บทความวิจัย

สมบัติของยางธรรมชาติที่มีผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลที่ผ่านการกระตุ้นโดยพลังงานจากไมโครเวฟเป็นสารตัวเติม

Properties of Natural Rubber with Molasses Carbon Powder Activated Using Microwave Radiation as a Filler

วราภรณ์ โสประดิษฐ[1] อดิศักดิ์ จตุรพิรีย์[2] เอกราชันย์ ไชยชนะ[2] และธนัญญา เสาวภาคย์[2*]

Waraporn Sopradit[1], Adisak Jaturapiree[2], Ekrachan Chaichana[2] and Thanunya Saowapark[2*]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการเตรียมผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตน้ำตาล เพื่อใช้เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ ผงคาร์บอนจากกากน้ำตาล (MB) ถูกนำมากระตุ้นด้วยสารเคมี คือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ในอัตราส่วนโดยน้ำหนัก MB:KOH คือ 1:4 โดยให้พลังงานความร้อนด้วยไมโครเวฟเปรียบเทียบกับพลังงานความร้อนด้วยเตาไฟฟ้า จากการศึกษาพบว่าผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลที่ผ่านการกระตุ้นด้วย KOH โดยความร้อนจากพลังงานไมโครเวฟ (MB KOH Wave) นั้นมีพื้นที่ผิวและมีปริมาตรรูพรุนรวมที่มากกว่าการใช้พลังงานความร้อนจากเตาไฟฟ้า (MB KOH) เมื่อนำผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลเป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ ปริมาณ 10 phr พบว่ายางธรรมชาติที่มี MB KOH Wave เป็นสารตัวเติม มีสมบัติการคงรูป สมบัติความต้านทานต่อแรงดึง ความต้านทานต่อการฉีกขาด และความต้านทานต่อการบวมตัวในตัวทำละลายดีขึ้นอย่างชัดเจนและใกล้เคียงกับผงเขม่าดำ (CB)

คำสำคัญ: กากน้ำตาล ผงคาร์บอน ไมโครเวฟ สารตัวเติม ยางธรรมชาติ

Abstract

In this research, the preparation of carbon powder from molasses, a by-product of the sugar production process or agricultural wastes, was studied as filler in natural rubber. The carbon powder from molasses or molasses black (MB) was subsequently activated using 1:4 by weight (MB: KOH) using heating energy from microwave radiation and comparing with the electrically heating furnace. The result showed the surface area and total pore volume of MB activated by microwave radiation (MB KOH Wave)

[1] นักศึกษาปริญญาตรี, สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม 73000

[2] ผศ.ดร., ศูนย์วิจัยวัสดุธรรมชาติและผลิตภัณฑ์จากวัสดุธรรมชาติ สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม 73000

[1] Undergraduate Student, Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University, 73000, Thailand

[2] Asst. Prof. Dr., Research Center of Natural Materials and Products, Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University, 73000, Thailand

[*] Corresponding author: E-mail: thanunya@webmail.npru.ac.th

(Received: August 13, 2020; Revised: February 11, 2021; Accepted: February 19, 2021)

are clearly enhanced comparable with those activated using an electrically heating furnace. All of KOH-activated MB were used as filler in NR in the amount of 10 phr. It was found that MB KOH Wave filled NR obviously shows the improvement in cure characteristic, tensile properties, tear strength and swelling resistance of NR vulcanizate and is close with that of filled with carbon black (CB).

Keywords: Molasses, Carbon Powder, Microwave, Filler, Natural Rubber

บทนำ

สารตัวเติม (Filler) คือ สารที่เติมลงไปในยางเพื่อปรับปรุงสมบัติของยางให้ดีขึ้นหรือเพื่อลดต้นทุนการผลิต ปัจจุบันมีการส่วนที่เหลือใช้ทางการเกษตร การปศุสัตว์ ขยะจากชุมชน และของเสียบางประเภทจากอุตสาหกรรม สำหรับนำมาใช้ทดแทนสารตัวเติมในปัจจุบัน [1] กากน้ำตาล (Molasses) เป็นผลิตภัณฑ์ที่เหลือจากอุตสาหกรรมน้ำตาล และไม่สามารถนำกลับมาใช้ในอุตสาหกรรมน้ำตาลได้อีก [2] เพื่อเพิ่มมูลค่าให้แก่กากน้ำตาลและทางเลือกในการนำกากน้ำตาลมาใช้ประโยชน์ พบว่าเมื่อนำมาให้กระบวนการผ่านความร้อนเปลี่ยนสภาพเป็นผงคาร์บอน โดยองค์ประกอบหลักของผงคาร์บอนที่เตรียมได้จากกากน้ำตาลนั้นคือ ธาตุคาร์บอน ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักเช่นเดียวกับผงเขม่าดำที่นิยมใช้เป็นสารตัวเติมเสริมแรงในยางธรรมชาติ การนำผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาลมาเป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ (Natural Rubber or NR) ก็เป็นหนึ่งในทางเลือกที่น่าสนใจ [3-4] แต่อย่างไรก็ตามผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาลนั้นพบว่ามีขนาดอนุภาคใหญ่ พื้นที่ผิวจำเพาะต่ำ เพื่อให้ผงคาร์บอนดังกล่าวมีความเหมาะสม และ ช่วยเพิ่มสมบัติเชิงกลให้แก่ยางธรรมชาติได้ จึงต้องมีการปรับปรุงผงคาร์บอน ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้ทำการปรับปรุงผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลโดยการกระตุ้นผงคาร์บอนโดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ควบคู่กับการใช้พลังงานจากไมโครเวฟ แทนการใช้เตาไฟฟ้าอุณหภูมิสูงเพื่อนำมาใช้เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติเนื่องจากการใช้พลังงานจากไมโครเวฟนั้นมีประสิทธิภาพการให้ความร้อนที่รวดเร็วทำให้ประหยัดเวลาและพลังงานในการกระตุ้นผงคาร์บอนจากกากน้ำตาล [5-6]

