



ผลของอุณหภูมิการคาร์บอนไนซ์ในการเตรียมเขม่าดำจากรำสกัดน้ำมันสำหรับใช้เป็นสารตัวเติมในยาง

Preparation of Defatted Rice Bran Carbon for Using as a Rubber Filler: Effect of Carbonization Temperature

พิไลวรรณ พรประสิทธิ์¹, ดรินญา มุลชัย^{*1}Philaiwan Pornprasit¹, Darinya Moonchai^{*1}¹สาขาวิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์, คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยแม่โจ้, เชียงใหม่, 50290¹Program in Rubber and Polymer Technology, Faculty of Engineering and Agro-Industry, Maejo University, ChianMai, 50290^{*}Corresponding author: Tel: +66-99-2944419, Fax: +66-53-878-113, E-mail: darinyamoonchai@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการเตรียมเขม่าดำจากรำสกัดน้ำมันด้วยวิธีคาร์บอนไนซ์ขึ้น โดยเผารำสกัดน้ำมันในบรรยากาศปกติเพื่อไล่ควัน ก่อนทำการคาร์บอนไนซ์ในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่างๆ ได้แก่ 500, 600, 700, 800 และ 900°C เป็นเวลา 60 min จากนั้นวิเคราะห์เขม่าดำจากรำสกัดน้ำมัน (DRBC) เพื่อเปรียบเทียบกับเขม่าดำทางการค้า (เกรด N550) ได้แก่ ขนาดอนุภาคและการกระจายของขนาดอนุภาค โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ องค์ประกอบทางเคมีโดยวัดปริมาณรังสีเอ็กซ์ฟลูออเรสเซนซ์ หาค่าพื้นที่ผิวจำเพาะโดยวิธีบีอีที และศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าขนาดอนุภาคของ DRBC มีค่าตั้งแต่ 74-102 μm และมีการกระจายของขนาดอนุภาคกว้าง การคาร์บอนไนซ์ที่ 600°C ให้ขนาดอนุภาคที่เล็กที่สุด (74 μm) โครงสร้างผลึกของ DRBC เป็นผลึกของคาร์บอนที่มีการเรียงตัวผลึกแบบรอมโบฮีดรัล และประกอบไปด้วยสารประกอบออกไซด์ต่างๆ ดังนี้ MgO SiO_2 P_2O_5 K_2O CaO MnO Fe_2O_3 และ ZnO เมื่อทดสอบหาค่าพื้นที่ผิวจำเพาะพบว่า ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของ DRBC ที่อุณหภูมิการคาร์บอนไนซ์ 600°C มีค่าสูงที่สุด (151.99 m^2/g) และจากลักษณะทางสัณฐานวิทยาพบว่า DRBC มีการกระจายตัวดีที่สุดในอุณหภูมิการคาร์บอนไนซ์ 600°C เมื่อเปรียบเทียบกับเขม่าดำเกรด N550 พบว่า DRBC มีพื้นที่ผิวจำเพาะที่มากกว่า N550

คำสำคัญ: ยาง, เขม่าดำจากรำสกัดน้ำมัน, เขม่าดำ, อุณหภูมิการคาร์บอนไนซ์

Abstract

Defatted rice bran carbon (DRBC) was prepared using different carbonization temperature at 500, 600, 700, 800 and 900°C for 60 min. Particle size, particle size distribution, crystal structure, chemical compositions, specific surface area and morphology of DRBC were characterized. DRBC gave the broad particle size distribution and the ranging size from 74-102 μm . The smallest particle size (74 μm) was observed at 600°C. From XRD analysis, DRBC showed rhombohedral structure form. The chemical compositions of DRBC were consisted of MgO , SiO_2 , P_2O_5 , K_2O , CaO , MnO , Fe_2O_3 and ZnO . Moreover, specific surface area of 600°C carbonized DRBC was the highest value (151.99 m^2/g). Scanning electron micrograph of 600°C carbonized DRBC showed the best particle dispersion. Compared to N550 carbon black, 600°C carbonized DRBC gave higher specific surface area.

