

การเตรียมและสมบัติของยางไนไตรล์ผสมผงคาร์บอนจากกากน้ำตาล

Preparation and Properties of Nitrile Rubber Mixed with Carbon Filler from Molasses

สุริยาพร หอมเจียน¹ และธนัญญา เสาวภาคย์^{2*}

Suriyaporn Homkeing¹ and Thanunya Saowapark^{2*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาความเป็นไปได้ของการนำกากน้ำตาลที่เป็นผลพลอยได้ จากกระบวนการผลิตน้ำตาลมาใช้เป็นสารตัวเติมในยางไนไตรล์ โดยเมื่อนำมาผ่านกระบวนการทางความร้อน จะสามารถเปลี่ยนเป็นผงคาร์บอนได้ ผลจากการวิเคราะห์หาปริมาณของคาร์บอนในผงคาร์บอนจากกากน้ำตาล พบว่ามีปริมาณของคาร์บอนร้อยละ 56 และจากผลของ FTIR พบว่าผงคาร์บอนจากกากน้ำตาล มีลักษณะของหมู่ฟังก์ชัน เช่นเดียวกับผงเขม่าดำ แต่อย่างไรก็ตามผลจากการวิเคราะห์ภาพถ่าย SEM พบว่า ขนาดของผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาล มีขนาดใหญ่กว่าผงเขม่าดำในงานวิจัยนี้ นำผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาลมาใช้เป็นสารตัวเติมในยางไนไตรล์ ที่ปริมาณ 0-30 phr และเปรียบเทียบกับผงเขม่าดำ จากการทดลองพบว่า การใช้ผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาลสามารถลดเวลาในการคงรูปของยางไนไตรล์ได้ นอกจากนั้นยังพบว่า โมดูลัส ความต้านทานต่อการฉีกขาดมีค่าเพิ่มขึ้น และความต้านทานต่อการบวมในตัวทำละลายของยางไนไตรล์ดีขึ้นเล็กน้อย โดยปริมาณที่เหมาะสมของผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาลที่เติมลงในยางไนไตรล์ในงานวิจัยนี้ คือ 30 phr

คำสำคัญ: ยางไนไตรล์ กากน้ำตาล ผงคาร์บอน สารตัวเติม

Abstract

In this research, a feasibility study was carried out on the utilization of molasses, by-product of the refining of sugarcane into sugar, as filler in nitrile rubber (NBR). Molasses was converted to powder under heating process. Molasses carbon filler (MCF) was finally obtained. As a result of percentage of carbon, it is observed that MCF containing 56 percent of carbon. Additionally, FTIR result confirmed that functional groups of MCF were comparable with carbon black. Nevertheless, SEM image clarified that the large particle size of MCF were different from carbon black. In the present work, MCF was incorporated into the NBR with various loadings of 0-30 phr and compared with carbon black. From the results, it was observed

¹ นักศึกษาปริญญาตรี, สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม นครปฐม 73000

² อ.ดร., ศูนย์วิจัยวัสดุธรรมชาติและผลิตภัณฑ์จากวัสดุธรรมชาติ สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม นครปฐม 73000

¹ Undergraduate Student, Chemistry Program, Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University, Nakhon Pathom, 73000

² Lecturer, Dr., Research Center of Natural Materials and Natural Products, Chemistry Program, Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University, Nakhon Pathom, 73000

* Corresponding author: E-mail address: bbiirddtt@hotmail.com

that cure times decreased with the incorporation of MCF. Additionally, modulus, tear strength, and swelling resistance of NBR slightly increased. In this work, the results revealed that the vulcanizates containing 30 phr of MCF provided optimum properties.

