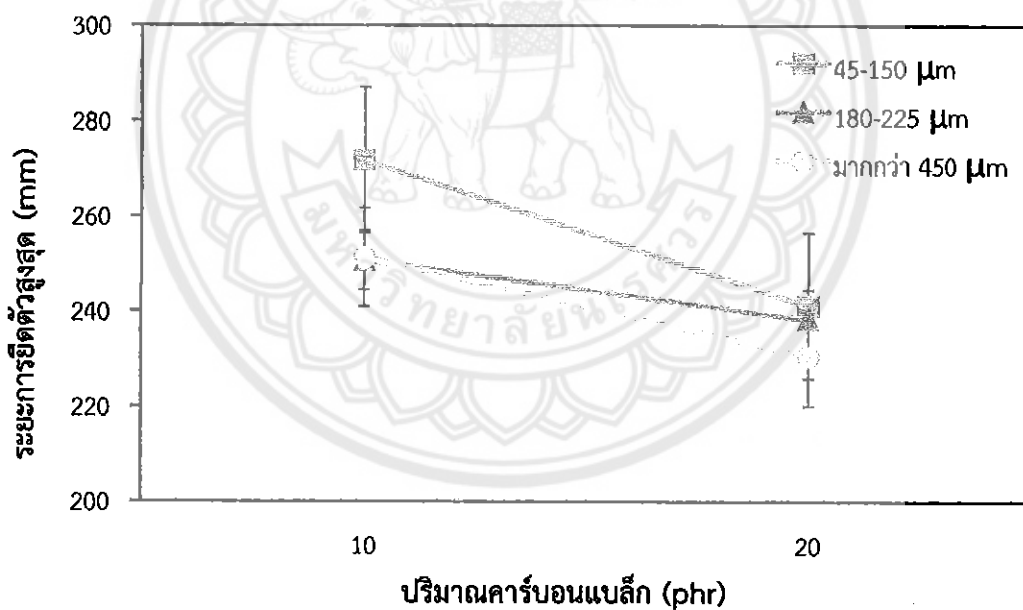


รูปที่ 4.5 กราฟแสดงค่าระยะการยืดตัวสูงสุดของยางพาราแบบน้ำผสมยางพาราแบบผงที่ 5 phr ต่อปริมาณของคาร์บอนแบล็กที่ขนาดโมเลกุลต่างๆ

รูปที่ 4.4 และ รูปที่ 4.5 แสดงค่าระยะการยืดตัวสูงสุดที่จุดขาดของยางธรรมชาติแบบน้ำ และยางพาราแบบน้ำผสมยางพาราแบบผงที่ 5 phr ที่มีการเติมคาร์บอนแบล็กโดยเปรียบเทียบตามขนาดของคาร์บอนแบล็กที่เรียงจากขนาดเล็ก ($45-150 \mu\text{m}$) ไปจนถึงขนาดใหญ่ (มากกว่า $450 \mu\text{m}$) ซึ่งจะแสดงให้เห็นแนวโน้มของระยะการยืดตัวสูงสุดที่จุดขาดจนถึงช่วงของปริมาณคาร์บอนแบล็กที่ 30 phr ซึ่งจากในรูปที่ 4.4 คาร์บอนแบล็กที่มีขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ มีแนวโน้มของระยะการยืดตัวสูงสุดที่จุดขาดลดลง

เมื่อนำค่าไปเปรียบเทียบกับระยะการยืดตัวสูงสุดที่จุดขาดของยางธรรมชาติที่ไม่ได้ผสมคาร์บอนแบล็ก ซึ่งมีค่า 330.517 mm จะพบว่าค่าระยะการยืดตัวสูงสุดของยางธรรมชาติที่ไม่ได้ผสมคาร์บอนแบล็กมีค่าสูงที่สุด เนื่องจากยางธรรมชาติโดยปกติจะเกิดพันธะโคเวเลนต์กันระหว่างโมเลกุลของยางธรรมชาติเองทำให้มีสมบัติในด้านการยืดตัวสูงมาก และที่ปริมาณการเติมคาร์บอนแบล็กที่ 10 phr, 20 phr และ 30 phr มีค่าการยืดตัวสูงสุดลดลงตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของ วัชรพันธุ์ มณีรัตน์ [3] ที่ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงสมบัติการนำไฟฟ้าของยางธรรมชาติโดยใช้คาร์บอนแบล็ก จากผลการวิจัยพบว่า เมื่อมีการผสมคาร์บอนแบล็กในยางธรรมชาติ จะทำให้ส่วนหนึ่งของยางธรรมชาติ

เกิดเป็นพันธะโคเวเลนต์กับคาร์บอนแบล็กเป็นยางบาวด์ จะเป็นยางส่วนที่ติดกับอนุภาคของสารตัวเติมคาร์บอนแบล็ก ถ้ามีปริมาณของยางบาวด์มาก แสดงว่ายางกับสารตัวเติมเกิดปฏิกิริยาต่อกันได้ดี ทำให้จำนวนโมเลกุลของยางธรรมชาติที่เป็นมอนอเมอร์ที่มีโครงสร้างเกิดเป็นพอลิเมอร์มีจำนวนน้อยลง ทำให้ความแข็งแรงของโมเลกุลของพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติที่เติมคาร์บอนแบล็กมีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับยางธรรมชาติที่ไม่ได้เติมคาร์บอนแบล็ก ค่าร้อยละการดึงยึดของคาร์บอนแบล็กขนาดเล็ก (45-150 μm) จะมีค่าร้อยละการดึงยึดสูงกว่ายางธรรมชาติที่เติมคาร์บอนแบล็กขนาดกลาง (180-225 μm) และขนาดใหญ่ (มากกว่า 450 μm) เนื่องจากมีลักษณะการเรียงตัวระหว่างอนุภาคมีการเกาะเรียงตัวเป็นร่างแหซึ่งช่วยในการเสริมแรงมากขึ้น ทำให้เมื่อมีการดึงยึดมากขึ้นคาร์บอนแบล็กจะช่วยเสริมแรงให้ยางสามารถยืดไปได้มากขึ้น และตรงกันข้ามกับคาร์บอนแบล็กที่มีขนาดใหญ่ยังมีการเรียงตัวเป็นร่างแหไม่มากนัก นอกจากนี้คาร์บอนแบล็กที่เป็นโมเลกุลใหญ่มีการกระจายตัวแบบเป็นกลุ่มของคาร์บอนแบล็กเมื่อมีการดึงแล้วจึงทำให้สามารถยืดได้ไม่มากเท่าคาร์บอนแบล็กที่มีขนาดโมเลกุลเล็ก