Keywords: Rubber, Defatted rice bran carbon, Carbon black, Carbonization temperature

1 บทนำ

เขม่าดำเป็นสารตัวเติมเสริมแรงที่สำคัญและนิยมใช้มากที่สุดในอุตสาหกรรมยาง การเติมเขม่าดำลงไปยาง ทำให้ผลิตภัณฑ์ยางมีสมบัติเชิงกลต่างๆ เช่น ความทนต่อแรงดึง ความทนต่อการฉีกขาด และความทนทานต่อการขัดถูดีขึ้น ในช่วงไม่กี่ทศวรรษที่ผ่านมาเขม่าดำได้ถูกใช้เป็นสารตัวเติมเสริมแรงในยาง (Maiti et

al., 2008, Fu et al., 2013) แต่เขม่าดำที่ใช้ในอุตสาหกรรมยางส่วนใหญ่ได้จากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของน้ำมันหรือแก๊สธรรมชาติซึ่งเป็นวัตถุดิบที่ใช้แล้วหมดไป และยังใช้พลังงานในการผลิตสูง เมื่อปัญหาการใช้พลังงานที่มากเกินไปและปัญหาเรื่องสิ่งแวดล้อมนั้นเริ่มมีมากขึ้นเรื่อยๆ ที่ผ่านมามีงานวิจัยที่ศึกษาการใช้วัสดุจากแหล่งกำเนิดธรรมชาติมาเป็นสารตัวเติมในยาง เช่น ไคติน (Gopalan Nair et al., 2003) แป้ง (Li et al., 2013)

เซลลูโลส (Pei et al., 2011) เส้นใยกากอ้อย (Kanking et al., 2012) เปลือกไข่ (Kang et al., 2010) ถั่วกลีบขาว (Helson, 2007, Ismail et al., 1999, Ismail et al., 2001) ถั่วลันเตาและเปลือกข้าวโพด (พิไลวรรณ และคณะ, 2556) และรำสกัดน้ำมัน (Moonchai et al., 2012, Moonchai, D. and Moonchai, S., 2013, Moonchai et al., 2015) เป็นต้น ซึ่งนอกจากจะช่วยรักษาสิ่งแวดล้อมแล้ว ยังเป็นการลดต้นทุนในการผลิตยางคอมพาวด์อีกด้วย ดังนั้นหากสามารถหาวัสดุจากธรรมชาติที่เป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาผลิตเขม่าดำเพื่อทดแทนเขม่าดำจากน้ำมันหรือแก๊สธรรมชาติที่นิยมใช้มากในอุตสาหกรรมยาง จะทำให้เกิดสารตัวเติมชนิดใหม่ที่จัดเป็นวัสดุทดแทน (Renewable material) แล้วยังสามารถเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรได้อีกด้วย

งานวิจัยนี้จึงสนใจนำวัสดุชีวมวลได้แก่รำสกัดน้ำมันมาเตรียมเป็นเขม่าดำ เพื่อใช้เป็นสารตัวเติมสำหรับยาง ซึ่งรำสกัดน้ำมันเป็นผลพลอยได้จากการนำรำละเอียดไปสกัดเอาน้ำมันออกโดยวิธีทางเคมี งานวิจัยของ (Moonchai et al., 2012) และ (Moonchai et al., 2015) ศึกษาการใช้รำสกัดน้ำมันเป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติพบว่า สมบัติเชิงกลต่าง ๆ เช่น ความทนต่อแรงดึง ความทนต่อการฉีกขาด และความทนต่อการขัดถูด้อยลงเนื่องจากรำสกัดน้ำมันมีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะต่ำ ($2-4 \text{ m}^2/\text{g}$) และสมบัติการเข้ากับยางธรรมชาติยังไม่ดีพอที่จะให้สมบัติเสริมแรงในยางได้ ดังนั้นเพื่อที่จะเพิ่มความสามารถในการเสริมแรงจึงมีหลายวิธีที่จะช่วยเพิ่มความเข้ากันได้ระหว่างสารตัวเติมกับยาง เช่น การเติมสารคู่ควบ การบดอัด การปรับปรุงพื้นผิว การไฮโดรไลซิสด้วยกรด การไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์ การทำให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยความดันสูง อย่างไรก็ตามวิธีดังกล่าวนี้เกี่ยวข้องกับกระบวนการเตรียมที่ยุ่งยาก รวมไปถึงค่าใช้จ่ายที่มากขึ้น และสิ้นเปลืองพลังงาน (Li et al., 2014) นอกจากนี้วิธีที่กล่าวมาข้างต้น การคาร์บอนไนซ์เป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถลดขนาดอนุภาคของสารตัวเติมได้ ซึ่งเป็นการให้ความร้อนแก่วัตถุดิบที่อุณหภูมิสูงในสภาพไร้ออกซิเจนหรือมีปริมาณออกซิเจนจำกัด เพื่อป้องกันไม่ให้ออกซิเจนเกิดการลุกไหม้และกลายสภาพเป็นเถ้า โดยในระหว่างการคาร์บอนไนซ์นั้นธาตุที่ไม่ใช่คาร์บอน เช่น ไฮโดรเจนและออกซิเจนจะถูกจัดออกไปอยู่ในสถานะแก๊ส (เจือจันท์, 2556)

