

การปรับปรุงประสิทธิภาพการดูดซับของเขม่าดำ ที่ได้จากการเผาขยะพลาสติก

IMPROVEMENT OF ADSORPTION EFFICIENCY ON CARBON BLACK DERIVED FROM PLASTIC WASTE PYROLYSIS

อภิพงษ์ พุฒคำ¹ สุธาสินี หานรุ่งชโรธร² ธนพวรรณ สายทอง² และอัจฉรา อิมคำ พุฒคำ^{2*}
Apipong Putkham¹ Suthasini Hanrungcharothon² Thanaphun Saithong²
and Ajchara Imkum Putkham^{2*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเขม่าดำที่ได้จากการเผาขยะพลาสติกของเทศบาลมาปรับปรุงประสิทธิภาพการดูดซับเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวให้สูงขึ้น โดยการกระตุ้นทางกายภาพและทางเคมี โดยทำการกระตุ้นเขม่าดำที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ ตามด้วยศึกษาชนิดและปริมาณของสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นเขม่าดำ เช่น กรดซัลฟูริก กรดฟอสฟอริก โซเดียมไฮดรอกไซด์ และซิงค์คลอไรด์ เพื่อหาค่าเลขการดูดซับไอโอดีนโดยการไทเทรตกับไอโอดีนซึ่งบอกถึงประสิทธิภาพการดูดซับของเขม่าดำได้ นอกจากนี้ยังได้ทำการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของเขม่าดำด้วยเทคนิคบลูเนอร์เอลเมท์ เทลเลอร์ เทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด/สเปกโตรสโคปีแบบกระจายพลังงาน และเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรเมทรี จากการทดลองพบว่าสภาวะการกระตุ้นที่ให้ค่าเลขการดูดซับไอโอดีนของเขม่าดำที่เหมาะสมคือ อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก เปรียบเทียบกับเขม่าดำก่อนการกระตุ้นมีค่าเลขการดูดซับไอโอดีนเพิ่มขึ้นจาก 110.24 เป็น 200.41 มิลลิกรัมต่อกรัม และพื้นที่ผิวจำเพาะของเขม่าดำสูงขึ้นจาก 5.45 เป็น 12.63 ตารางเมตรต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งมีพื้นที่ผิวจำเพาะเทียบเท่ากับเขม่าดำจากการค้า (11 ตารางเมตรต่อกรัม)

คำสำคัญ: เขม่าดำ ค่าเลขการดูดซับไอโอดีน การกระตุ้น

¹ คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

¹ Faculty of Environment and Resource Studies, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Mahasarakham Province 44150

² คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

² Faculty of Science, Naresuan University, Muang District, Phitsanulok Province 65000

*corresponding author e-mail: aujcharai@nu.ac.th

Received: 13 October 2020; Revised: 22 November 2020; Accepted: 25 November 2020

Abstract

In this research, the adsorption characteristics of carbon black derived from municipal plastic waste pyrolysis were improved by both physical and chemical activations methods for improving of surface area. The carbon black was firstly physically treated with various activation temperature and period of carbonization followed by chemically treated with various types and concentrations of chemicals such as sulfuric acid, phosphoric acid, sodium hydroxide and zinc chloride. The iodine adsorption number (IAN) was calculated *via* iodine titration for indication of adsorption efficiency of the activated carbon black. Furthermore, physical and chemical properties of activated carbon black was characterized by Brunauer-Emmett-Teller, scanning electron microscope/energy dispersive spectroscopy and Fourier transform infrared spectrometry analysis. From experimental results, the suitable condition for activation of carbon black is 400°C for 15 minutes, followed by impregnation with 20% (w/w) sodium hydroxide for 15 minutes. In comparison with non-activated carbon black, both iodine adsorption number and specific surface area increased from 110.24 to 200.41 mg/g and from 5.45 to 12.63 m²/g, respectively. This is indicated that surface area of the activated carbon black is comparable to the commercial carbon black (11 m²/g).