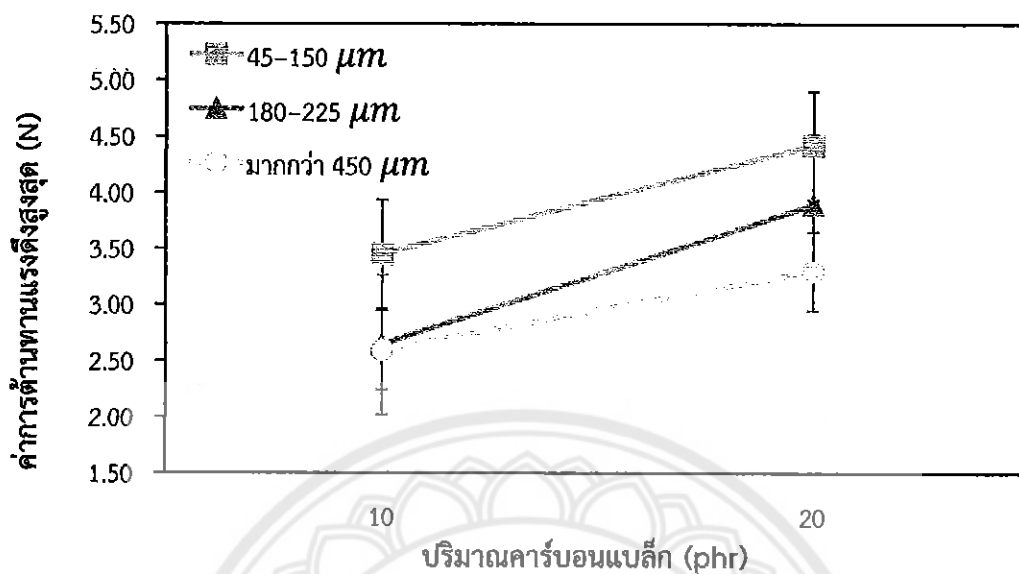


รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการยืดตัวสูงสุด กับขนาดของคาร์บอนแบล็กที่ปริมาณการเติม 20 phr ของยางพาราแบบน้ำ และแบบน้ำผสมแบบผงที่ 5 phr

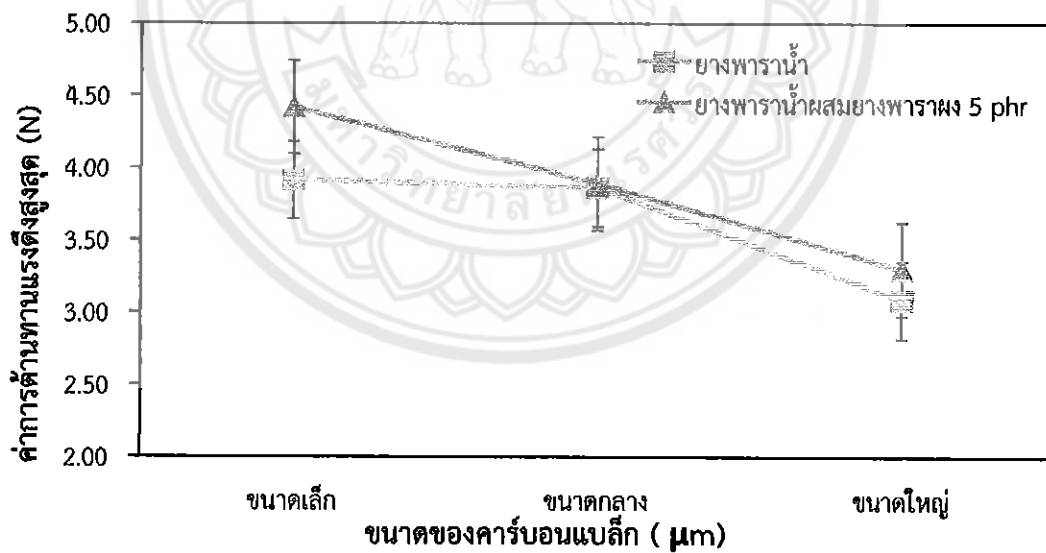
รูปที่ 4.6 เป็นการศึกษาผลของระยะระยะการยึดตัวสูงสุด กับขนาดของคาร์บอนแบล็กที่ปริมาณการเติม 20 phr ของยางพาราแบบน้ำ และยางพาราแบบน้ำผสมแบบผงที่ 5 phr ซึ่งจากกราฟจะเห็นว่ายางพาราแบบน้ำที่ 20 phr มีค่าร้อยละการยึดตัวที่สูงกว่ายางพาราแบบน้ำผสมแบบผงที่ 5 phr เนื่องจากยางพาราแบบน้ำมีการจับกันของเนื้อยางได้มากกว่ายางพาราแบบน้ำผสมกับยางแบบผง เพราะอาจมีผงของยางพาราและคาร์บอนแบล็กที่เข้าไปจับกับเนื้อยางไม่ได้มาจับรวมกันมากขึ้นเป็นกลุ่มก้อน ทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลมีค่าน้อยกว่า เมื่อทำการดึงยึดจึงทำให้ระยะยึดของยางแบบน้ำผสมกับแบบผงมีค่าระยะการยึดตัวสูงสุดลดลง และที่ขนาดโมเลกุลใหญ่ขึ้นก็ยิ่งมีค่าของระยะการยึดตัวสูงสุดลดลงเช่นกัน

4.3.2 การศึกษาสมบัติเชิงกลที่เป็นผลมาจากการใส่คาร์บอนแบล็กโดยการวัดค่าความต้านทานแรงดึง

การวัดค่าความต้านทานแรงดึงเพื่อทดสอบสมบัติของยางที่ทนต่อการถูกดึง ที่ร้อยละของการดึงยึด พบว่าค่าแรงดึงยึด มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อปริมาณคาร์บอนแบล็กมากขึ้น จนถึงปริมาณคาร์บอนแบล็ก 30 phr โดยจะทำการวัดค่าโดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่เป็นยางพาราแบบน้ำ และส่วนที่เป็นยางพาราแบบยางน้ำผสมยางผงที่ 5 phr และเติมด้วยคาร์บอนแบล็กที่โมเลกุลที่มีขนาดเล็ก โมเลกุลขนาดกลาง และโมเลกุลขนาดใหญ่ ในปริมาณการเติมคาร์บอนแบล็กที่ 10 phr 20 phr และ 30 phr โดยได้ผลจากการศึกษาดังนี้

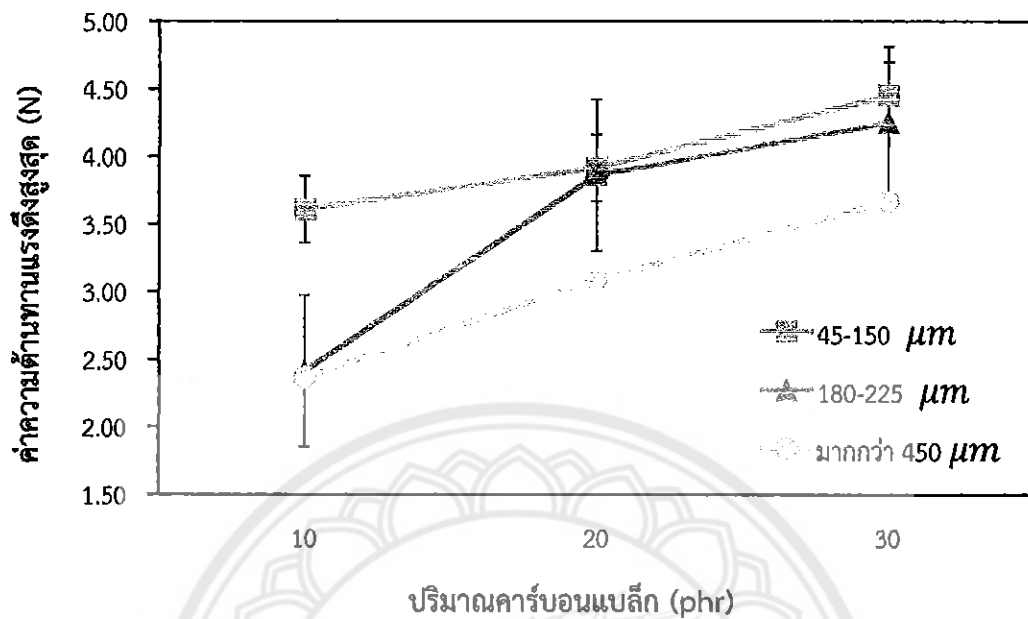


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด (N) ของยางธรรมชาติ ต่อค่าปริมาณคาร์บอนแบล็ก (phr) ที่แต่ละขนาด