งานวิจัยนี้ศึกษาการคาร์บอนไนซ์รำสกัดน้ำมัน เพื่อเตรียมเป็นเขม่าดำจากรำสกัดน้ำมัน (DRBC) โดยการนำรำสกัดน้ำมันมาเผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่าง ๆ จากนั้นวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของเขม่าดำที่เตรียมได้ที่อุณหภูมิต่างๆ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการคาร์บอนไนซ์รำสกัดน้ำมันให้ได้เขม่าดำที่มีสมบัติที่ติดเหมาะกับการนำไปใช้เป็นสารตัวเติมในอุตสาหกรรมยางต่อไป และเปรียบเทียบสมบัติของเขม่าดำจากรำสกัดน้ำมันที่เตรียมได้กับเขม่าดำทางการค้าเกรด N550

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 อุปกรณ์

- 1) เตาเซรามิกแบบใช้ไฟฟ้า (TnF-66-3, Paragon, Paragon Industries, Texas, USA)
- 2) เครื่องตรวจสอบขนาดอนุภาคและการกระจายขนาด (Particle Analyzer Laser, Diffraction: Mastersizer S, Malvern, Malvern Instruments Ltd., Worcestershire, UK)
- 3) เครื่องตรวจสอบโครงสร้างผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction: MINIFLEX II, Rigaku, Rigaku Americas, Texas, USA)
- 4) เครื่องตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีโดยวัดปริมาณรังสีเอกซ์ฟลูออเรสเซนซ์ (Energy Dispersive X-ray Fluorescence: JSX-3400R, JEOL, JEOL Ltd., Tokyo, JAPAN)
- 5) เครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิว โดยวิธีบีอีที (Brunauer-Emmett-Teller; BET: Autosorb 1 MP, Quantachrome, Quantachrome Instruments, Florida, USA)
- 6) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy; SEM: JSM5410-LV, JEOL, JEOL Ltd., Tokyo, JAPAN)

2.2 วิธีการเตรียมเขม่าดำจากรำสกัดน้ำมัน

- 1) ร่อนรำสกัดน้ำมันด้วยตะแกรงขนาด 40 เมช เพื่อกำจัดเศษข้าวและสิ่งเจือปนต่าง ๆ ออก จากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 70°C เป็นระยะเวลา 17 ชั่วโมง
- 2) นำรำสกัดน้ำมันที่แห้งแล้ว ไปเผาที่บรรยากาศปกติเพื่อไล่ความชื้นเป็นเวลา 30 min ก่อนทำการคาร์บอนไนซ์โดยนำรำสกัดน้ำมันที่เผาแล้วใส่ในถ้วยกระเบื้อง จากนั้นนำไปเผาในเตาเซรามิกแบบใช้ไฟฟ้า ที่อุณหภูมิ 500, 600, 700, 800 และ 900°C เป็นระยะเวลา 60 min และหาเปอร์เซ็นต์ผลผลิต