Keywords: Nitrile Rubber, Molasses, Carbon Powder, Filler

บทนำ

ยางไนไตรล์ (Nitrile Rubber หรือ NBR) เป็นยางสังเคราะห์ที่มีความเป็นขี้ผึ้งและมีคุณสมบัติการใช้งานที่หลากหลาย มีคุณสมบัติในการทนน้ำมัน ยางชนิดนี้ส่วนใหญ่จะถูกใช้ในผลิตภัณฑ์ที่ต้องสัมผัสกับน้ำมัน ทนต่อความร้อน และต้านทานต่อการกัดกร่อน เช่น ปะเก็นน้ำมัน ยางโอริง ยางซีล เป็นต้น [1] ยางไนไตรล์เป็นยางที่มีความต้านทานต่อการดึงและฉีกขาดไม่มากนัก ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาและปรับปรุงสมบัติของยางไนไตรล์ด้วยการเติม สารตัวเติมเสริมแรง เช่น ผงเขม่าดำ และซิลิกา เป็นต้น [2-3] ปัจจุบันได้มีการนำชีวมวลจากส่วนที่เหลือใช้ทางการเกษตร การปศุสัตว์ และของเสียบางประเภทจากอุตสาหกรรม นำมาใช้ทดแทนสารตัวเติมดังกล่าวที่มาจากสารสังเคราะห์ หากนำตาลนั้นเป็นผลิตภัณฑ์ที่เหลือจากอุตสาหกรรมน้ำตาล ปัจจุบันได้นำกากน้ำตาลมาใช้ประโยชน์ในหลายด้าน เช่น นำมาทำน้ำสกัดชีวภาพ เพาะเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามพบว่าเมื่อนำกากน้ำตาลมาผ่านกระบวนการให้ความร้อนสามารถเปลี่ยนสภาพเป็นผงคาร์บอนได้ ดังนั้นทางผู้วิจัยพยายามเพิ่มความหลากหลายในการนำกากน้ำตาลมาใช้ประโยชน์โดยนำมาใช้เป็นสารตัวเติมในยาง

วิธีการดำเนินการ

1. การเตรียมและวิเคราะห์ผงคาร์บอนจากกากน้ำตาล

นำกากน้ำตาลไปทำให้แห้งโดยการอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปคั่วให้ละเอียด และนำมาเผาภายใต้สภาวะไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จะได้ผงคาร์บอนจากกากน้ำตาล จากนั้นนำมาวิเคราะห์ธาตุคาร์บอน โดยใช้เครื่อง CHN Elemental Analyzer และวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันที่อยู่ภายในผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer (FTIR) ในช่วงความถี่ $400-4000\text{ cm}^{-1}$ วิเคราะห์สัณฐานวิทยาของผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) และการขนาดการกระจายของขนาดอนุภาคผงคาร์บอน (Particle Size Distribution) ด้วยเครื่อง Particle Size Analyzer

2. การเตรียมยางไนไตรล์ที่มีผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลเป็นสารตัวเติม

โดยการผสมยางไนไตรล์และสารเคมีตามสูตรดังแสดงในตารางที่ 1 โดยมีขั้นตอนการผสมยางคอมพาวด์ในขั้นตอนที่ 1 คือ ทำการผสมยางไนไตรล์และสารตัวเติม ซึ่งได้แก่ ผงคาร์บอนจากกากน้ำตาล (Molasses Carbon Filler, MCF) โดยทำการศึกษเปรียบเทียบกับผงเขม่าดำ เกรด N550 (Carbon Black, CB) และสารเคมีอย่างอื่นๆ ยกเว้น ตัวเร่งปฏิกิริยาการคงรูป คือ TBBS (N-Tert-Butyl-2-Benzothiazole Sulfenamide) และสารเคมีที่ใช้ในการคงรูป คือ Sulphur ในเครื่องผสมแบบปิด Brabender (Cam Blade Rotor) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วรอบโรเตอร์ 40 รอบต่อนาที ระยะเวลาในการผสม 9 นาที ขั้นตอนที่ 2 เป็นการเติม TBBS และ Sulphur ลงในยาง Masterbatch ที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 ผสมที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในเครื่องผสมแบบปิด Brabender เช่นเดิมใช้เวลาผสม 3 นาที จากนั้นนำยางผสมไปรีดโดยใช้เครื่องรีดแบบ 2 ลูกกลิ้ง (Two Roll Mill)