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด (N) ของยางธรรมชาติแบบน้ำผสมแบบมงที่ 5 phr ต่อค่าปริมาณคาร์บอนแบล็ก (phr) ที่แต่ละขนาด

รูปที่ 4.7 และรูปที่ 4.8 เป็นการศึกษาผลของสมบัติเชิงกลที่เป็นผลมาจากการใส่คาร์บอนแบล็ก โดยการวัดค่าความต้านทานแรงดึงของยางพาราแบบน้ำ และยางพาราแบบน้ำผสมแบบผงปริมาณที่ 5 phr จากการศึกษาพบว่าที่ปริมาณการเติมคาร์บอนแบล็กที่ 10 phr มีค่าน้อยกว่าค่าความต้านทานแรงดึงของยางธรรมชาติที่ไม่ได้เติมคาร์บอนแบล็ก เนื่องมาจากว่าปริมาณของสารเสริมแรงที่เติมมีค่าน้อยเกินไปที่จะทำให้ยางพารามีความแข็งแรงขึ้น ดังที่กล่าวไว้ข้างต้นว่าเมื่อมีการเติมคาร์บอนแบล็กเข้ามาในยางธรรมชาติ คาร์บอนแบล็กบางส่วนจะมีการไปจับตัวกับเนื้อยางเพื่อสร้างพันธะโควาเลนต์กับเนื้อยางทำให้ยางมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น เมื่อมีปริมาณของคาร์บอนแบล็กน้อยทำให้เหลือยางอิสระที่จะก่อตัวเป็นโครงสร้างเพื่อเสริมแรงไม่มากพอที่จะทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงที่ใช้การดึงยึดมีค่าน้อยกว่า เมื่อเทียบกับค่าความต้านทานแรงดึงของยางที่ไม่ผสมคาร์บอนแบล็ก แต่เมื่อเพิ่มปริมาณคาร์บอนแบล็กค่าของแรงดึงสูงสุดจะมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ วัชรพันธุ์ มณีรัตน์ [3] ที่ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงสมบัติการนำไฟฟ้าของยางธรรมชาติโดยใช้คาร์บอนแบล็ก จากการศึกษาพบว่าที่ปริมาณคาร์บอนแบล็กเพิ่มขึ้นจะมีการจับตัวกันของคาร์บอนแบล็กกับเนื้อยางเรียงตัวกันเป็นโครงสร้างร่างแหทำให้คาร์บอนแบล็กทำหน้าที่เสริมแรงได้มากขึ้นเมื่อมีการดึงยึดที่ยังไม่ทำให้เกิดการเสียสภาพการยึดเกาะกันระหว่างยางกับอนุภาคคาร์บอนแบล็ก ทำให้มีค่าของแรงดึงเพิ่มสูงขึ้น และขนาดโมเลกุลของคาร์บอนแบล็กที่ขนาดเล็กจะมีค่าของแรงดึงสูงกว่าที่ขนาดโมเลกุลคาร์บอนแบล็กที่ใหญ่ เนื่องจากมีการเชื่อมต่อกันระหว่างพันธะโควาเลนต์ของยางกับคาร์บอนแบล็กได้ดีกว่า ทำให้มีค่าแรงดึงสูงกว่าของโมเลกุลขนาดใหญ่

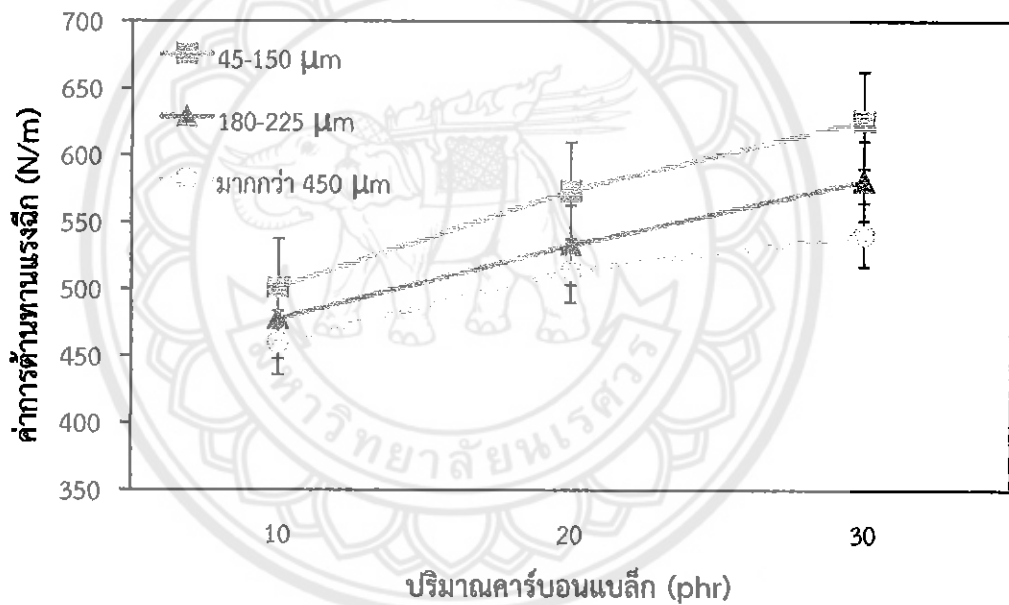


รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการต้านทานแรงดึงสูงสุด กับขนาดของคาร์บอนแบล็กที่ ปริมาณการเติม 20 phr ของยางพาราแบบน้ำ และแบบน้ำผสมแบบผงที่ 5 phr