2.3 วิเคราะห์หาลักษณะเฉพาะของเขม่าดำจากรำสกัดน้ำมันด้วยเทคนิคต่าง ๆ ดังนี้

- 1) การตรวจสอบขนาดอนุภาค
ตรวจสอบขนาดอนุภาคและการกระจายขนาดโดยใช้เครื่องวัดขนาด (Particle Analyzer, Malvern, Mastersizer S: Range length 300 RF, Beam length 2.40 mm)
- 2) การตรวจสอบโครงสร้างผลึก
ตรวจสอบโครงสร้างผลึกของเขม่าดำเกรด N550 กับ DRBC โดยใช้ X-ray Diffractometer (RIGAKU, MINIFLEX II) 2 θ อยู่ในช่วง $10-90^{\circ}$, Scan width 0.015° , Scan speed $12^{\circ}/\text{min}$, Accelerating voltage 30 kv และกระแส 15mA
- 3) การตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมี
ตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีของ N550 กับ DRBC โดยใช้ X-ray Fluorescence Spectrometer (JEOL, JSX-3400R) ใช้

หลักการฉายรังสี X-ray ลงในพื้นที่ผิวของตัวอย่าง แล้วแสดงผลออกมาในรูปของสารประกอบออกไซด์

4) การตรวจพื้นที่ผิว

ตรวจสอบโดยวิธีบีอีที (Brunauer-Emmett-Teller; BET model Quantachrome/Autosorb 1 MP) P/P0: 5-11 points, Adsorbate: Nitrogen gas, Out gas temperature: 220°C, Outgas time: 24 hours, Operating time 45.1-72.4 min

5) การตรวจสอบสัณฐานวิทยา

ตรวจสอบโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy; SEM model JOEL/JSM5410-LV) ที่ 20 kv ขึ้นตัวอย่างจะถูกเคลือบด้วยทองเพื่อเพิ่มความชัดเจน และช่วยป้องกันการถูกทำลายขึ้นตัวอย่างจากลำอิเล็กตรอน

3 ผลและวิจารณ์

เมื่อทำการร่อนรำสกัดน้ำมันด้วยตะแกรงขนาด 40 เมช และนำไปเผาไล่ควัน ก่อนนำไปทำการคาร์บอนไนซ์ในเตาเผาไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่าง ๆ ได้เปอร์เซ็นต์ผลผลิตดัง Table 1 จากผลการทดลองพบว่าเปอร์เซ็นต์ผลผลิตของรำสกัดน้ำมันเมื่อทำการเผาไล่ควันอยู่ที่ 20-30% เมื่อนำเข้าไปเผาต่อในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 500, 600, 700, 800 และ 900°C พบว่าเปอร์เซ็นต์ผลผลิตของ DRBC จะลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้สามารถเผาไหม้ส่วนประกอบในรำสกัดน้ำมันออกไปได้ง่ายกว่า

วิเคราะห์ขนาดอนุภาคโดยวัดการกระจายตัวของขนาดอนุภาคเขม่าดำ N550 และ DRBC โดยใช้หลักการเลี้ยวเบนของเลเซอร์ ซึ่งการวัดการกระจายตัวของขนาดอนุภาคนี้ได้ทำการเตรียมสารด้วยการนำเขม่าดำมากระจายตัวในน้ำและทำการ ultrasonication เป็นเวลา 2 min ก่อนทำการวัด ได้ผลดัง Table 2 พบว่า N550 และ DRBC มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคที่กว้าง โดย N550 มีขนาดอนุภาค (พิจารณาที่ค่ากลาง; D50) อยู่ที่ 5.36 μm เมื่อเปรียบเทียบกับ DRBC ที่ทำการคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่า N550 มีขนาดอนุภาคเล็กที่สุด ส่วน DRBC มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 74-102 μm เนื่องจากในขั้นตอนการเตรียม DRBC ก่อนการวัดการกระจายตัวต้องกระจาย DRBC ในน้ำ และ DRBC สามารถดูดซับน้ำได้ จึงทำให้ DRBC มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่า เมื่อเทียบกับขนาดอนุภาคที่ทดสอบด้วย SEM (Figure 2) สำหรับ DRBC ที่คาร์บอนไนซ์ที่ 600°C จะให้ขนาดอนุภาคเล็กรองมาจาก N550 ตามด้วย DRBC ที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์ที่ 500, 800, 900 และ 700°C ตามลำดับ อาจเนื่องมาจากการเพิ่มอุณหภูมิในการเผาจะทำให้ขนาดของ DRBC อยู่รวมกันในลักษณะเป็นแอ็กโกลเมอเรตที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากการหลอมรวมกันของอนุภาค (Chen et al., 2003)