Keywords: Carbon black, Iodine adsorption number, Activation

บทนำ

เนื่องจากขยะพลาสติกในปัจจุบันเป็นปัญหาสำคัญในหลาย ๆ ด้าน เช่น ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน การปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังส่งผลเสียต่อระบบนิเวศต่าง ๆ เป็นต้น ซึ่งขยะพลาสติกส่วนหนึ่งถูกนำกลับมาใช้ใหม่ และอีกส่วนหนึ่งถูกนำไปกำจัดทิ้งโดยวิธีการต่าง ๆ การนำขยะพลาสติกไปกำจัดทิ้งโดยการฝังกลบเป็นวิธีที่สะดวก แต่มีผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม เพราะโดยธรรมชาติพลาสติกถูกย่อยสลายได้ยาก ส่วนการเผาขยะพลาสติกก็ก่อให้เกิดมลภาวะ และเป็นอันตรายอย่างมาก วิธีการแก้ปัญหaxyขยะพลาสติกที่ได้ผลดีที่สุดคือ การนำขยะพลาสติกกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่หรือหลอมขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ใหม่ และพลาสติกยังสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง เช่น การแปรรูปพลาสติกเป็นน้ำมันเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิง จึงมีการนำขยะพลาสติกมาแปรรูปเป็นเขม่าดำซึ่งนอกจากจะเป็นการลดปัญหาสิ่งแวดล้อมแล้วยังเป็นการเพิ่มมูลค่าของขยะได้ เนื่องจากมีการนำเขม่าดำจากการเผาที่อุณหภูมิสูงไปใช้ประโยชน์ในหลายด้าน เช่น เป็นสารเติมแต่งหรือฟิลเลอร์ เพื่อผสมกับยางในการผลิตล้อรถยนต์และสายพานลำเลียง ทำให้อย่างมีคุณสมบัติแข็งแรง ทนต่อแรงดึง ทนต่อการฉีกขาดรวมถึงต้านทานต่อการขัดถูสูงขึ้น และในปัจจุบันได้

มีความพยายามที่จะนำระบบสารตัวเติมผสมระหว่างเขม่าดำและซิลิกาใช้ในการปรับปรุงสมบัติบางประการของยางล้อ นอกจากนี้ยังใช้เขม่าดำสำหรับทำเป็นสี วัสดุเคลือบ หมึก โทนเนอร์สำหรับเครื่องพิมพ์ เขม่าดำยังเป็นสารที่เพิ่มเสถียรภาพความคงรูปของวัสดุพอลิเมอร์ เป็นสารป้องกันไม่ให้ผลิตภัณฑ์เสื่อมสภาพเร็วเนื่องจากรังสีอัลตราไวโอเลต และเป็นสารยึดอายุการใช้งานของยาง (Sae-oui, 1994) อีกทั้งยังสามารถดูดซับน้ำเสียได้ (Budinova et al., 2008) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาสมบัติความพรุนของเขม่าดำที่ได้จากการเผาขยะพลาสติกและนำเขม่าดำมาปรับปรุงให้พื้นที่ผิวสูงขึ้น โดยการกระตุ้นทางกายภาพ เช่น อุณหภูมิ เวลา และการกระตุ้นทางเคมี เช่น H_2SO_4 , H_3PO_4 , $NaOH$ และ $ZnCl_2$ เป็นต้น (Mopoung et al., 2015) โดยศึกษาจากการไทเทรตหาค่าเลขการดูดซับไอโอดีน (Iodine Adsorption Number, IAN) ซึ่งเป็นค่าที่ใช้บ่งบอกถึงความสามารถในการดูดซับไอโอดีนของเขม่าดำและเปรียบเทียบกับเขม่าดำที่ไม่ผ่านการกระตุ้น นอกจากนี้ยังทำการวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวจำเพาะและขนาดรูพรุนของเขม่าดำด้วยเทคนิค BET วิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวและส่วนประกอบของเขม่าดำด้วยเทคนิค SEM/EDS และวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของเขม่าดำด้วยเทคนิค FT-IR

วิธีดำเนินการวิจัย

การเตรียมเขม่าดำ

เขม่าดำที่นำมาศึกษามาจากเตาเผาขยะของเทศบาลนครขอนแก่น โดยนำขยะที่ผ่านการคัดแยกขยะมูลฝอยที่สามารถรีไซเคิลและขายได้ ขยะอันตราย ขยะที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ และขยะที่อาจจะระเบิดได้ออกจากขยะรวม จากนั้นนำขยะที่เหลือผ่านกระบวนการย่อยให้มีขนาดเล็กลงและมีขนาดใกล้เคียงกัน อบให้แห้ง (กรณีที่มีความชื้นสูง) และป้อนเข้าเตาเผาไพโรไลซิส (Pyrolysis) หรือแก๊สซิไฟเออร์ (Gasifier)