3. การทดสอบสมบัติของยางไนไตรล์ที่มีผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลเป็นสารตัวเติม

3.1 การศึกษาลักษณะการคงรูป (Cure Characteristics)

การศึกษาการคงรูปของยางคอมพาวด์โดยใช้เครื่อง Moving Die Rheometer (MDR: TECHPRO, Rheotech MD+) และอุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบคือ 150 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปใช้ในการคงรูปต่อไป

ตารางที่ 1 สูตรการผสมยางคอมพาวด์

องค์ประกอบ	Part per hundred rubber (phr)			
Nitrile Rubber (NBR)	100.0	100.0	100.0	100.0
Zinc Oxide	4.0	4.0	4.0	4.0
Stearic acid	2.0	2.0	2.0	2.0
Filler (MCF or CB)	0.0	10.0	20.0	30.0
TBBS	2.25	2.25	2.25	2.25
Sulphur	0.75	0.75	0.75	0.75

3.2 การทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงและความต้านทานต่อการฉีกขาด (Tensile Properties and Tear Strength)

ทำการขึ้นรูปยางคอมพาวด์เป็นแผ่น โดยแม่พิมพ์แบบอัด ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาคงรูปที่ได้จากการศึกษาลักษณะการคงรูปที่ได้การทดสอบก่อนหน้าทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile Properties) ตามมาตรฐาน ASTM D412 (Die C) และ ทดสอบสมบัติความต้านทานต่อการฉีกขาดตามมาตรฐาน ASTM D624 (Die B) โดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine (INSTRON 3366)

3.3 การทดสอบสมบัติความต้านต่อตัวทำละลาย (Swelling Resistance)

ทดสอบโดยใช้วิธีการ Equilibrium Swelling Measurement เป็นการทดสอบการบวมตัวของยางไนไตรล์ โดยนำชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูปนำมาตัดเป็นสี่เหลี่ยมให้มีน้ำหนัก 0.5-0.7 กรัม นำไปแช่ในโทลูอีน เป็นเวลา 7 วันนำไปตั้งไว้ในที่มีด จากนั้นนำชิ้นงานทดสอบไปชั่งน้ำหนัก และคำนวณหาอัตราส่วนการบวมตัวของชิ้นงานในตัวทำละลาย (Swelling Ratio) โดยใช้สมการ

$$Q = \frac{(W_s - W_u)}{W_u}$$

เมื่อ Q คือ อัตราส่วนการบวมตัวของชิ้นงานในตัวทำละลาย (Swelling Ratio)

W_u คือ น้ำหนักก่อนแช่โทลูอีน (g)

W_s คือ น้ำหนักหลังแช่ในโทลูอีน (g)

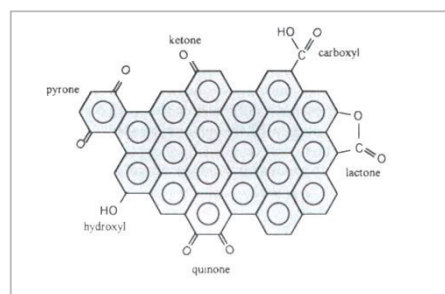
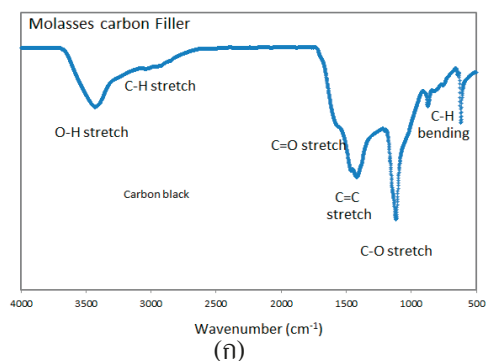
ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์

1. สมบัติของผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาล

ผลของการวิเคราะห์ ธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจน ของผงคาร์บอนที่ได้ จากกากน้ำตาล (MCF) เปรียบเทียบกับผงเขม่าดำ (CB) ดังตารางที่ 2 พบว่า ปริมาณของคาร์บอนที่พบในผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาลโดยเฉลี่ย ร้อยละ 56.13 ในขณะที่ผงเขม่าดำมีปริมาณคาร์บอนโดยร้อยละ 95.31 ผลของการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาล ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) แสดงดังภาพที่ 1(ก) จากภาพจะเห็นได้ว่าตรวจพบสัญญาณที่ $3,200-3,400\text{ cm}^{-1}$ แสดงถึงหมู่ฟังก์ชัน OH Stretch สัญญาณที่ $3,000\text{ cm}^{-1}$ แสดงถึงหมู่ฟังก์ชัน C-H Stretch สัญญาณที่ $1,725\text{ cm}^{-1}$ แสดงถึงหมู่ฟังก์ชัน C=O Stretch สัญญาณที่ $1,640-1,667\text{ cm}^{-1}$ แสดงถึงหมู่ฟังก์ชัน C=C Stretch พบสัญญาณที่ $1,250\text{ cm}^{-1}$ แสดงถึงหมู่ฟังก์ชัน C-O Stretch และสัญญาณที่ 700 cm^{-1} แสดงถึงหมู่ฟังก์ชัน C-H Bending [4-7] จากสัญญาณที่ตรวจพบนั้นแสดงให้เห็นว่าบนพื้นผิวของของผงคาร์บอนจากกากน้ำตาล น่าจะมีหมู่ฟังก์ชัน Hydroxyl Group และ Double Conjugated Bond บน Carbonyl Group เช่นเดียวกับที่ปรากฏบนผงเขม่าดำมีหมู่ฟังก์ชันต่างๆ แสดงดังภาพที่ 1(ข) [8] ภาพที่ 2 (ก) แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของผงคาร์บอนจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 2,500 เท่า พบว่าการจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อน นอกจากนั้นจากผลของการกระจายตัวของอนุภาคผงคาร์บอนแสดงดังภาพที่ 2(ข) โดยอนุภาคส่วนใหญ่มีขนาดอยู่ในช่วง 100-400 ไมครอน

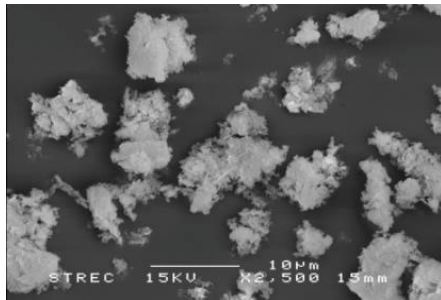
ตารางที่ 2 ปริมาณของธาตุคาร์บอนของผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาล และของผงเขม่าดำ

ชนิดผงคาร์บอน	ร้อยละของธาตุคาร์บอน
ผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาล (MCF)	56.13
ผงเขม่าดำ (CB)	95.31

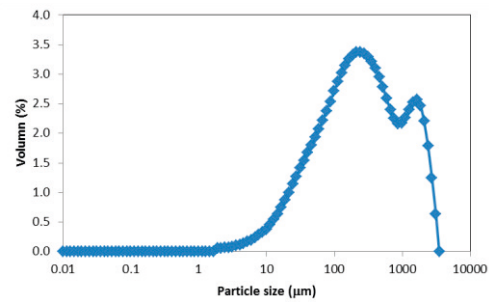


(ข)

ภาพที่ 1 (ก) FTIR spectrum ของผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาล และ (ข) แบบจำลองพื้นผิวของผงเขม่าดำ



(ก)