ตรวจสอบโครงสร้างผลึกของเขม่าดำ N550 และ DRBC ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ Figure 1 แสดงโครงสร้างผลึกของเขม่าดำ N550 และ DRBC ที่เผาที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่า N550 แสดงตำแหน่งระนาบของผลึกจากมุม 2 θ ที่ตำแหน่งระนาบ (hkl) ที่ (002) และ (101) ตามลำดับ สอดคล้องกับรูปแบบการเลี้ยวเบนของสารมาตรฐานตาม JCPDS หมายเลข 75-1621 ซึ่งแสดงว่าเป็นผลึกของคาร์บอนที่มีการเรียงตัวผลึกแบบเฮกซะโกนอล (Hexagonal)

ในขณะที่ DRBC ซึ่งเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ แสดงตำแหน่งระนาบของผลึกจากมุม 2 θ ที่ตำแหน่งระนาบ (hkl) ที่ (111) ตามลำดับ สอดคล้องกับรูปแบบการเลี้ยวเบนของสารมาตรฐานตาม JCPDS หมายเลข 75-2078 ซึ่งแสดงว่าเป็นผลึกของคาร์บอนที่มีการเรียงตัวผลึกแบบรอมโบฮีดราล (Rhombohedral)

Table 1 Percentage of yield of DRBC at different carbonized temperature.

Temperature (°C)	% Yield
500	93.97 $\pm$ 0.19
600	90.71 $\pm$ 0.72
700	88.64 $\pm$ 1.01
800	87.80 $\pm$ 1.47
900	86.61 $\pm$ 0.46

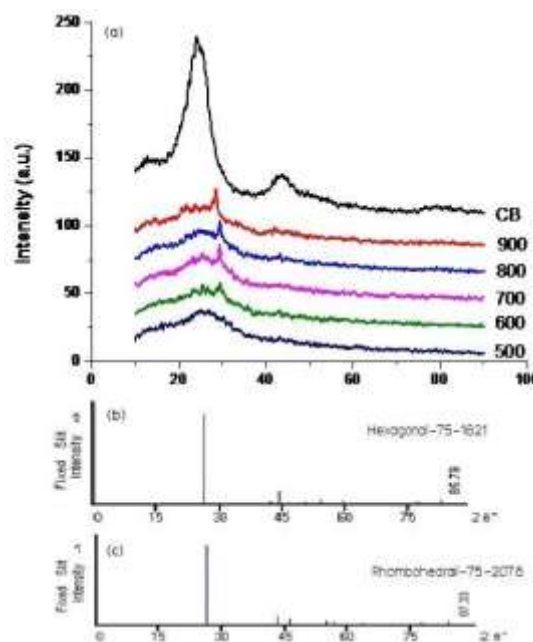


Figure 1 XRD pattern of (a) N550 and DRBC at different carbonized temperature (b) JCPDS Card No. 75-1621 (c) JCPDS Card No. 75-2078.

Table 3 แสดงสารประกอบออกไซด์ของเขม่าดำ N550 และ DRBC พบว่า N550 ประกอบด้วยออกไซด์ของกำมะถัน (SO_3) เพียงอย่างเดียวเนื่องจากข้อจำกัดของเครื่อง XRF ที่สามารถจำเพาะได้เฉพาะธาตุอื่นๆ ยกเว้นคาร์บอน จึงไม่สามารถวิเคราะห์พบคาร์บอนได้ใน N550 ส่วน DRBC ที่ทำการคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ จะพบสารประกอบออกไซด์ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของโลหะออกไซด์ ได้แก่ MgO , SiO_2 , K_2O , CaO , MnO , Fe_2O_3 and ZnO และโลหะออกไซด์ คือ P_2O_5 ซึ่งโดยทั่วไปการเติมสารที่มีองค์ประกอบของโลหะออกไซด์ลงไปในการจะสามารถช่วยกระตุ้นปฏิกิริยาการคงรูปได้ (พงษ์ธร, 2548)