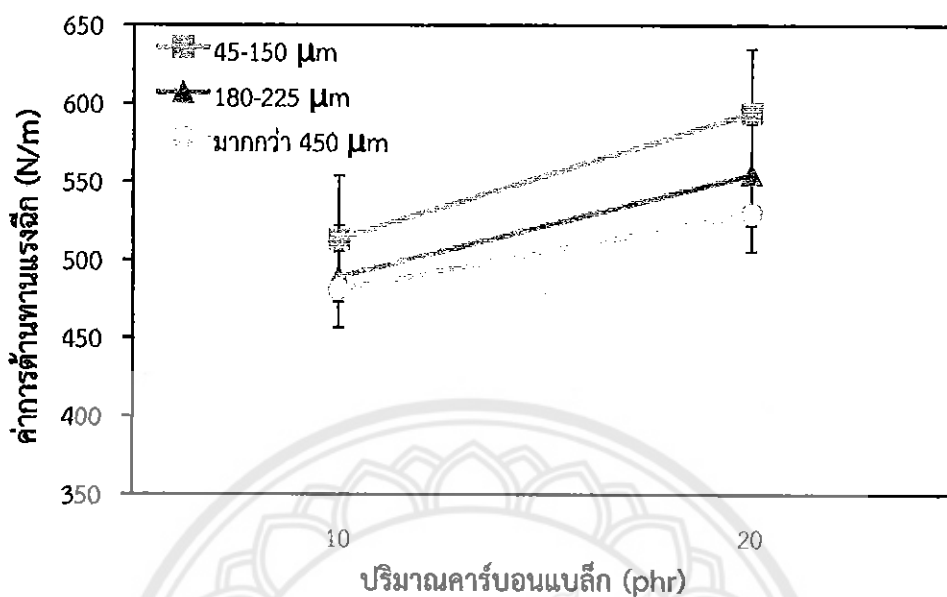
รูปที่ 4.9 จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการต้านทานแรงดึงสูงสุด กับขนาดของคาร์บอนแบล็กที่ปริมาณการเติม 20 phr ของยางพาราแบบน้ำ และยางพาราแบบน้ำผสมแบบผงที่ 5 phr จะแสดงให้เห็นว่าที่ขึ้นงานยางพาราแบบน้ำผสมแบบผงที่มีขนาดเล็กที่ 20 phr มีค่าการต้านทานแรงดึงสูง เนื่องจากอนุภาคของโมเลกุลของขนาดเล็กมีการทำปฏิกิริยากับพันธะของยางได้ดีทำให้ช่วยเสริมแรงได้ดีจึงมีค่าการต้านทานแรงดึงสูงมากกว่ายางพาราแบบน้ำ เพราะยางพาราแบบน้ำผสมแบบผงมีคาร์บอนแบล็กและยางผงเป็นตัวที่เข้าไปจับกับโมเลกุลของยางเพิ่มนอกจากคาร์บอนแบล็กที่ใส่เข้าไปจึงช่วยเสริมแรงทำให้มีค่าการต้านทานแรงดึงสูง และที่โมเลกุลขนาดใหญ่ที่ 20 phr นั้นมีค่าแรงดึงต่ำที่สุดเนื่องจากโมเลกุลใหญ่มีพื้นที่ผิวในการจับกับโมเลกุลของยางที่ทำให้เกิดโครงสร้างน้อยกว่าผงขนาดเล็ก

4.3.3 การศึกษาสมบัติเชิงกลที่เป็นผลมาจากการใส่คาร์บอนแบล็กโดยการวัดค่าความต้านทานแรงฉีก

การศึกษานี้จะศึกษาสมบัติเชิงกลที่เป็นผลมาจากการใส่คาร์บอนแบล็กโดยการวัดค่าความต้านทานแรงฉีกเพื่อวัดความต้านทาน ต่อการฉีกขาด หรือความแข็งแรงในพันธะโควาเลนต์ของชิ้นงานตามแนวนอน จากกราฟแสดงข้อมูลมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อปริมาณคาร์บอนแบล็กมากขึ้น จนถึงปริมาณคาร์บอนแบล็ก 30 phr โดยจะทำการวัดค่าโดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่เป็นยางพาราแบบน้ำ และส่วนที่เป็นยางพาราแบบยางน้ำผสมยางผงที่ 5 phr และเติมด้วยคาร์บอนแบล็กที่โมเลกุลที่มีขนาดเล็ก โมเลกุลขนาดกลาง และโมเลกุลขนาดใหญ่ ในปริมาณของการเติมคาร์บอนแบล็กที่ 10 phr 20 phr และ 30 phr โดยได้ผลจากการศึกษาดังนี้

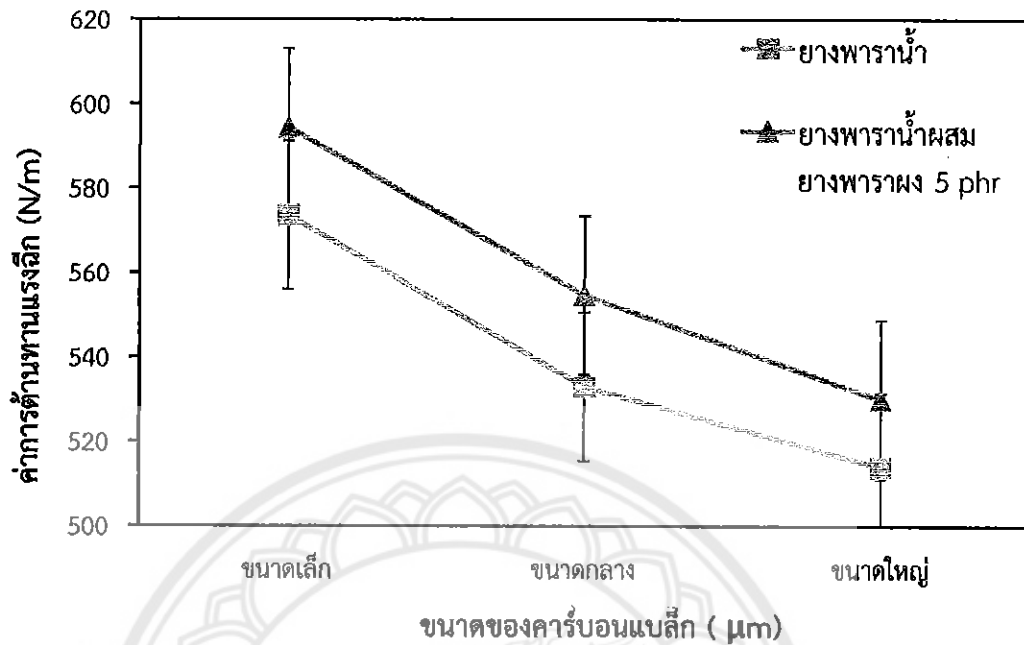


รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความต้านทานแรงฉีก (N/m) ของยางธรรมชาติต่อค่าปริมาณคาร์บอนแบล็ก (phr) ที่แต่ละขนาด



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด (N) ของยางธรรมชาติแบบน้ำผสมแบบผงที่ 5 phr ต่อค่าปริมาณคาร์บอนแบล็ก (phr) ที่แต่ละขนาด