วิธีการดำเนินการ

1. วัตถุดิบและสารเคมี

การเตรียมผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลมีวัตถุดิบและสารเคมี คือ กากน้ำตาลและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH: AR Grade) และ การเตรียมยางคงรูปที่มีผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลเป็นสารตัวเติมมีดังนี้ ยางธรรมชาติ (Natural Rubber: STR5L) ซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide) กรดสเตียริก (Stearic Acid) N-tertbutyl-2-benzothiazole Sulfonamide (TBBS) กำมะถัน (Sulphur: Commercial Grade) และ ผงเขม่าดำ (Carbon Black (CB): N550)

2. การเตรียมและวิเคราะห์ผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลที่ผ่านการกระตุ้นโดยพลังงานจากไมโครเวฟ

นำกากน้ำตาลไปทำให้แห้งโดยการอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปบดให้ละเอียดและนำมาเผาภายใต้สภาวะไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จะได้ผงคาร์บอนจากกากน้ำตาล (MB) จากนั้นนำผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลมากระตุ้นโดยใช้ KOH ในอัตราส่วน 1:4 โดยน้ำหนักโดยให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ ที่สภาวะ 300 วัตต์ เป็นเวลา 20 นาที นำไปปรับให้ pH เป็นกลาง และทำให้แห้ง จะได้ผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลที่ผ่านการกระตุ้นโดยพลังงานจากไมโครเวฟ (MB KOH Wave)

และโดยศึกษาเปรียบเทียบกับผงคาร์บอนที่ผ่านการกระตุ้นโดยให้ความร้อนโดยเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง (MB KOH)

นำผงคาร์บอนมาวิเคราะห์ธาตุคาร์บอน โดยใช้เครื่อง CHN Elemental Analyzer และ วิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุที่มีอยู่ภายในผงคาร์บอนที่ โดยใช้เครื่อง X- Ray Fluorescence Spectrometer (XRF) วิเคราะห์สัณฐานวิทยาของ ผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) และวิเคราะห์พื้นที่ผิวและปริมาตร รูพรุนรวมของผงคาร์บอนด้วยเครื่อง Surface Area and Porosity Analyzer ด้วยเทคนิคของ Brunauer Emmett and Teller (BET)

3. การเตรียมยางธรรมชาติที่มีผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลเป็นสารตัวเติม

โดยการผสมยางและสารเคมีตามสูตรที่แสดงในตารางที่ 1 โดยแต่ละสูตรมี สารตัวเติม (Filler) ดังนี้ ผงคาร์บอนจากกากน้ำตาล (MB) ผงคาร์บอนที่ผ่านการกระตุ้นโดยให้ความร้อนโดยเตาไฟฟ้า (MB KOH) ผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลที่ผ่านการกระตุ้นโดยพลังงานจากไมโครเวฟ (MB KOH Wave) และผงเขม่าดำเกรด N550 (CB) ผสมโดยใช้ในเครื่องผสมเครื่องรีดแบบ 2 ลูกกลิ้ง (2 roll mill) อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการผสม 9 นาที

ตารางที่ 1 สูตรการผสมยางคอมพาวด์

องค์ประกอบ	Part Per Hundred Rubber (phr)				
	Unfilled	**MB**	**MB KOH**	**MB KOH Wave**	**CB**
Natural Rubber	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Zinc Oxide	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Stearic Acid	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Filler	0.0	10.0	10.0	10.0	10.0
TBBS	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25
Sulphur	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75

4. การทดสอบสมบัติของยางธรรมชาติที่มีผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลเป็นสารตัวเติม

4.1 การทดสอบลักษณะการคงรูป

การทดสอบการคงรูปของยางคอมพาวด์โดยใช้เครื่อง Moving Die Rheometer และอุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบคือ 150 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปใช้ในการคงรูปต่อไป

4.2 การทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงและความต้านทานต่อการฉีกขาด (Tensile Properties and Tear Strength)