Table 4 แสดงค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของสารตัวเติม พบว่า DRBC มีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะมากกว่าร่าสกัตน้ำมันที่ยังไม่ผ่านการคาร์บอนไนซ์ (DRB) มาก แสดงว่ากระบวนการคาร์บอนไนซ์สามารถช่วยปรับปรุงเพิ่มพื้นที่ผิวจำเพาะให้กับร่าสกัตน้ำมันทำให้ได้สารตัวเติมที่มีสมบัติเหมาะกับการนำไปใช้เพื่อช่วยปรับปรุงสมบัติให้กับยางได้ดียิ่งขึ้น เนื่องจากสารตัวเติมที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงจะทำให้มีพื้นที่ที่จะเกิดแรงกระทำระหว่างยางกับสารตัวเติมเพิ่มสูงขึ้น (พงษ์ธร, 2548) เมื่อเปรียบเทียบค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของ DRBC ที่ทำการคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ กับเขม่าดำทางการค้า N550 พบว่า N550 มีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะน้อยกว่า DRBC

ที่คาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 500-800°C ในขณะที่ DRBC ที่อุณหภูมิ 900°C จะมีพื้นที่ผิวจำเพาะน้อยกว่า และที่อุณหภูมิ 600°C จะได้ DRBC ที่มีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะมากที่สุด อาจเนื่องมาจากการเผาที่อุณหภูมิสูงนั้นทำให้อนุภาคเกิดการแตกโกลเมอเรตกัน (Chen et al., 2003) ส่งผลให้อนุภาคมีขนาดใหญ่ขึ้น รูพรุนและพื้นที่ผิวจำเพาะลดลง

Figure 2 แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของสารตัวเติมโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดจะเห็นว่าอนุภาคปฐมภูมิของ N550 จะอยู่รวมกันเป็นกลุ่มก้อน ซึ่งตามปกติอนุภาคปฐมภูมิของเขม่าดำจะไม่อยู่อย่างเดี่ยวๆ แต่จะเกาะกลุ่มกันเกิดเป็นแอกริเกต และแต่ละแอกริเกตยังสามารถเกาะกลุ่มกันได้อย่างหลวมๆ เรียกว่าแอกริเกตเมอเรต (พงษ์ธร, 2548) ขณะที่อนุภาคปฐมภูมิของ DRBC ที่ทำการคาร์บอนไนซ์ที่ 600°C สามารถอยู่แยกจากกันได้ ส่วน DRBC ที่ทำการคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิอื่น ๆ พบว่าจะอยู่รวมกันเป็นกลุ่มก้อนอย่างหลวมๆ เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาที่สูงขึ้นจะทำให้อนุภาคเกิดการแตกโกลเมอเรต รูพรุนลดลง ขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้น (Chen et al., 2003)

Table 2 Particle size and size distribution of N550 and DRBC at different carbonized temperature.

Chemical	Particle size distribution						
	D10 (μm)	D50 (μm)	D90 (μm)	D[4,3](μm)	D[3,2](μm)	%Residual	%Obscuration
N550	0.94	5.36	20.13	8.45	2.43	1.61	29.47
500°C	33.24	74.82	138.99	80.82	47.65	0.68	14.63
600°C	32.87	74.00	138.91	80.30	47.08	0.72	16.27
700°C	44.48	102.49	197.87	112.52	66.14	0.82	17.20
800°C	39.32	87.02	163.23	94.57	57.38	0.81	16.87
900°C	41.11	95.40	187.95	105.68	61.50	0.81	17.13

D10, D50, and D90 are the cumulative probability size at 10%, 50%, and 90% respectively

Table 3 Chemical compositions of N550 and DRBC at different carbonized temperature.

Chemical composition	Percentage (%)					
	N550	DRBC (500°C)	DRBC (600°C)	DRBC (700°C)	DRBC (800°C)	DRBC (900°C)
SO ₃	100	-	-	-	-	-
MgO	-	7.15	5.73	6.93	6.58	6.29
SiO ₂	-	6.62	7.33	8.28	6.47	7.81
P ₂ O ₅	-	50.18	51.71	50.05	51.72	50.14
K ₂ O	-	32.62	30.13	30.04	30.04	30.67
CaO	-	2.98	2.83	2.62	2.90	2.65
MnO	-	1.05	1.08	0.91	1.09	0.96
Fe ₂ O ₃	-	0.90	0.76	0.70	0.68	0.77
ZnO	-	0.48	0.43	0.46	0.50	0.44

Table 4 Specific surface area of N550 and DRBC at different carbonized temperature.