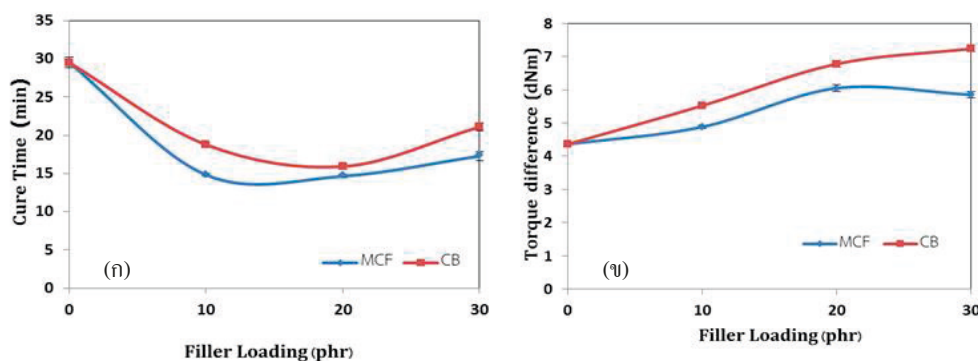


(ข)

ภาพที่ 2 (ก) ลักษณะสัณฐานวิทยา และ (ข) การกระจายของขนาดอนุภาคของผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาล

2. การทดสอบสมบัติของยางไนไตรล์ที่มีผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลเป็นสารตัวเติม

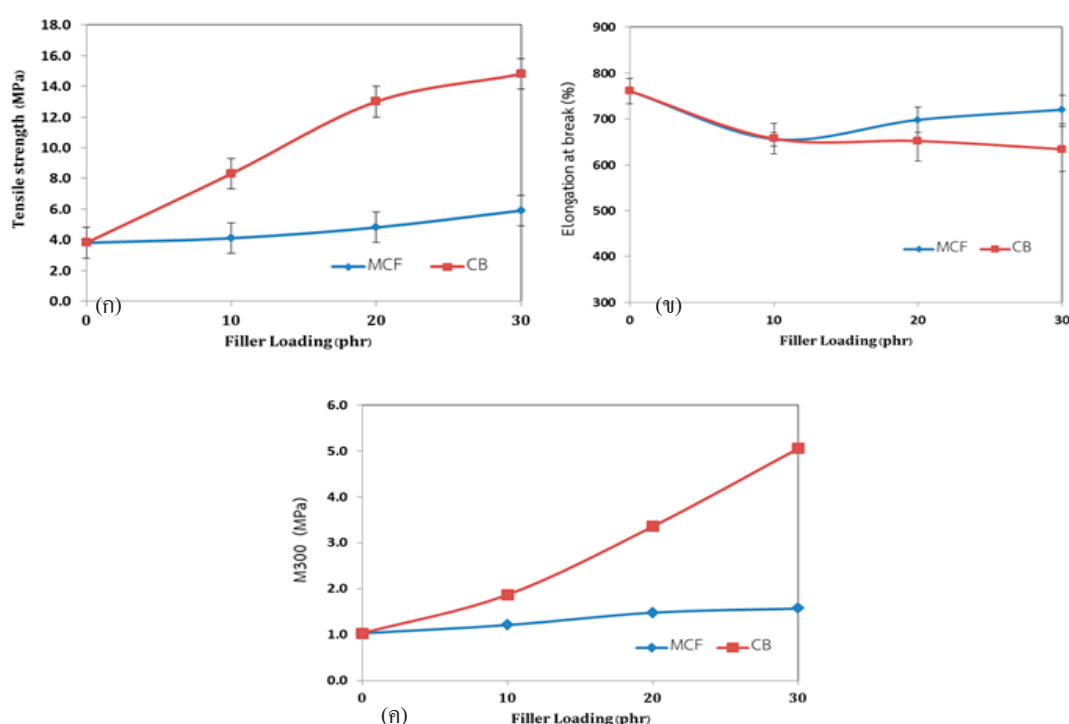
ผลของการเติมผงคาร์บอนจากกากน้ำตาล (MCF) ลงในยางไนไตรล์ ที่มีต่อเวลาการคงรูป (Cure Time) และผลต่างของแรงบิด (Torque Difference) เปรียบเทียบกับผงเขม่าดำ (CB) แสดงดังภาพที่ 3 โดยภาพที่ 3(ก) แสดงเวลาการคงรูปของยางไนไตรล์ จะเห็นได้ว่าระยะเวลาที่ใช้ในการคงรูปของยางไนไตรล์ลดลงเมื่อมีการใช้ผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลและ ผงเขม่าดำเนื่องจาก ความหนืดของระบบที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ เกิด Thermal History ระหว่างการผสมกับสารคงรูป ส่งผลให้มีระยะเวลาที่ใช้ในการคงรูป ลดลง ในขณะภาพที่ 3(ข) แสดงผลของการเติมผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาลและ ผงเขม่าดำ ที่มีต่อผลต่างแรงบิด (Torque Difference) จะเห็นได้ว่า การเติมผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลหรือ ผงเขม่าดำลงในยางไนไตรล์ ส่งผลให้ผลต่างของแรงบิดสูงสุด สูงขึ้น ซึ่งแสดงถึงความแข็งของยางไนไตรล์ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการเติมสารตัวเติมลงไปมีผลทำให้สายโซ่โมเลกุลยางเคลื่อนที่ได้ น้อยลงจึงทำให้ยางคงรูป มีความแข็งเพิ่มขึ้น อีกทั้งจากการเกิดอันตรกิริยาระหว่างยางกับสารตัวเติม และการเกิดพันธะเชื่อม ขวาระหว่างสายโซ่โมเลกุลของยางที่เพิ่มขึ้นด้วย (Crosslink Density) อย่างไรก็ตามในยางนั้นเมื่อใช้ผงเขม่าดำเป็นสารตัวเติมจะมีค่าผลต่างแรงบิดสูงกว่าการใช้ผงคาร์บอนจากกากน้ำตาล ทั้งนี้เนื่องจากผงคาร์บอนเกรดการค้าสามารถเกิดอันตรกิริยากับยาง ไนไตรล์ได้มากกว่าผงคาร์บอนจากกากน้ำตาล เนื่องจากผงคาร์บอนเกรดการค้าที่มีขนาดอนุภาคเล็ก จึงมีพื้นที่ผิวจำเพาะมากกว่า ผงคาร์บอนจากกากน้ำตาล ส่งผลให้มี Actives Sites ในการเกิดอันตรกิริยาได้มาก [9]