ทำการขึ้นรูปยางคอมพาวด์เป็นแผ่น โดยแม่พิมพ์แบบอัด ที่อุณหภูมิ 150 °C โดยใช้เวลาคงรูปที่ได้จากการศึกษาลักษณะการคงรูป ทำการทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile Properties) ตามมาตรฐาน ASTM D412 (Die C) และ ทดสอบสมบัติความต้านทานต่อการฉีกขาดตามมาตรฐาน ASTM D624 (Die B) โดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine อัตราเร็วในการดึงชิ้นทดสอบ 500 มิลลิเมตรต่อนาที

4.3 การทดสอบสมบัติความต้านต่อตัวทำละลาย (Swelling Resistance)

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

$$Q = (W_s - W_u)/W_u$$

เมื่อ Q คือ อัตราส่วนการบวมตัวของชิ้นงานในตัวทำละลาย (Swelling Ratio)

W_u , W_s คือ น้ำหนักก่อนแช่และหลังแช่ในโทลูอีน (g)

ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์

สมบัติของผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาล

ผลของการวิเคราะห์ ธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจนและไนโตรเจนของผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาล (MB) และ ผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาลที่กระตุ้นด้วย KOH โดยพลังงานจากไมโครเวฟ และ พลังงานความร้อนจากเตาไฟฟ้า (MB KOH Wave และ MB KOH) ด้วยเครื่อง CHN Elemental Analyzer แสดงดังตารางที่ 2 โดยจากการวิเคราะห์ผงคาร์บอนทุกชนิดพบว่า ปริมาณของคาร์บอนที่พบโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วง 40-60 % เนื่องจากปริมาณของคาร์บอนที่เป็นองค์ประกอบในกากน้ำตาลนั้นมาจากส่วนที่ของน้ำตาลที่ละลายอยู่ในกากน้ำตาลเป็นหลักซึ่งโดยปกติแล้วกากน้ำตาลที่ได้จากการผลิตน้ำตาลทรายขาวหรือ Black–strap Molasses จะมีปริมาณน้ำตาลอยู่ประมาณ 50-60 % [3-4] ทั้งนี้เมื่อทำการกระตุ้น ผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาลด้วย KOH โดยพลังงานความร้อนทั้งสองชนิดพบว่าปริมาณคาร์บอนลดลง นั่นอาจเป็นเพราะคาร์บอนที่เป็นองค์ประกอบในกากน้ำตาลนั้นเกิดการสลายตัวเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับปริมาณ CHO ที่ลดลงจากการวิเคราะห์ด้วย XRF ดังแสดงในตารางที่ 3 แต่อย่างไรก็ตามในตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่าในผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาลที่ผ่านและ ไม่ผ่านการกระตุ้นนั้น นอกจากจะมีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักแล้ว ยังมีธาตุอื่นๆ เป็นองค์ประกอบอีกด้วย

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจน ของผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาล (MB) และผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลที่ผ่านการกระตุ้นด้วย KOH ให้ความร้อนโดยพลังงานจากไมโครเวฟ (MB KOH Wave) และพลังงานความร้อนจากเตาไฟฟ้า (MB KOH)

ธาตุ	Percent (%)		
	MB	MB KOH Wave	MB KOH
Carbon	59.70	56.62	42.33
Hydrogen	4.56	3.38	1.63
Nitrogen	8.58	1.28	0.63

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณของธาตุของผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาล (MB) และผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลที่ผ่านการกระตุ้นด้วย KOH ให้ความร้อนโดยพลังงานจากไมโครเวฟ (MB KOH Wave) และพลังงานความร้อนจากเตาไฟฟ้า (MB KOH)

ธาตุ	Percent (%)			ธาตุ	Percent (%)		
	MB	MB KOH Wave	MB KOH		MB	MB KOH Wave	MB KOH
CHO	90.5	85.993	82.806	NiO	0.001	-	-
SiO_2	0.334	9.238	2.947	CuO	0.002	0.001	-
K_2O	4.475	3.380	9.786	SO_3	1.572	-	0.311
CaO	1.1314	1.006	1.882	ZnO	0.001	0.008	-
MnO	0.007	0.005	0.01	P_2O_5	-	-	0.523
Fe_2O_3	0.032	0.033	0.047	Cl_2	1.943	0.335	1.688