การไทเทรตหาปริมาณค่าการดูดซับไอโอดีน

นำเขม่าดำที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสขยะพลาสติกของเทศบาลนครขอนแก่น มาทำการหาปริมาณในการดูดซับไอโอดีน ตามมาตรฐาน ASTM D1510-06a โดยทำการชั่งเขม่าดำ 0.125xg เติมน้ำละลาย 0.0473 N I_2 ปิดฝาจุกแล้วทำการเขย่าเพื่อให้เขม่าดำทำการดูดซับไอโอดีน จากนั้นทำการแยกเขม่าดำกับสารละลายไอโอดีนออกโดยใช้กระดาษกรอง ทำการปิเปตสารละลายที่ทำการดูดซับไอโอดีนแล้วปริมาตร 20 mL ทำการไตเตรตด้วยสารละลาย 0.0394 N $Na_2S_2O_3$ บันทึกปริมาตรของ $Na_2S_2O_3$ ที่ใช้ไป ทำการคำนวณหาค่า IAN ดังสมการ (1)

$$I = [(B-S)/B] \times (V/W) \times N \times 126.91 \dots\dots\dots(1)$$

เมื่อ

I = ค่าการดูดซับไอโอดีน (mg ของไอโอดีน / g ของเขม่าดำ หรือ g/kg) W = น้ำหนักเป็นกรัมของเขม่าดำ (g)

B = ปริมาตรของโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ไทเทรตกับแบลนด์ (mL) N = นอร์มัลลิตีของสารละลายไอโอดีน (meq/mL)

S = ปริมาตรของโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ไทเทรตกับสารตัวอย่าง (mL) 126.91 = มิลลิกรัมสมมูลของไอโอดีน (mg/meq)

การกระตุ้นเขม่าดำทางกายภาพ

นำเขม่าดำที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสขยะพลาสติกของเทศบาลนครขอนแก่น มาทำการกระตุ้นทางกายภาพ เช่น อุณหภูมิ และเวลา ในการกระตุ้นเขม่าดำ โดยทำการชั่งเขม่าดำ 1.000x g ในถ้วยครุชเชิล นำไปให้ความร้อนโดยการเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิตั้งแต่ 200-700 °C เป็นเวลา 30 นาที และทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น จากนั้นนำเขม่าดำที่ผ่านการกระตุ้นโดยการเผามาไทเทรตหาค่า IAN ดังสมการ (1) และเมื่อได้อุณหภูมิที่เหมาะสมในการกระตุ้นเขม่าดำที่ให้ค่า IAN สูงสุด จึงนำอุณหภูมิดังกล่าวมาใช้ในการศึกษาเวลาในการกระตุ้นในช่วงเวลา 5-75 นาที เพื่อหาค่า IAN ที่สูงสุดต่อไป

การกระตุ้นเขม่าดำทางเคมี

ทำโดยการชั่งเขม่าดำ 0.500x g เติมสารเคมี เช่น H_2SO_4 , H_3PO_4 , NaOH และ $ZnCl_2$ ที่ความเข้มข้น 5% แล้วทำการระเหยสารเคมีออกโดยการให้ความร้อน ทำการล้างและกรองเขม่าดำด้วยน้ำร้อน แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 100°C จนแห้ง และชั่งน้ำหนัก แล้วนำเขม่าดำที่ผ่านการกระตุ้นทางเคมีไปไทเทรตหาค่า IAN ดังสมการ (1) และเมื่อได้สารเคมีที่ให้ค่า IAN สูงสุด จึงนำสารเคมีดังกล่าวมาทำการหาปริมาณสารเคมีในช่วงเข้มข้น 5-25% เพื่อหาค่า IAN ที่สูงสุดต่อไป

การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของเขม่าดำ

วิเคราะห์หาพื้นที่ผิวจำเพาะและขนาดรูพรุนของเขม่าดำด้วยเทคนิค Brunauer Emmett Teller (BET) (ยี่ห้อ Micromeritics รุ่น Flowprep 060 ประเทศสหรัฐอเมริกา) โดยนำตัวอย่างที่ผ่านการไล่ความชื้นแล้วไปดูดซับไนโตรเจนที่ $-195^{\circ}C$ นำตัวอย่างอีกส่วนหนึ่งผ่านการไล่ความชื้นแล้วไปวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวและส่วนประกอบของเขม่าดำด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM/EDS) (ยี่ห้อ Angstrom Scientific รุ่น Leo1455VP ประเทศสหรัฐอเมริกา) และวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของเขม่าดำด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FT-IR) (ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น Spectrum GX ประเทศสหรัฐอเมริกา) เตรียมตัวอย่างโดยใช้เทคนิคนำตัวอย่างผสมกับ KBr ก่อนนำไปตรวจวัด

ผลการวิจัย

ผลการศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของเขม่าดำก่อนการกระตุ้น

เขม่าดำที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสขยะพลาสติกเทศบาลนครขอนแก่นมีลักษณะเป็นทรงกลมสีดำ มีรูปร่างเป็นเม็ดเล็ก ๆ และจะอยู่รวมกันเป็นกลุ่มก้อน ดังภาพที่ 5A (Figure 5A) จากการไทเทรตหาค่า IAN ของเขม่าดำก่อนการกระตุ้นพบว่าได้ค่า IAN เฉลี่ยเท่ากับ 110.24 ± 8.51 mg/g

ผลการศึกษาหลังการกระตุ้นเขม่าดำโดยการไทเทรตหาปริมาณค่าการดูดซับไอโอดีน

ผลของเขม่าดำที่ทำการกระตุ้นด้วยอุณหภูมิต่าง ๆ จากการศึกษาอุณหภูมิใช้ในการกระตุ้นของเขม่าดำ โดยใช้อุณหภูมิตั้งแต่ 200-700°C เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นทำการไทเทรตหาค่า IAN ดังสมการ (1) ได้ผลแสดงดังภาพที่ 1 (Figure 1)

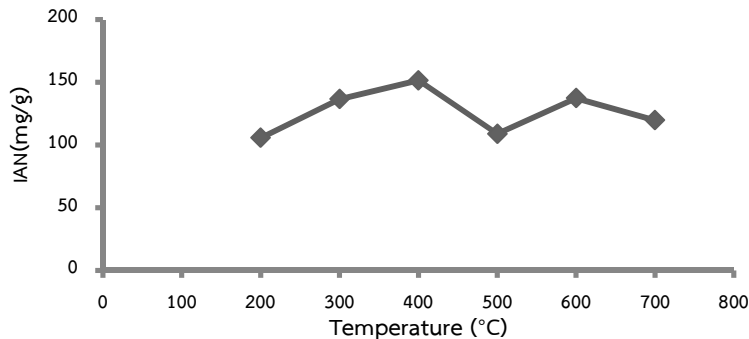


Figure 1 Iodine adsorption number of carbon black after thermal activation between 200-700 °C for 30 minutes.

จากผลการศึกษาอุณหภูมิในการกระตุ้นของเขม่าดำพบว่าที่อุณหภูมิ 400°C เวลา 30 นาที ให้ค่า IAN สูงสุด คือ 151.39 mg/g ซึ่งการดูดซับโมเลกุลไอโอดีนสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนขนาดเล็ก ค่า IAN ของเขม่าดำในการกระตุ้นจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มอุณหภูมิการกระตุ้นอย่างมาก แต่เมื่ออุณหภูมิมากกว่า 400°C ค่า IAN จะลดลงเนื่องจากการขยายขนาดรูพรุนขนาดเล็กไปเป็นรูพรุนขนาดกลางและขนาดใหญ่ ที่เกิดจากการเผาไหม้มากเกินไป (Thammee, 2012) ดังนั้นจะเห็นว่าที่อุณหภูมิ 500-700°C ค่า IAN จะเริ่มน้อยลงและคงที่ จึงเลือกอุณหภูมิที่ 400°C ที่ให้ค่า IAN สูงสุด เพื่อทำการศึกษาเวลาในการกระตุ้นต่อไป

ผลของเขม่าดำที่ทำการกระตุ้นด้วยอุณหภูมิ 400°C ที่เวลาต่าง ๆ จากอุณหภูมิที่ 400°C ทำการกระตุ้นเขม่าดำแล้วให้ค่า IAN สูงสุดจึงทำการศึกษาเวลาที่ใช้ในการกระตุ้นตั้งแต่ 5-75 นาที แล้วทำการไทเทรตหาค่า IAN แสดงผลการทดลองดังภาพที่ 2 (Figure 2)