ภาพที่ 3 (ก) เวลาการคงรูป (Cure Time) และ (ข) ผลต่างแรงบิด (Torque Difference) ของยางไนไตรล์ที่มีผงคาร์บอนที่ได้จาก กากน้ำตาลและผงเขม่าดำเป็นสารตัวเติม

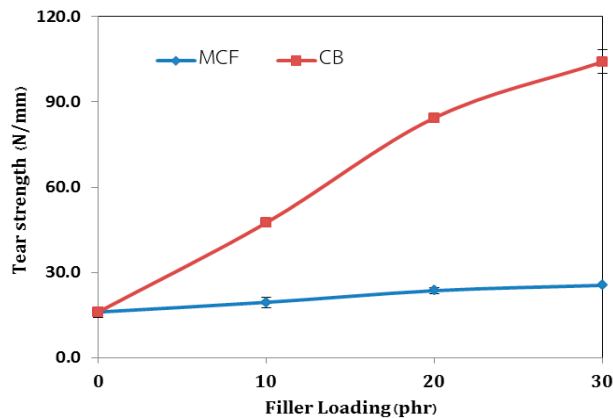
การทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile Properties) และความต้านทานต่อการฉีกขาด (Tear Strength) ผลการทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง ของการเติมผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลเปรียบเทียบกับผงเขม่าดำลงในยางไนไตรล์ที่มี