รูปที่ 4.10 และรูปที่ 4.11 เป็นการศึกษาสมบัติเชิงกลที่เป็นผลมาจากการใส่คาร์บอนแบล็กโดยการวัดค่าความต้านทานแรงฉีกของยางพาราแบบน้ำ และยางพาราแบบน้ำผสมแบบผงที่ 5 phr จากกราฟเมื่อทำการพิจารณาปริมาณของคาร์บอนแบล็ก แสดงให้เห็นว่าค่าความต้านทานการฉีกขาดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณคาร์บอนแบล็กเพิ่มขึ้น ส่วนค่าความต้านทานแรงฉีกจะลดลงเมื่ออนุภาคของคาร์บอนแบล็กมีขนาดเพิ่มขึ้น ซึ่งจะสอดคล้องกับงานวิจัยของ ณัฐพร มโนอิม และคณะ [25] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการศึกษาอิทธิพลของขนาดและปริมาณของคาร์บอนแบล็กที่มีผลต่อสมบัติการคงรูปและสมบัติเชิงกลของยาง HNBR ซึ่งจะทำให้ทราบว่าในขณะที่ทดสอบแรงจะถูกถ่ายโอนไปยังสายโซ่โมเลกุลยางลดน้อยลง ประกอบกับเกิดการสะสมพลังงานไว้ที่บริเวณร่องบากของชิ้นงานทดสอบส่งผลให้ชิ้นงานทดสอบที่มีโมเลกุลใหญ่นั้นขาดได้ง่าย เมื่อเปรียบเทียบค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดของคาร์บอนแบล็กแต่ละชนิด พบว่าคาร์บอนแบล็กที่ขนาดโมเลกุลเล็กมีความสามารถในการต้านทานต่อการฉีกขาดสูงที่สุด และที่คาร์บอนแบล็กโมเลกุลขนาดใหญ่มีค่าการต้านทานแรงฉีกที่ต่ำกว่าเนื่องจากที่โมเลกุลขนาดใหญ่มีการจับตัวกันเป็นกลุ่มของคาร์บอนแบล็กในชิ้นงานเมื่อทำการทดสอบทำให้มีค่าความต้านทานแรงฉีกต่ำ ซึ่งค่าของแรงฉีกจะสอดคล้องกับค่าความต้านทานแรงดึง



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการต้านทานแรงฉีก กับขนาดของคาร์บอนแบล็กที่ปริมาณการเติม 20 phr ของยางพาราแบบน้ำ และแบบน้ำผสมแบบผงที่ 5 phr

รูปที่ 4.12 จากการศึกษาสมบัติเชิงกลที่เป็นผลมาจากการใส่คาร์บอนแบล็กโดยการวัดค่าความต้านทานแรงฉีก จากกราฟจะเห็นได้ว่ายางพาราแบบน้ำผสมแบบผงที่ 5 phr มีค่าความต้านทานแรงฉีกสูงกว่าแบบที่เป็นยางธรรมชาติผสมกับคาร์บอนแบล็ก เนื่องจากว่ายางพาราแบบน้ำผสมยางผงที่ 5 phr นั้นมีปริมาณของคาร์บอนแบล็กและของยางพาราแบบผงที่กระจายตัวเข้าไปจับยึดกับตัวของเนื้อยางได้อย่างพอดี นอกจากจะมีสารเสริมแรงที่เป็นคาร์บอนแบล็กแล้วยังมีผงของยางพาราที่ช่วยกระจายตัวเข้าไปจับยึดกับโมเลกุลของยางเพื่อช่วยเพิ่มแรงระหว่างพันธะโคเวเลนต์ของชิ้นงานที่เป็นยางพาราแบบน้ำผสมยางพาราแบบผงที่ 5 phr ได้อีก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ณัฐพร มโนอิม และคณะ [25] ที่ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการศึกษาอิทธิพลของขนาดและปริมาณเขม่าดำที่มีผลต่อสมบัติการคงรูปและสมบัติเชิงกลของยาง HNBR ดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น และนอกจากนี้ขนาดโมเลกุลขนาดเล็กนั้นเมื่อทำการเพิ่มสารตัวเติมก็จะทำให้มีค่าความต้านทานต่อแรงฉีกเพิ่มมากขึ้นโดยมีค่ามากที่สุดที่จุดที่ 30 phr

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 การศึกษาสมบัติการนำไฟฟ้าของยาง

ในการศึกษาผลของปริมาณของคาร์บอนแบล็กที่ส่งผลต่อค่าการนำไฟฟ้าในยางธรรมชาตินั้น แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือแบบที่ใช้น้ำยางธรรมชาติ และแบบที่ใช้น้ำยางธรรมชาติผสมยางพาราผงลงไป 5 phr ซึ่งผลการทดลองพบว่าสภาพการนำไฟฟ้าของทั้ง 2 แบบ มีค่าใกล้เคียงกัน และเมื่อเปรียบเทียบที่ปริมาณการเติมคาร์บอนแบล็ก พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของคาร์บอนแบล็กมากขึ้นจะทำให้ค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นด้วย ดังชิ้นงานที่มีสภาพการนำไฟฟ้าดีที่สุดคือที่ขนาด 45-150 ไมโครเมตร ที่ปริมาณการเติม 10 phr เมื่อเทียบกับยางธรรมชาติมีค่าสภาพการนำไฟฟ้าประมาณ 10^{14} เท่า และเมื่อเพิ่มปริมาณของคาร์บอนแบล็กไปจนถึง 30 phr ค่าสภาพการนำไฟฟ้าเมื่อเทียบกับยางธรรมชาตินั้นจะเพิ่มขึ้นประมาณ 10^{16} เท่า

ในการศึกษาผลของขนาดโมเลกุลของคาร์บอนแบล็กที่ส่งผลต่อค่าการนำไฟฟ้าในยางธรรมชาตินั้น พบว่าเมื่อขนาดของคาร์บอนแบล็กมีขนาดใหญ่ขึ้นค่าสภาพการนำไฟฟ้าจะมีค่าลดลง ดังเช่นที่ปริมาณการเติมสูงสุดคือ 30 phr ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของขนาด 45-150 ไมโครเมตร เมื่อเทียบกับยางธรรมชาติเพิ่มขึ้น 10^{16} เท่า ส่วนค่าการนำไฟฟ้าของขนาดมากกว่า 450 ไมโครเมตร เมื่อเทียบกับยางธรรมชาติเพิ่มขึ้น 10^{13} เท่า

ในการศึกษาค่าการนำไฟฟ้าระหว่างดิ่งยึดนั้น พบว่า เมื่อระยะการดิ่งยึดเพิ่มมากขึ้นค่าการนำไฟฟ้าจะลดลงเรื่อยๆ ตามระยะของการยึดตัว ซึ่งที่เริ่มต้นสภาพการนำไฟฟ้าก่อนการดิ่งยึดนั้น มีค่าสภาพการนำไฟฟ้าเมื่อเทียบกับยางธรรมชาติเพิ่มขึ้นประมาณ 2×10^{16} เท่า และเมื่อวัดค่าการนำไฟฟ้าระหว่างดิ่งโดยเพิ่มระยะไปเรื่อยๆจะมีค่าการนำไฟฟ้าลดลง จนถึงค่าการนำไฟฟ้าก่อนจุดขาดเมื่อเทียบกับยางธรรมชาติมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 10^{16} เท่า ซึ่งมีค่าลดลงจากเดิม

5.2 การศึกษาสมบัติเชิงกลของยาง

ในการศึกษาสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติที่ผสมคาร์บอนแบล็กที่ขนาดและปริมาณต่างๆ ทำการเปรียบเทียบผลของยางพาราที่ไม่ได้เติมคาร์บอนแบล็กกับชิ้นงานของยาง 2 รูปแบบ 1) ยางพาราแบบน้ำ 2) ยางพาราแบบน้ำผสมยางพาราแบบผงที่ 5 phr

ในการศึกษาระยะการดิ่งยึดสูงสุดที่จุดขาดของยางพาราที่ไม่มีการเติมคาร์บอนแบล็กมีค่าระยะการดิ่งยึดที่จุดขาดสูงสุดที่ 330.517 มิลลิเมตร ซึ่งมีค่าระยะยึดสูงสุดที่มากกว่ายางพาราแบบน้ำมีระยะยึดตัวที่ดีที่สุดที่ขนาดของคาร์บอนแบล็กที่ 45 - 150 ไมโครเมตร และปริมาณการเติมที่ 10 phr มีค่าระยะการยึด