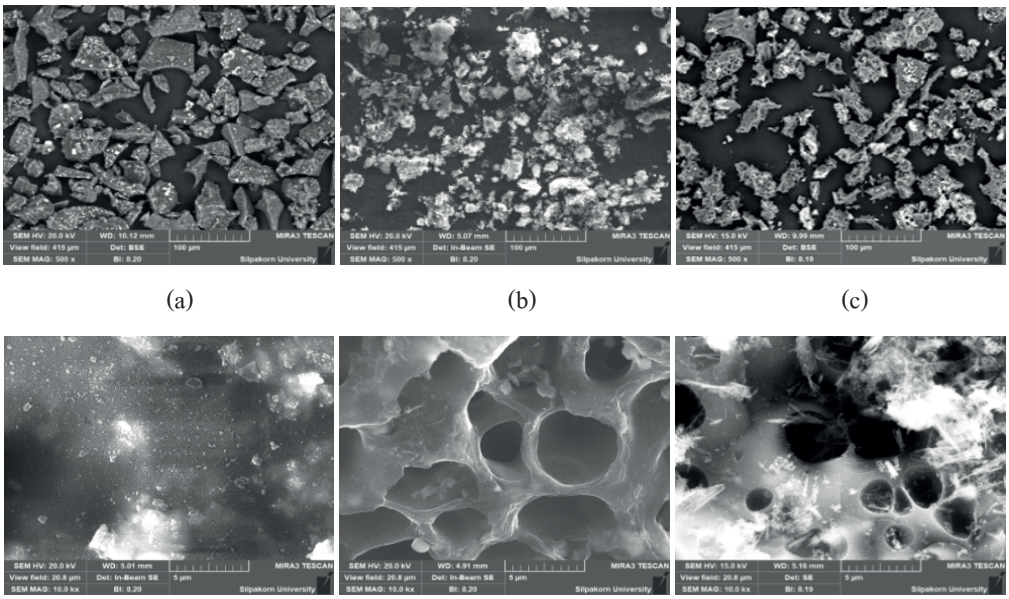
ผลจากการวิเคราะห์พื้นที่ผิว (BET Surface Area) และปริมาตรรูพรุนรวมของผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาลทุกชนิด ด้วยเครื่อง Surface Area and Porosity Analyzer (BET) ดังแสดงในตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่า ผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลมีพื้นที่ผิวน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลที่ผ่านการกระตุ้นด้วย KOH ทั้งสองสภาวะ โดยพบว่าการใช้ KOH ส่งผลให้ผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลมีพื้นที่ผิวเพิ่มมากขึ้น เมื่อนำผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลมาการกระตุ้นด้วย KOH จะส่งผลให้ไอออนของโพแทสเซียมไอออนจะแทรกเข้าไปอยู่ในโครงสร้างของผงคาร์บอนและเมื่อให้ความร้อนจะส่งผลให้พื้นที่ผิวสูงขึ้น นอกจากนั้นการสลายตัวของ KOH เกิดเป็นโพแทสเซียมออกไซด์ (K_2O) โดยสามารถถูกรีดิวซ์ด้วยคาร์บอนกลายเป็นโลหะโพแทสเซียมได้ ที่อุณหภูมิสูงโพแทสเซียมดังกล่าวจะแทรกเข้าไปในชั้นของอะตอมคาร์บอนทำให้เกิดรูพรุนได้มากขึ้น

การใช้พลังงานจากไมโครเวฟในการกระตุ้นนั้นส่งผลให้พื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนเพิ่มขึ้นมากขึ้นกว่าการใช้พลังงานความร้อนจากเตาไฟฟ้า เนื่องจากการใช้พลังงานไมโครเวฟนั้นเป็นการส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้เกิดการสั่นของโมเลกุล ส่งผลให้สารเคมีที่ใช้กระตุ้น หรือ KOH เข้าไปแทรกตัวในโครงสร้างได้มากขึ้น และเกิดการสลายตัวของโครงสร้างซึ่งหลุดออกไปในรูปสารระเหย จึงเกิดความเป็นรูพรุนมากขึ้น [7-10]

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนรวมของผงคาร์บอนจากกากน้ำตาล และผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลที่ผ่านการกระตุ้นด้วย KOH ให้ความร้อนโดยพลังงานจากไมโครเวฟ และพลังงานความร้อนจากเตาไฟฟ้า

	MB	MB KOH Wave	MB KOH
Surface Area (m^2/g)	4.91	131.90	102.52
Total Pore Volume (cm^3/g)	0.0060	23.55	0.39

เมื่อพิจารณาจากผลการวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด หรือ Scanning Electron Microscope (SEM) ของผงคาร์บอนแสดงดังภาพที่ 1 โดย จะเห็นได้ว่าลักษณะผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลที่ผ่านการกระตุ้นด้วยKOH ให้ความร้อนโดยพลังงานจากไมโครเวฟพบว่ามีรูปทรงที่ไม่แน่นอนและมีขนาดที่เล็กอย่างเห็นได้ชัดเจน นอกจากนั้นเห็นการจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อน เมื่อพิจารณาที่กำลังขยายเพิ่มมากขึ้นจะเห็นได้ว่า ผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลที่ผ่านการกระตุ้นด้วย KOH ทำให้เกิดรูพรุนขนาดใหญ่มีลักษณะกลม โดยการใช้พลังงานจากไมโครเวฟในการกระตุ้นนั้นส่งให้รูพรุนที่เกิดขึ้นมีขนาดใหญ่กว่าการพลังงานจากเตาไฟฟ้าในการกระตุ้น



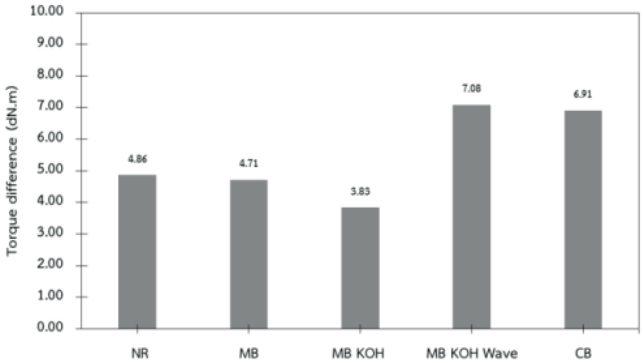
ภาพที่ 1 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดของผงคาร์บอนจากกากน้ำตาล และ ผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลที่ผ่านการกระตุ้นด้วย KOH ให้ความร้อนโดยพลังงานจากไมโครเวฟ และ พลังงานความร้อนจากเตาไฟฟ้า (a) MB (b) MB KOH Wave (c) MB KOH ที่กำลังขยาย 500 เท่า และ (d) MB (e) MB KOH Wave (f) MB KOH ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า