ผลต่อสมบัติความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) ระยะยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at Break) และ โมดูลัส ณ ระยะยืดตัวที่ 300% (Tensile Modulus at 300% Elongation, M300) แสดงดังภาพที่ 4 จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าความต้านทานต่อแรงดึงของไนไตรล์ที่เติมผงคาร์บอนจากกากน้ำตาล และผงเขม่าดำเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของผงคาร์บอนเพิ่มขึ้นแสดงดังภาพที่ 4 (ก) แต่อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลมีความต้านทานต่อแรงดึงที่ต่ำกว่าผงเขม่าดำ ในขณะที่ยืดตัว ณ จุดขาด ของยางไนไตรล์ที่เติมคาร์บอนจากกากน้ำตาล และผงเขม่าดำมีค่าไม่แตกต่างกันส่วนโมดูลัส ณ ระยะยืดตัวที่ 300% นั้น เพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมผงคาร์บอนทั้งสองชนิดเพิ่มขึ้น โดยการเติมผงคาร์บอนเกรดการค่าให้ค่าโมดูลัส ณ ระยะยืดตัวที่ 300% มากกว่าผงคาร์บอนจากกากน้ำตาล การทดสอบความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางไนไตรล์ที่มีผงคาร์บอนที่ได้ จากกากน้ำตาล และ ผงเขม่าดำแสดงดังภาพที่ 5 จะเห็นได้ว่า เมื่อใช้ผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลนั้นส่งผลต่อสมบัติความต้านทานต่อการฉีกขาดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ในขณะที่เติมผงเขม่าดำจะให้เห็นชัดเจนว่า มีความต้านทานต่อการฉีกขาดดีขึ้น

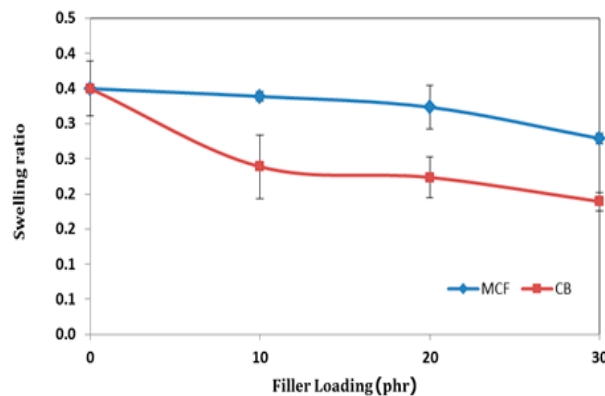


ภาพที่ 4 (ก) ความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) (ข) ระยะยืด ณ จุดขาด (Elongation at Break) และ (ค) โมดูลัส ณ ระยะยืดตัว 300% (M300) ของยางไนไตรล์ที่มีผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาลและผงเขม่าดำเป็นสารตัวเติม

จากภาพที่ 6 แสดงผลการทดสอบความต่อการบวมตัวในตัวทำละลาย ของยางไนไตรล์ จะให้เห็นว่า เมื่อเติมผงคาร์บอนทั้งสองชนิดในปริมาณที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความต่อการบวมตัวในตัวทำละลาย ของยางไนไตรล์ และเมื่อนำผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาลมาเปรียบเทียบกับผงเขม่าดำมาใช้เป็นสารตัวเติมจะยังเห็นได้ว่าเมื่อใช้ผงเขม่าดำความต่อการบวมตัวในตัวทำละลาย ของยางไนไตรล์ยังคงดีกว่าผงคาร์บอนจากกากน้ำตาล จากการทดสอบสมบัติของยางไนไตรล์ที่มีผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลเป็นสารตัวเติมนั้นจะเห็นได้สามารถเพิ่มสมบัติต่างๆ ของยางไนไตรล์ได้เล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจาก อนุภาคส่วนใหญ่ของผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลยังมีขนาดที่ใหญ่เมื่อเปรียบเทียบกับผงเขม่าดำส่งผลให้ยัง ไม่สามารถเสริมแรงยางไนไตรล์ได้ดี