Temperature (°C)	Specific surface area (m ² /g)
N550	58.20
DRB (40 mesh)	2.83
DRBC (500°C)	138.93
DRBC (600°C)	151.99
DRBC (700°C)	126.85
DRBC (800°C)	86.60
DRBC (900°C)	14.30

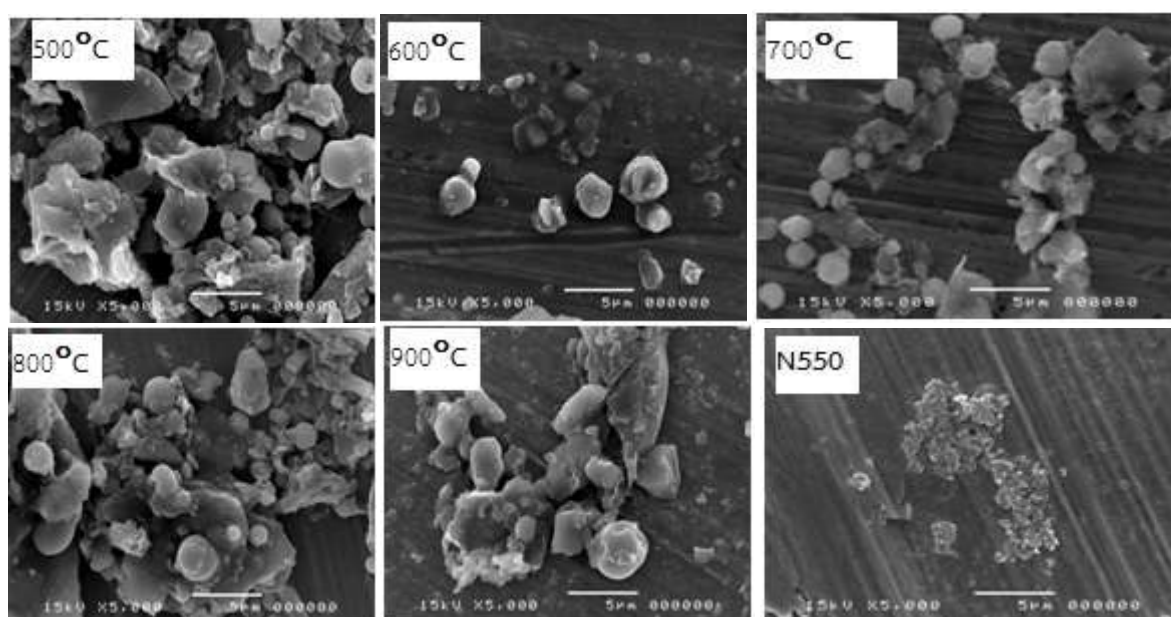


Figure 2 Scanning electron micrographs of N550 and DRBC at different carbonized temperature.

4 สรุป

การคาร์บอนไรส์สกัดน้ำมันที่อุณหภูมิ 600 °C จะได้เขม่าดำ (DRBC) ที่มีขนาดอนุภาคเล็กที่สุด มีพื้นที่ผิวจำเพาะมากที่สุด และมีการกระจายตัวดีกว่าการคาร์บอนไรส์ที่อุณหภูมิอื่น ๆ DRBC ที่เตรียมได้มีออกไซด์ของธาตุต่างๆ ดังนี้ MgO SiO₂ P₂O₅ K₂O CaO MnO Fe₂O₃ และ ZnO เมื่อเปรียบเทียบกับเขม่าดำทางการค้าเกรด N550 พบว่าเขม่าดำ N550 มีขนาดอนุภาคที่เล็กกว่าแต่มีพื้นที่ผิวจำเพาะน้อยกว่า DRBC จากลักษณะทางสัณฐานวิทยาพบว่าอนุภาคปฐมภูมิของเขม่าดำ N550 จะอยู่รวมกันเป็นกลุ่มก้อน ขณะที่อนุภาคปฐมภูมิของ DRBC ที่ทำการคาร์บอนไรส์ที่ 600 °C สามารถอยู่แยกจากกันได้

5 กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้ความสะดวกในการทำวิจัย ทั้งด้านสถานที่ ห้องปฏิบัติการ รวมทั้งครุภัณฑ์ที่ใช้ในการทำวิจัย และงานวิจัยเรื่องนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากคณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

6 เอกสารอ้างอิง

เจือจันทร์ เกตษา. 2556. ผลของอุณหภูมิคาร์บอนในเซชันต่อสมบัติของถ่านชาร์และถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว. วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ. นครราชสีมา: บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยสุรนารี.