การทดสอบสมบัติของยางธรรมชาติที่มีผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาล (MB) และผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลที่ผ่านการกระตุ้นด้วย KOH ให้ความร้อนโดยพลังงานจากไมโครเวฟ (MB KOH Wave) และพลังงานความร้อนจากเตาไฟฟ้า (MB KOH)

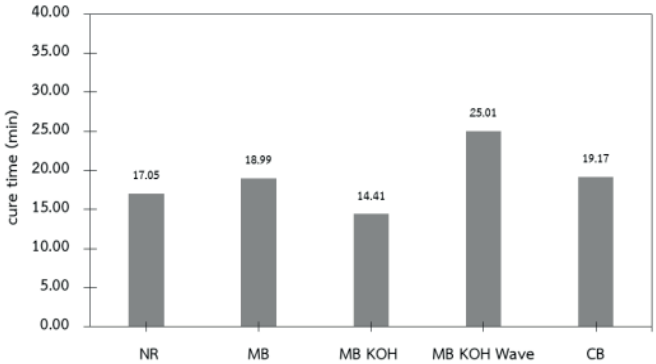
การศึกษาลักษณะการคงรูป (Cure Characteristics)

นำผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลและผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลที่ผ่านการกระตุ้นด้วยKOH ให้ความร้อนโดยพลังงานจากไมโครเวฟและเตาไฟฟ้าที่เตรียมได้มาใช้เป็นสารตัวเติมศึกษาสมบัติการคงรูปในยางธรรมชาติในปริมาณที่เท่ากัน คือ 10 phr โดยภาพที่ 2a แสดงผลของค่าของผลต่างแรงบิด (Torque Difference) ของยางคอมพาวด์ที่เติมผงคาร์บอนจากกากน้ำตาล โดยค่าผลต่างแรงบิดบ่งบอกถึงค่ามอดูลัสที่เพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากการเกิดอันตรกิริยาระหว่างยางกับสารตัวเติม และการเกิดพันธะเชื่อมขวางระหว่างสายโซ่โมเลกุล

ของยางที่เพิ่มขึ้นด้วย (Crosslink Density) ผลทำให้สายโซ่โมเลกุลยางเคลื่อนที่ได้น้อยลงจึงทำให้ยางคงรูปมีความแข็งเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเติมสารตัวเติมลงไป มีผลทำให้สายโซ่โมเลกุลยางเคลื่อนที่ได้น้อยลงจึงทำให้ยางคงรูปมีความแข็งเพิ่มขึ้น จากการทดลองจะเห็นได้ว่า ค่าของผลต่างแรงบิดของยางคอมพาวด์ที่เติมผงคาร์บอนจากกากน้ำตาล (MB) ลงในยางธรรมชาติก็สูงกว่า ยางคอมพาวด์ที่ไม่ได้เติมสารตัวเติม (Unfilled) และเมื่อใช้ผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลที่กระตุ้นด้วย KOH โดยใช้พลังงานจากไมโครเวฟ (MB KOH Wave) มีค่าผลต่างแรงบิดสูงกว่าการใช้ผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลชนิดอื่นๆ อาจเพราะผงคาร์บอน MB KOH Wave สามารถเกิดอันตรกิริยากับยางธรรมชาติได้มากกว่าผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลชนิดอื่น เนื่องจากมีขนาดอนุภาคเล็ก มีพื้นที่ผิวมากกว่าและมีรูพรุนขนาดใหญ่ที่เกิดชัดเจน ส่งผลให้มี Actives Sites ในการเกิดอันตรกิริยาได้มาก [11] ภาพที่ 2b แสดงเวลาการคงรูป หรือ Cure Time (tc_{90}) ของยางธรรมชาติที่มีผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลโดยพลังงานจากไมโครเวฟและเตาไฟฟ้า จะเห็นได้ว่าเวลาคงรูปผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลที่กระตุ้นด้วย KOH โดยใช้พลังงานจากไมโครเวฟมีระยะเวลาในการคงรูปที่มากที่สุด นั่นอาจเป็นเพราะผงคาร์บอนดังกล่าวอาจมีหมู่คาร์บอนิลที่เกิดขึ้นบริเวณรูพรุนอาจดูดซับสารตัวเร่งปฏิกิริยาในการคงรูป ส่งผลให้เกิดการคงรูปที่ยากขึ้นเวลาที่ใช้จึงเพิ่มขึ้น [3]



(a)