สูงสุดที่จุดขาดที่ 314.980 มิลลิเมตร และยางพาราแบบน้ำผสมแบบผงที่ขนาด 45 – 150 ไมโครเมตร ปริมาณการเติมคาร์บอนแบล็กที่ 10 phr มีค่าระยะการยึดตัวสูงสุดที่จุดขาดที่ 271.27 มิลลิเมตร ตามลำดับ และค่าระยะการยึดตัวสูงสุดที่จุดขาดมีแนวโน้มลดลง เมื่อมีปริมาณการเติมของคาร์บอนแบล็กมากขึ้น และขนาดของคาร์บอนแบล็กที่เติมมีขนาดใหญ่ขึ้น

ในการศึกษาค่าการต้านทานแรงดึงสูงสุดของยาง ยางแบบน้ำผสมยางพาราแบบผงมีค่าสูงที่สุดที่ ปริมาณการผสมคาร์บอนแบล็กที่ 20 phr ขนาด 45 – 150 ไมโครเมตรมีค่าอยู่ที่ 4.4180 นิวตัน ซึ่งมีค่า มากกว่ายางพาราแบบน้ำที่ 20 phr ขนาด 45 – 150 ไมโครเมตรที่มีค่าอยู่ที่ 3.9145 ไมโครเมตร ซึ่งจะ เห็นว่าทั้ง 2 รูปแบบของชิ้นงานมีค่าการต้านทานการดึงยึดดีมากกว่ายางพาราที่ไม่ได้เติมคาร์บอนแบล็ก และมีแนวโน้มของค่าการต้านทานแรงดึงสูงขึ้นเมื่อมีปริมาณการเติมคาร์บอนแบล็กมากขึ้น แต่ถ้า คาร์บอนแบล็กมีขนาดเพิ่มขึ้นแนวโน้มของค่าการต้านทานแรงดึงจะลดลง

ในการศึกษาค่าการต้านทานแรงฉีกสูงสุดของยาง ยางพาราแบบน้ำผสมยางพาราแบบผงมีค่าการ ต้านทานแรงฉีกมากที่สุดที่ปริมาณการเติมคาร์บอนแบล็กที่ 20 phr ขนาด 45 – 150 ไมโครเมตรมีค่า เท่ากับ 594.317 N/m มากกว่ายางพาราแบบน้ำที่มีปริมาณการเติมของคาร์บอนแบล็ก 20 phr ที่มี ขนาด 45 – 150 ไมโครเมตรที่มีค่าอยู่ที่ 573.573 N/m ซึ่งมากกว่ายางพาราที่ไม่ได้เติมคาร์บอนแบล็ก และมีแนวโน้มของค่าการต้านทานแรงฉีกสูงขึ้นเมื่อปริมาณการเติมคาร์บอนแบล็กเพิ่มมากขึ้น แต่จะมี แนวโน้มของค่าการต้านทานแรงฉีกลดลงเมื่อขนาดโมเลกุลของคาร์บอนแบล็กที่เติมลงไปมีขนาดใหญ่ขึ้น

5.3 ข้อเสนอแนะ

ในโครงการนี้ได้ทำการศึกษาสมบัติเชิงกลและสมบัติเชิงไฟฟ้าของยางธรรมชาติที่ผสมคาร์บอนแบล็ก ที่ขนาด และปริมาณต่างๆ ในการขึ้นรูปชิ้นงานยางเพื่อทำให้มีคุณสมบัติที่ดี ทั้งนี้เพื่อนำไปศึกษา เปรียบเทียบสมบัติเชิงกลและสมบัติเชิงไฟฟ้า เพื่อเป็นแนวทางการปรับปรุงสมบัติเชิงกล ค่าการนำไฟฟ้า และสมบัติการใช้งานด้านอื่นๆ ต่อไป อาทิเช่น

5.3.1 น้ำยางธรรมชาติที่ใช้ในการทำทดลองสามารถเติมคาร์บอนแบล็กเข้าไปได้ค่อนข้างน้อย หากสามารถทำให้ยางแห้งเหลือเพียงเนื้อยางก่อนนำมาทำการทดลองได้ก็จะสามารถเติมสารเติมแต่งให้มี คุณสมบัติต่างๆ ดีขึ้นได้อีก

5.3.2 หากต้องการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยยางพาราผง ให้ใช้เป็นยางพาราแผ่นนำมาตัดเป็นชิ้นเล็ก แล้ว นำไปขึ้นรูปด้วยเครื่อง Two Roll Mill และควรควบคุมอุณหภูมิของชิ้นงานก่อนนำมาใส่พิมพ์เพื่อไม่ให้ ชิ้นงานจับตัวเป็นก้อนก่อน

5.3.3 ควรจะมีการส่อง Scanning Electron Microscope SEM เพื่อดูการกระจายตัวของอนุภาค ของคาร์บอนแบล็กในเนื้อยาง