พงษ์ธร แซ่อูย. 2547. ยาง: ชนิด สมบัติ และการใช้งาน. กรุงเทพมหานคร: ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค).

พิไลวรรณ พรประสิทธิ์, ภัณณัฐรี เปาริบุตร, ทัดกมล ทองศรี. 2556. สมบัติเชิงกายภาพและสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติที่ใช้ถ่านลอยและเปลือกข้าวโพดเป็นสารตัวเติม. รายงานการประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ประจำปี 2556 หน้า 229-238.

Chen, Y.F., Lee, C.Y., Yeng, M.Y., Chiu, H.T. 2003. The effect of calcination temperature on the crystallinity of TiO₂ nanopowders. *Journal of Crystal Growth* 247, 363-370.

Fu, J.F., Yu, W.Q., Dong, X., Chen, L.Y., Jia, H.S., Shi, L.Y. 2013. Mechanical and tribological properties of natural rubber reinforced with carbon blacks and Al₂O₃ nanoparticles. *Materials & Design* 49, 336-346.

Gopalan, N.K., Dufresne, A. 2003. Crab shell chitin whisker reinforced natural rubber nanocomposites 1.Processing and swelling behavior. *Biomacromolecules* 4, 657-65.

Ismail, H., Nasaruddin, M.N., Rozman, H.D. 1999. The effect of multifunctional additive in white rice husk ash filled natural rubber compounds. *European Polymer Journal* 35, 1429-1437.

Ismail, H., Nizam, J.M., Khalil, H.P.S.A. 2001. The effect of a compatibilizer on the mechanical properties and mass swell of white rice husk ash filled natural rubber/linear low density polyethylene blends. *Polymer Testing* 20, 125-133.

Helson, M.D., Valéria, D.R., Leila, L.Y., Cristina, R.G. 2007. Design and analysis of single-factor experiments: Analysis of variance of the effect of rice husk ash and commercial fillers in NR compounds. *Polymer Bulletin* 58, 597-610.

Kanking, S., Niltui, P., Wimolmala, E. 2012. Use of bagasse fiber ash as secondary filler in silica or carbon black filled natural rubber compound. *Materials & Design* 41, 74-82.

Kang, D.J., Pal, K., Park, S.J., Bang, D.S., Kim, J.K. 2010. Effect of eggshell and silk fibroin on styrene-ethylene/butylene-styrene as bio-filler. *Material and Design* 31, 2216-2219.

Li, M.C., Cho, U.R. 2013. Effectiveness of coupling agents in the poly (methyl methacrylate)-modified starch/styrene-butadiene rubber interfaces. *Materials Letters* 92, 132-135.

Li, M.C., Zhang, Y., Cho, U.R. 2014. Mechanical, thermal and friction properties of rice bran carbon/nitrile rubber composites: Influence of particle size and loading. *Materials & Design* 63, 565-574.

Maiti, M., Bhattacharya, M., Bhowmick, A.K. 2008. Elastomer nanocomposites. *Rubber Chemical Technology*. 81, 384-469.

Moonchai, D., Moryadee, N., Poosodsang, N. 2012. Comparative properties of natural rubber vulcanisates filled with defatted rice bran, clay and calcium carbonate. *Maejo International Journal of Science and Technology* 6(02), 249-258.

Moonchai, S., Moonchai, D. 2012. Modelling and optimization of rebound resilience and hardness of defatted rice bran/calcium carbonate-filled NR vulcanisates. *Polymer Testing* 32, 1472-1478.

- Moonchai, D., Juntamui, P., Ruankum, R. 2015. Utilization of defatted rice bran as a filler for cellular natural rubber. *RMUTI Journal: Special issue 1*, 451-463.
- Pei, A., Malho, J.M., Ruokolainen, J., Zhou, Q., Berglund, L.A. 2011. Strong nanocomposite reinforcement effects in polyurethane elastomer with low volume fraction of cellulose nanocrystals. *Macromolecules* 44, 4422–4427.