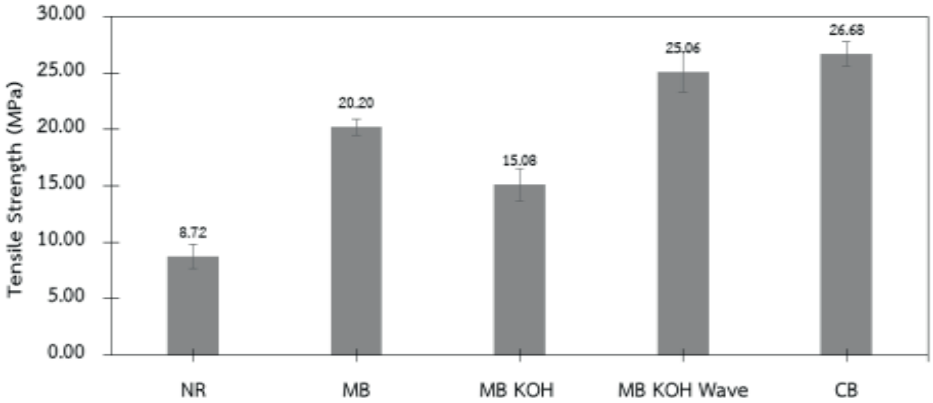


(b)

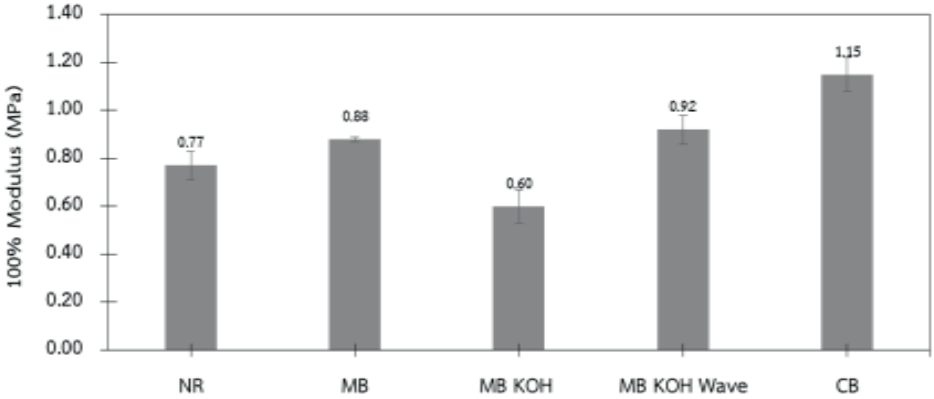
ภาพที่ 2 (a) ผลต่างแรงบิด (Torque Difference: M_H-M_L) และ (b) เวลาการคงรูป ของยางธรรมชาติมีผงคาร์บอนจากกากน้ำตาล และผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลที่ผ่านการกระตุ้นด้วย KOH โดยพลังงานจากไมโครเวฟ และพลังงานความร้อนจากเตาไฟฟ้าเป็นสารตัวเติม

การทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึง ความต้านทานต่อการฉีกขาด และความต้านต่อตัวทำละลาย

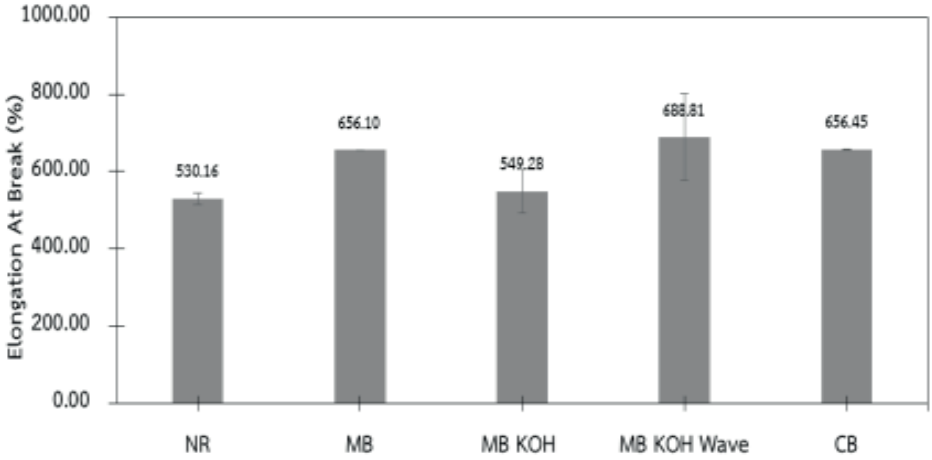
ผลการทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงของยางธรรมชาติที่มีผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลและผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลที่ผ่านการกระตุ้นด้วย KOH โดยพลังงานจากไมโครเวฟและเตาไฟฟ้าลงในยางธรรมชาติที่มีผลต่อความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) มอดูลัส ณ ระยะยืดตัว 100 % (Tensile Modulus at 100 % Elongation) และระยะยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation At Break) แสดงดังภาพที่ 3 จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าความต้านทานต่อแรงดึง และมอดูลัส ณ ระยะยืดตัว 100 % ของยางธรรมชาติที่เติมผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลทุกชนิดในปริมาณ 10 phr มีค่าความต้านทานต่อแรงดึง และมอดูลัส ณ ระยะยืดตัว 100 % เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเติมผงคาร์บอนที่กระตุ้นด้วย KOH โดยพลังงานจากไมโครเวฟ (MB KOH Wave) และมีค่าใกล้เคียงกับผงเขม่าดำ (CB) ในขณะที่ระยะยืดตัว ณ จุดขาดของยางธรรมชาติที่เติมผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 550-690 %