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์กรมมหาชน). ความสำคัญของยางพาราต่อเศรษฐกิจและสังคม สืบค้นเมื่อ 12 พฤศจิกายน 2558, จาก <http://www.arda.or.th/kasetinfo/south/para/history/01-10.php>
- [2] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2558). สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญและแนวโน้มปี 2558 สืบค้นเมื่อ 12 พฤศจิกายน 2558, จาก http://www.oae.go.th/download/document_tendency/journalofecon2558.pdf
- [3] วัชรพันธุ์ มณีรัตน์. (2549). การปรับปรุงสมบัติการนำไฟฟ้าของยางธรรมชาติโดยใช้คาร์บอนแบล็ก. ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [4] Knite M., Teteris V. and Kiploka A. (2003). The effect of plasticizing agent on strain-induced change of electric resistivity of carbon-polyisoprene nanocomposites. *Materials Science & Engineering C.* (vol.23 , pp.787-790).
- [5] หนึ่งฤทัย ประระใจ. (2550). ผลของคาร์บอนแบล็กต่อสภาพนำไฟฟ้าของยางนีโอพรีน ปรินญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [6] L.C. Costa. And F. Henry. (2011). DC electrical conductivity of carbon black polymer composites at low temperatures. *Journal of Non-Crystalline Solids.* (Vol.357, pp.1741-1744).
- [7] Zdenek Stary, Johannes Krücker, and Dirk W. Schubert. (2014). Conductivity of carbon black-based polymer composites under creep in the molten state. *Polymer.* (Vol.55, pp.3980-3986).
- [8] M. Pelířsková, P. Piyamanocha, J. Prokeřs, M. Varga, P. Sáha. (2014). The electrical conductivity of ethylene butyl-acrylate/carbon black composites: The effect of foaming on the percolation threshold. *Synthetic Metals.* (Vol.188, pp.140- 145).
- [9] สรญา พิบูลกุลสัมฤทธิ์. (2547). การศึกษาสมบัติการนำไฟฟ้า และสมบัติต้านแรงกระแทกของคอมพาวด์ระหว่างผงเขม่าดำกับพอลิโอสไตรีนชนิดต้านทานแรงกระแทกสูง. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีวัสดุ.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [10] Hongfan Yang, Jiang Gong, Xin Wena, Jian Xue, Qing Chen, Zhiwei Jiang, Nana Tian, Tao Tang. (2015). Effect of carbon black on improving thermal stability, flame retardancy and electrical conductivity of polypropylene /carbon fiber composites. *Composites Science and Technology*. (Vol.113, pp. 31-37).
- [11] Mohd Yusuf Zakaria, Abu Bakar Sulong, Jaafar Sahari, Hendra Suherman. (2015). Effect of the addition of milled carbon fiber as a secondary filler on the electrical conductivity of graphite/epoxy composites for electrical conductive material. *Composites Part B*. (Vol.83, pp.75-80).
- [12] D. Wu Q. Lv, S. Feng J. Chen, Y. Chen, Y. Qiu, X. Yao. (2015). Polylactid Composite Foams Containing Carbon Nanotubes and Carbon Black: Synergistic Effect of Filler on Electrical Conductivity. *Carbon*. (Vol.95, pp.380-387).
- [13] คุณาลยา สถานสถิต, ศศิโรจน์ ชูสกุล, วลัยพร ปุขณารุณ เอื้อใจ และศิริศาสน เอื้อใจ. (2554). สมบัติเชิงกล สมบัติเชิงความร้อนและสมบัติเชิงไฟฟ้าของ LLDPE ที่เติมพอลิพีไรล และคาร์บอนแบล็ก. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 21.
- [14] นันทนิตย์ พ่วงเล็ก. (2552). การปรับปรุงสมบัติการนำไฟฟ้าของพอลิไพร์โรลเพื่อประยุกต์ใช้เป็นตัวตรวจสอบก๊าซ. ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- [15] Nipon Kongrakaranchai. (1998). *Transient Responses of a Biosensor with a Metal-Dispersed Conducting Polymer Film*. King Mongkut's University of Technology Thonburi.
- [16] สมฤทัย ต้นมา. (2550). การเตรียมเอป็อกคอมโพสิตนำไฟฟ้า เพื่อใช้เป็นไบโพลาร์เพลตในเซลล์เชื้อเพลิงแบบฟิวเซลล์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [17] อัจจิมา รัศมีเด่น. (2552). การเตรียมพอลิพรอพิลีนคอมโพสิตนำไฟฟ้าที่เสริมแรงด้วยเส้นใย โดยกระบวนการเวตเลย์เพื่อใช้เป็นไบโพลาร์เพลตในเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [18] Science News. ยางธรรมชาติ (Natural Rubber) สืบค้นเมื่อ 12 พฤศจิกายน 2558, จาก <http://rubber.sc.mahidol.ac.th/rubbertech/rubbertech.html>
- [19] วิภาวี พัฒนกุล. ยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ กรุงเทพมหานคร. กลุ่มอุตสาหกรรมยาง สถาบันวิจัยยาง.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [20] วราภรณ์ ขจรไชยกูล. ผลิตภัณฑ์ยาง: กระบวนการผลิตและเทคโนโลยี. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. พิมพ์ครั้งที่ 2 กันยายน 2554
- [21] ณพรัตน์ วิชิตชลชัย. “สารเคมีสำหรับยาง” กรุงเทพมหานคร. อุตสาหกรรมยาง สถาบันวิจัยยาง
- [22] บริษัท ไทย คอมโพสิต จำกัด. “นิยามของคอมโพสิต” สืบค้นเมื่อ 12 พฤศจิกายน 2558, จาก http://www.industry.in.th/dip/knowledge_detail.php?id=1849&uid=42939
- [23] Yahya Gharagozlou. การประเมินค่าความต้านทานการฉีกขาดสูงสุด. ประธานกลุ่มบริษัท, ITW Test&Measurement สืบค้นเมื่อ 12 พฤศจิกายน 2558, จาก <http://www.instron.co.th/th-th/testing-solutions/by-material/elastomers/peel-tear-friction/iso-34-1>
- [24] เกศินี โกศลเมธี. (2552). การเตรียมและสมบัติเชิงกลของยางคอมโพสิตเตรียมจากยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกผสมเส้นใยปอกระเจา. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีพอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- [25] ณัฐพร มโนอิม และคณะ. Effect of Carbon Black on the Cure Characteristic and Mechanical Properties of HNBR. ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- [26] Vchakarn.com “พันธะของคาร์บอน” สืบค้นเมื่อ 26 พฤษภาคม 2559, จาก <http://www.vcharkarn.com/lesson/1455>



ตารางที่ 1A ตารางแสดงค่าการนำไฟฟ้าระหว่างตั้งยัด

ขนาดของ คาร์บอนแบล็ก	ปริมาณของ คาร์บอนแบล็ก (phr)	ค่าสภาพการนำไฟฟ้า						ก่อนขาด
		ก่อนตั้ง	ตั้ง 20 mm	ตั้ง 40 mm	ตั้ง 60 mm	ตั้ง 80 mm	ตั้ง 100 mm	
45-150 ไมโครเมตร	10	0.00141643	0.00062383	0.00042662	0.00033378	0.00028249	0.00023585	0.00018587
	20	0.11641444	0.11223345	0.10384216	0.08976661	0.08156607	0.07733952	0.06872852
	30	0.22172949	0.21413276	0.19493177	0.17152659	0.16025641	0.15673981	0.15337423
180-225 ไมโครเมตร	10	8.0451E-05	7.6278E-05	7.2098E-05	6.9061E-05	6.1652E-05	5.6022E-05	5.176E-05
	20	0.00802311	0.00715768	0.0063955	0.00558847	0.00503474	0.00473664	0.00422761
	30	0.17064846	0.16863406	0.1650165	0.1607717	0.15698587	0.1540832	0.15128593
มากกว่า 450 ไมโครเมตร	10	5.1733E-05						
	20	9.3284E-05						
	30	0.00018587						

ตารางที่ 2A ตารางแสดงค่าสภาพการนำไฟฟ้าของยางธรรมชาติผสมคาร์บอนแบล็ก

ขนาดของคาร์บอนแบล็ก	ค่าสภาพการนำไฟฟ้า	
	ปริมาณคาร์บอนแบล็ก 10 phr	ปริมาณคาร์บอนแบล็ก 20 phr
45-150 ไมโครเมตร	0.133868809	0.176056338
180-225 ไมโครเมตร	0.069589422	0.109529025
มากกว่า 450 ไมโครเมตร	0.047080979	0.060096154

ตารางที่ 3A ตารางแสดงค่าระยะการยืดตัวสูงสุดของยางพาราแบบน้ำ

ขนาดของคาร์บอนแบล็ก	ปริมาณของคาร์บอนแบล็ก (phr)	ระยะการยืดตัวสูงสุด (มิลลิเมตร)			
		ขั้นทดสอบที่ 1	ขั้นทดสอบที่ 2	ขั้นทดสอบที่ 3	เฉลี่ย
-	ไม่มีคาร์บอนแบล็ก	328.08	333.93	329.54	330.517
45 - 150 ไมโครเมตร (ขนาดเล็ก)	10	315.94	316.87	312.13	314.980
	20	298.57	301.25	299.21	299.677
	30	276.61	274.02	274.78	275.137
180 - 225 ไมโครเมตร (ขนาดกลาง)	10	279.18	281.56	283.24	281.327
	20	261.67	258.45	258.07	259.397
	30	246.33	247.16	245.65	246.380
มากกว่า 450 ไมโครเมตร (ขนาดใหญ่)	10	263.59	260.92	258.26	260.923
	20	247.39	249.06	249.77	248.740
	30	239.78	242.60	241.42	241.267