ภาพที่ 5 ความต้านทานต่อการฉีกขาด (Tear Strength) ของยางไนไตรล์ที่มีผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาล และผงเขม่าดำเป็นสารตัวเติม



ภาพที่ 6 ความต่อการบวมตัวในตัวทำละลาย (Swelling Resistance) ของยางไนไตรล์ที่มีผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาล และผงเขม่าดำเป็นสารตัวเติม

สรุปผลการวิจัย

เมื่อกากน้ำตาลนำมาผ่านกระบวนการทางความร้อน จะสามารถเปลี่ยนเป็นผงคาร์บอนได้ โดยผลจากการ วิเคราะห์หาปริมาณของคาร์บอน ในผงคาร์บอนจากกากน้ำตาล พบว่ามีปริมาณของคาร์บอนเป็นองค์ประกอบอยู่ร้อยละ 56 และผลของ FTIR แสดงให้เห็นว่ามีลักษณะของหมู่ฟังก์ชัน เช่นเดียวกับผงคาร์บอนเกรดการค้า แต่อย่างไรก็ตามผลจากการวิเคราะห์ ภาพถ่าย SEM และการกระจายตัวของขนาดอนุภาค พบว่า ขนาดของผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาล มีขนาดใหญ่ และเมื่อนำผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาล มาใช้เป็นสารตัวเติมในยางไนไตรล์ พบว่าการใช้ผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาลสามารถลดเวลาในการคงรูปของยางไนไตรล์ได้นอกจากนั้นยังพบว่า มอดูลัส ความต้านทานต่อการฉีกขาดมีค่าเพิ่มขึ้น และความต้านทานต่อการบวมในตัวทำละลายของยางไนไตรล์ดีขึ้นเล็กน้อยโดยปริมาณที่เหมาะสมของผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาลในงานวิจัยนี้ที่เติมลงในยางไนไตรล์ คือ 30 phr

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐมที่ได้สนับสนุนทุนวิจัย (ทุนอุดหนุนวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2559 โครงการวิจัยบูรณาการนักศึกษาและอาจารย์) ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Jie, L., Xiangbo, L., Likun, X. and Peiqing, Z. (2016). "Investigation of aging behavior and mechanism of nitrile butadiene rubber (NBR) in the accelerated thermal aging environment", **Polymer Testing**, 24, 59-66.
- [2] Mark, J.E., Erman, B. and Eirich, F.R. (2005). **The Science and Technology of Rubber** (third ed). New York: Elsevier Academic.
- [3] Boonstra, B. B. (1973). **Filler review: Carbon Black and Nonblack. Rubber Technology**. New York: Van Nostrand Reinhold.
- [4] Peng, B., Suqin, L., Yuan, L., Shuxin, Z., Haiyan, W. and Feiyue, T. (2012). "Effects of carbon black on the electrochemical performance of lithium-organic coordination compound batteries", **International Journal of Electrochemical Science**, 7, 4617-4624.
- [5] Geyou, A., Quanli, H. and Myung-Soo, K. (2008). "Properties of activated carbon blacks filled SBR rubber composites", **Carbon Letters**, 9, 115-120.
- [6] Samantha, A. G., Du, T.N. and Aoren, P.E. (2016). "Surface modification of carbon black nanoparticles enhances photothermal separation and release of CO₂", **Carbon**, 106, 126-135.
- [7] Subhan, S. and Charoen, N. (2012). "Influence of modified natural rubber and structure of carbon black on properties of natural rubber compounds", **Polymer Composite**, 33, 489-500.
- [8] Leblance, J.L. (2002). "Rubber-filler interactions and rheological properties in filled compounds", **Progress in Polymer Science**, 27, 627-687.
- [9] Qu, L., Huang, H., Zhang, P., Nie, Y., Weng, G. and Wu, J. (2010). "Synergistic reinforcement of nanoclay and carbon black in natural rubber", **Polymer International**, 591, 397-1402.