(a)



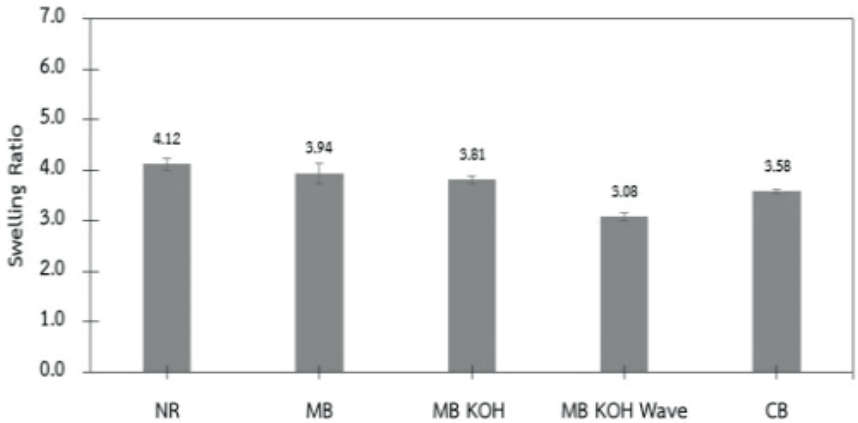
(b)



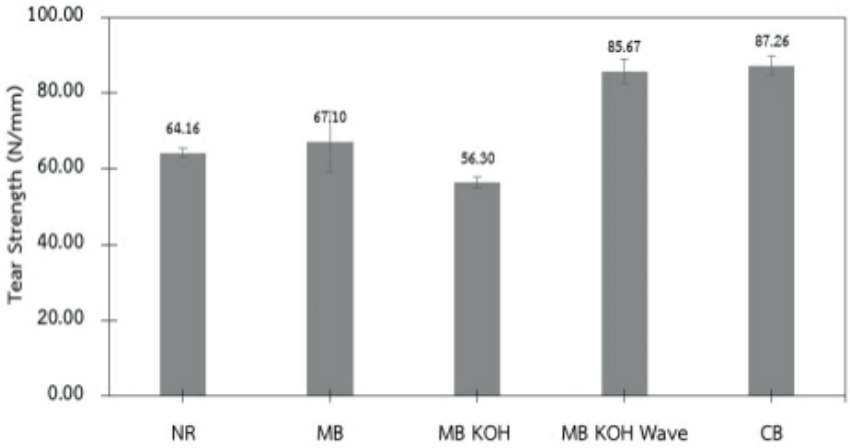
(c)

ภาพที่ 3 สมบัติความต้านทานต่อแรงดึง (a) ความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) (b) ค่ามอดูลัสที่ระยะยืด 100 % (100 % Modulus) และ (c) ระยะยืด ณ จุดขาด (Elongation at Break) ของยางธรรมชาติมีผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลและ ผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลที่ผ่านการกระตุ้นด้วย KOH โดยพลังงานจากไมโครเวฟ และพลังงานความร้อนจากเตาไฟฟ้าเป็นสารตัวเติม

ภาพที่ 4 แสดงการทดสอบความต้านทานต่อการฉีกขาดและการทดสอบการบวมตัวในตัวทำละลายของยางธรรมชาติที่เติมผงคาร์บอนจากกากน้ำตาล และผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลที่ผ่านการกระตุ้นด้วย KOH โดยพลังงานจากไมโครเวฟ (MB KOH Wave) และ พลังงานความร้อนจากเตาไฟฟ้า (MB KOH) พบว่าเมื่อเติมผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลที่กระตุ้นโดยการใช้พลังงานจากไมโครเวฟลงในยางธรรมชาติส่งผลให้ความต้านทานต่อการฉีกขาดเพิ่มมากขึ้น และสามารถทนต่อการบวมตัวในตัวทำละลายได้ดี จากผลของการทดสอบการบวมตัวรายงานโดยใช้ค่า Swelling Ratio เมื่อค่า Swelling Ratio น้อยนั่นคือยางมีการบวมตัวที่น้อย หรือ สามารถทนต่อการบวมตัวในตัวทำละลายได้ดีนั่นเอง จากสมบัติของ ยางธรรมชาติที่เพิ่มมากขึ้นและมีค่าใกล้เคียงกับผงเขม่าดำ (CB) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการมีพื้นที่ผิวที่มากขึ้นของผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลและการเกิดรูพรุนที่ชัดเจนทำให้สามารถเกิดอันตรกิริยาได้มากขึ้นส่งผลให้มีสมบัติที่ดีขึ้น



(a)



(b)