ตารางที่ 4A ตารางแสดงค่าระยะการยึดตัวสูงสุดของยางพาราแบบน้ำผสมยางพาราแบบผง

ขนาดของคาร์บอนแบล็ก	ปริมาณของคาร์บอนแบล็ก (phr)	ระยะการยึดตัวสูงสุด (มิลลิเมตร)			
		ชั้นทดสอบที่ 1	ชั้นทดสอบที่ 2	ชั้นทดสอบที่ 3	เฉลี่ย
-	ไม่มีคาร์บอนแบล็ก	328.08	333.93	329.54	330.517
45 - 150 ไมโครเมตร (ขนาดเล็ก)	10	268.89	271.72	274.55	271.720
	20	243.57	241.11	238.64	241.107
180 - 225 ไมโครเมตร (ขนาดกลาง)	10	250.06	252.48	249.48	250.673
	20	237.42	239.74	237.58	238.247
มากกว่า 450 ไมโครเมตร (ขนาดใหญ่)	10	252.93	251.26	249.60	251.263
	20	233.13	229.84	228.55	230.507

ตารางที่ 5A ตารางแสดงค่าการต้านทานแรงดึงของยางพาราแบบน้ำ

ขนาดของคาร์บอนแบล็ก	ปริมาณของคาร์บอนแบล็ก (phr)	ค่าการต้านทานแรงดึงสูงสุด (N)			
		ชั้นทดสอบที่ 1	ชั้นทดสอบที่ 2	ชั้นทดสอบที่ 3	เฉลี่ย
-	ไม่มีคาร์บอนแบล็ก	3.6769	3.8967	3.9834	3.8523
45 - 150 ไมโครเมตร (ขนาดเล็ก)	10	3.5381	3.6595	3.6251	3.6076
	20	3.9664	4.0031	3.7739	3.9145
	30	4.3260	4.4408	4.5914	4.4527
180 - 225 ไมโครเมตร (ขนาดกลาง)	10	2.3813	2.4558	2.3947	2.4106
	20	3.9664	3.8436	3.7744	3.8615
	30	4.0333	4.3496	4.3749	4.2526
มากกว่า 450 ไมโครเมตร (ขนาดใหญ่)	10	2.4663	2.3623	2.2716	2.3667
	20	3.0533	3.0936	3.1093	3.0854
	30	3.6180	3.6742	3.7150	3.6691

ตารางที่ 6A ตารางแสดงค่าการต้านทานแรงดึงของยางพาราแบบน้ำผสมยางพาราแบบผง

ขนาดของคาร์บอนแบล็ก	ปริมาณของคาร์บอนแบล็ก (phr)	ค่าการต้านทานแรงดึงสูงสุด (N)			
		ชั้นทดสอบที่ 1	ชั้นทดสอบที่ 2	ชั้นทดสอบที่ 3	เฉลี่ย
-	ไม่มีคาร์บอนแบล็ก	3.6769	3.8967	3.9834	3.8523
45 - 150 ไมโครเมตร (ขนาดเล็ก)	10	3.4278	3.4124	3.5104	3.4502
	20	4.4770	4.4547	4.3222	4.4180
180 - 225 ไมโครเมตร (ขนาดกลาง)	10	2.6849	2.5725	2.6736	2.6437
	20	4.0266	3.8146	3.8291	3.8901
มากกว่า 450 ไมโครเมตร (ขนาดใหญ่)	10	2.6695	2.4448	2.6695	2.5946
	20	3.2411	3.2289	3.4269	3.2990

ตารางที่ 7A ตารางแสดงค่าการต้านทานแรงฉีกของยางพาราแบบน้ำ

ขนาดของคาร์บอนแบล็ก	ปริมาณของคาร์บอนแบล็ก (phr)	ค่าการต้านทานแรงฉีก (N/m)			
		ชั้นทดสอบที่ 1	ชั้นทดสอบที่ 2	ชั้นทดสอบที่ 3	เฉลี่ย
-	ไม่มีคาร์บอนแบล็ก	359.41	364.22	360.13	361.253
45 - 150 ไมโครเมตร (ขนาดเล็ก)	10	501.09	504.77	498.44	501.433
	20	573.16	572.19	575.37	573.573
	30	624.74	630.53	623.14	626.137
180 - 225 ไมโครเมตร (ขนาดกลาง)	10	483.71	477.24	472.26	477.737
	20	532.33	535.42	530.95	532.900
	30	583.11	581.20	578.28	580.863
มากกว่า 450 ไมโครเมตร (ขนาดใหญ่)	10	460.38	461.12	458.61	460.037
	20	510.87	513.04	517.59	513.833
	30	546.70	548.33	527.45	540.827

ตารางที่ 8A ตารางแสดงค่าการต้านทานแรงดึงของยางพาราแบบน้ำผสมยางพาราแบบผง

ขนาดของคาร์บอนแบล็ก	ปริมาณของคาร์บอนแบล็ก (phr)	ค่าการต้านทานแรงดึง (N/m)			
		ชั้นทดสอบที่ 1	ชั้นทดสอบที่ 2	ชั้นทดสอบที่ 3	เฉลี่ย
-	ไม่มีคาร์บอนแบล็ก	359.41	364.22	360.13	361.253
45 - 150 ไมโครเมตร (ขนาดเล็ก)	10	510.59	513.68	515.82	513.363
	20	594.9	596.34	591.71	594.317
180 - 225 ไมโครเมตร (ขนาดกลาง)	10	487.98	490.43	489.53	489.313
	20	554.15	558.27	551.44	554.620
มากกว่า 450 ไมโครเมตร (ขนาดใหญ่)	10	478.5	481.21	483.37	481.027
	20	529.83	531.74	528.09	529.887

ประวัติผู้วิจัย



ชื่อ - ชื่อสกุล
วัน เดือน ปีเกิด
ที่อยู่ปัจจุบัน

น.ส.ณัฐชา รุ่งเรือง
3 กรกฎาคม 2536
243 ม.5 ต.เจ้าวัด อ.บ้านไร่ จ.อุทัยธานี
61140

ประวัติการศึกษา
ปัจจุบัน

กำลังศึกษาในระดับชั้นปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
สาขาวิศวกรรมเคมี คณะ วิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยนเรศวร
จบระดับมัธยมศึกษาจาก
ร.ร.บ้านไร่วิทยา

พ.ศ.2554



ชื่อ - ชื่อสกุล
วัน เดือน ปีเกิด
ที่อยู่ปัจจุบัน

น.ส.สายธาร อินทฤทธิ์
22 มีนาคม พ.ศ.2537
13 ม.3 ต.กุดนกกเปล้า อ.เมือง จ.สระบุรี
18000

ประวัติการศึกษา
ปัจจุบัน

กำลังศึกษาในระดับชั้นปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
สาขาวิศวกรรมเคมี คณะ วิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยนเรศวร
จบระดับชั้นมัธยมศึกษาจาก
ร.ร. สวนกุหลาบวิทยาลัย สระบุรี

พ.ศ.2554