ภาพที่ 4 (a) ความต้านทานต่อการฉีกขาด และ (b) ความต้านต่อตัวทำละลาย ของยางธรรมชาติมีผงคาร์บอนจากกากน้ำตาล และผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลที่ผ่านการกระตุ้นด้วย KOH โดยพลังงานจากไมโครเวฟ และพลังงานความร้อนจากเตาไฟฟ้าเป็นสารตัวเติม

สรุปผลการวิจัย

การเตรียมผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลเพื่อมาใช้เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติในงานวิจัยนี้สามารถเตรียมได้จากการนำผงคาร์บอนจากกากน้ำตาล (MB) มากระตุ้นด้วยสารเคมี คือ KOH ในอัตราส่วนโดยน้ำหนัก MB:KOH คือ 1:4 โดยให้พลังงานความร้อนด้วยไมโครเวฟ (MB KOH Wave) เปรียบเทียบกับพลังงานความร้อนด้วยเตาไฟฟ้า (MB KOH) จากการศึกษาพลังงานความร้อนที่ใช้ในการกระตุ้นพบว่าผงคาร์บอนจากกากน้ำตาล พบว่าผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลที่ผ่านการกระตุ้นด้วย KOHโดยให้ความร้อนด้วยพลังงานไมโครเวฟนั้นมีพื้นที่ผิวและมีรูพรุนที่มากกว่าการใช้พลังงานความร้อนจากเตาไฟฟ้าเนื่องจากการใช้พลังงานไมโครเวฟนั้นเป็นการส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้เกิดการสั่นของโมเลกุล ส่งผลให้สารเคมีที่ใช้กระตุ้น หรือ KOH เข้าไปแทรกตัวในโครงสร้างได้มากขึ้นและเกิดการสลายตัวของโครงสร้างซึ่งหลุดออกไปในรูปสารระเหย จึงเกิดความเป็นรูพรุนมากขึ้น เมื่อนำผงคาร์บอนต่าง ๆ ที่ได้ไปเป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติพบว่ายางธรรมชาติที่มีผงคาร์บอนที่กระตุ้นด้วย KOH โดยให้ความร้อนจากพลังงานไมโครเวฟ มีสมบัติการคงรูป สมบัติความต้านทานต่อแรงดึง ความต้านทานต่อการฉีกขาด และความต้านทานต่อการบวมตัวในตัวทำละลายดีที่สุดใกล้เคียงกับผงเขม่าดำ (CB)

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางด้านแก้วและวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม และศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมยางไทย มหาวิทยาลัยมหิดล ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการวิเคราะห์ X-ray Fluorescence (XRF) และ การทดสอบสมบัติการคงรูปของยางธรรมชาติ

References

[1] Yangthong, H., Pichaiyut, S., Jumrat, S., Wisunthorn, S., & Nakason, C. (2018). Novel natural rubber composites with geopolymer filler. *Advances in Polymer Technology*, *37*(7), 2651–2662.

[2] Broderick, G.A., & Radloff, W.J. (2004). Effect of molasses supplementation on the production of lactating dairy cows fed diets based on alfalfa and corn silage. *Journal of Dairy Science*, *87*, 2997–3009.

[3] Saowapark, T., Plao-le, S., Chaichana, E., & Jaturapiree, A. (2017). Role of eco-friendly Molasses carbon powder as a filler in natural rubber vulcanizates. *Materials Today: Proceedings*, *4*(5), 6450–6457.

[4] Homkeing, S., & Saowapark, T. (2017). A study on properties of nitrile rubber filled with molasses carbon filler. *Thaksin University Journal*, *20*(3), 193–200.

[5] Foo, K. Y., & Hameed. B. (2009). Recent developments in the preparation and regeneration of activated carbons by Microwaves. *Elsevier Advances in Colloid and Interface Science, 149*, 19–27.

[6] Qin, S.L., Zheng, T., Li, N., Wang, P., & Abulikemu, G. (2010) Modification of bamboo-based activated carbon using microwave radiation and its effects on the adsorption of methylene blue. *Applied Surface Science, 256,* 3309–3315.

[7] Hidayu, A. R., & Muda, N. (2016). Preparation and characterization of impregnated activated carbon from palm kernel shell and coconut shell for CO_2 capture. *Procedia Engineering*, *148*, 106–113.

[8] Shaaban, A., Se, S. M., Ibrahim, I. M., & Ahsan, Q. (2015). Preparation of rubber wood sawdust based activated carbon and its use as a filler of polyurethane matrix composites for microwave absorption. *New Carbon Letter*, *30*, 167–175.

[9] Chotitham, L., Sumanatrakul, P., & Kongsune, P. (2016). Preparation, characterization and application for lead adsorption of Dendrocalamus Asper Backer bamboo activated carbon. *Thaksin University Journal, 19*(2), 43–51.

[10] Assawasangrat, P., & Juengsamarn, T. (2016). Synthesis activated carbon from coffee residue by using microwave radiation. *Ladkrabang Engineering Journal, 33*(1), 36–41.

[11] Das, A., Debnath, S. C., De, D., & Basu, D. K. (2004). Evaluation of physical properties and curing characteristics of silica filled ethylene–propylene–diene terpolymer in the presence of chloroprene rubber. *Journal of Applied Polymer Science*, *93*, 196–200.