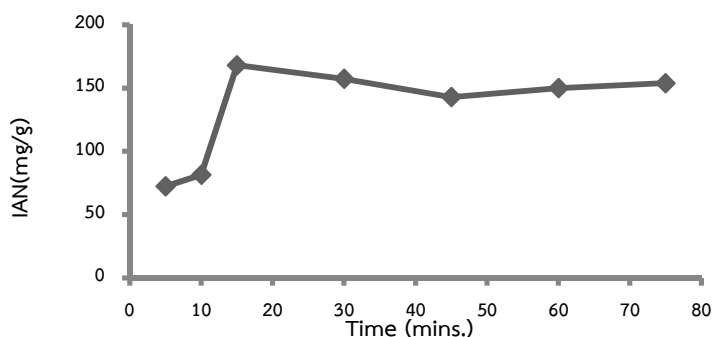


Figure 2 Iodine adsorption number of carbon black after thermal activation at 400°C for 5 - 75 minutes.

จากการศึกษาเวลาที่ใช้ในการกระตุ้นที่อุณหภูมิ 400°C พบว่าที่เวลา 15 นาที ให้ค่า IAN สูงสุดคือ 167.99 mg/g การใช้อุณหภูมิและเวลาในการกระตุ้นน้อยจึงมีปริมาณของเถ้าเกิดขึ้นไม่มาก เนื่องจากเถ้าเป็นสารอนินทรีย์ที่ไม่ระเหยและจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิและเวลาการกระตุ้นเพิ่มขึ้น มีผลทำให้พื้นที่ผิวของเขม่าดำน้อยลง เพราะเถ้าจะไปปิดกั้นรูพรุนของคาร์บอน ดังนั้นจึงใช้สภาวะกระตุ้นที่อุณหภูมิ 400 °C เวลา 15 นาที ซึ่งเป็นสภาวะที่มีค่า IAN สูงสุด ศึกษาการกระตุ้นต่อไป

ผลของสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นเขม่าดำ

จากการศึกษาสารเคมี คือ H_2SO_4 , H_3PO_4 , NaOH และ ZnCl_2 ที่ความเข้มข้น 5% โดยใช้เขม่าดำที่ผ่านการกระตุ้นที่อุณหภูมิ 400°C เป็นเวลา 15 นาที และทำการไทเทรตหาค่า IAN ตามสมการ (1) ให้ผลแสดงดังภาพที่ 3 (Figure 3)

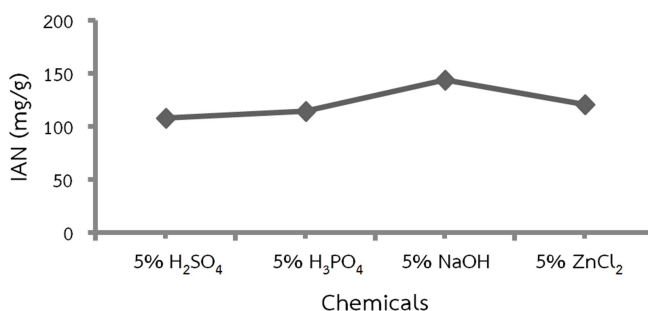


Figure 3 Iodine adsorption number of carbon black after activation with various chemicals at 400 °C for 15 minutes.

จากภาพที่ 3 (Figure 3) พบว่า 5% NaOH ให้ค่า IAN ของเขม่าดำสูงสุดคือ 143.66 mg/g เนื่องจากเมื่อเขม่าดำมีการกระตุ้นด้วย NaOH ซึ่งมีความเป็นเบสแก่เมื่อเกิดการแตกตัวได้ Na^+ และ OH^- จะทำปฏิกิริยาบนพื้นผิวเขม่าดำที่มีหมู่ฟังก์ชัน Carboxylic acid หรือหมู่ฟังก์ชันที่เป็นกรด ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และเมื่อมีการให้ความร้อนจะทำให้ CO_2 หลุดออกจากพื้นผิวเขม่าดำจึงทำให้เขม่าดำเกิดช่องว่างรูพรุนขึ้น ส่งผลให้เขม่าดำมีประสิทธิภาพในการดูดซับเพิ่มมากขึ้น (Kladcharoen, 2011) จึงเลือกสารเคมี NaOH มาศึกษาปริมาณของสารเคมีที่เหมาะสมต่อไป

ผลของปริมาณของสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นเขม่าดำ

เป็นการศึกษาปริมาณของ NaOH ที่ใช้ในการกระตุ้นเขม่าดำตั้งแต่ความเข้มข้น 5-25% ที่อุณหภูมิ 400°C เป็นเวลา 15 นาที แล้วไทเทรตหาค่า IAN แสดงผลดังภาพที่ 4 (Figure 4)

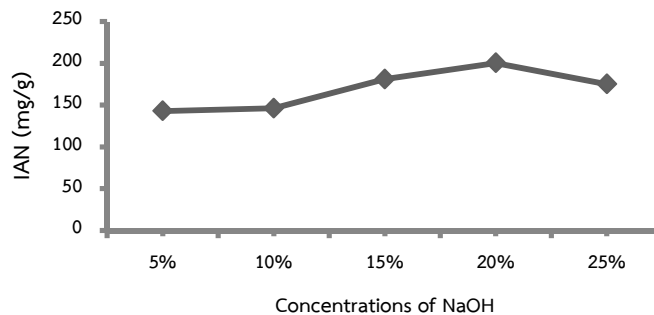


Figure 4 Iodine adsorption number of carbon black after activation with 5 - 25% NaOH at 400 °C for 15 minutes.

จากผลการทดลองที่ได้พบว่า NaOH ความเข้มข้น 20% ให้ค่า IAN สูงสุด คือ 200.41 mg/g ทำให้พื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนขนาดเล็กของเขม่าดำเพิ่มขึ้น จึงเลือกสภาวะที่ใช้ในการกระตุ้นเขม่าดำที่อุณหภูมิ 400 °C เป็นเวลา 15 นาที ด้วย 20% NaOH ในการปรับปรุงประสิทธิภาพของเขม่าดำต่อไป

ผลการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของเขม่าดำ

วิเคราะห์ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของเขม่าดำด้วยเทคนิค BET เป็นศึกษาการดูดซับแก๊สไนโตรเจนทั้งบนผิวหน้าและภายในรูพรุนของวัสดุโดยจะวิเคราะห์ขนาดพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนจึงนำเขม่าดำก่อนและหลังการกระตุ้นมาทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบโดยใช้เทคนิค BET ได้ผลดังตารางที่ 1 (Table 1)

Table 1 Surface property of carbon black after various treatments

Conditions of Activation	BET surface area (m ² /g)	Pore volume (cm ³ /g)	Pore size (°Å)
Before activation	5.45	0.0198	145.58
Activation at 400 °C, 15 mins.	4.76	0.0153	128.64
Activation at 400 °C, 15 mins. + 20% NaOH	12.63	0.0473	147.90

จากตารางที่ 1 (Table 1) พบว่าค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของเขม่าดำหลังกระตุ้นด้วยสารเคมีเพิ่มขึ้นเป็น 12.63 m²/g เมื่อเทียบกับเขม่าดำก่อนการกระตุ้น (5.45 m²/g) และที่กระตุ้นด้วยความร้อนอย่างเดียว (4.76 m²/g) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่า IAN จากการทดลองที่ผ่านมา อาจขึ้นกับปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับของเขม่าดำ เช่น เมื่ออุณหภูมิสูงจะมีผลต่ออัตราการดูดซับที่สูงขึ้น แต่ความสามารถในการดูดซับจะลดลง และถ้ามีความเป็นเบสจากสารเคมีเข้าไปยังจะมีผลทำให้รูพรุนขนาดใหญ่ขึ้น

ทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับพื้นที่ ปริมาตร และขนาดรูพรุนของเขม่าดำหลังการกระตุ้นทางเคมีจะมีค่าเพิ่มขึ้น (Sae-oui, 1994)

วิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของเขม่าดำด้วยเทคนิค SEM

ได้นำเขม่าดำก่อนและหลังการกระตุ้นมาทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบโดยใช้เทคนิค SEM ในการศึกษาสัณฐานและรายละเอียดของลักษณะพื้นผิวของเขม่าดำ ได้ผลแสดงดังภาพที่ 5 (Figure 5)

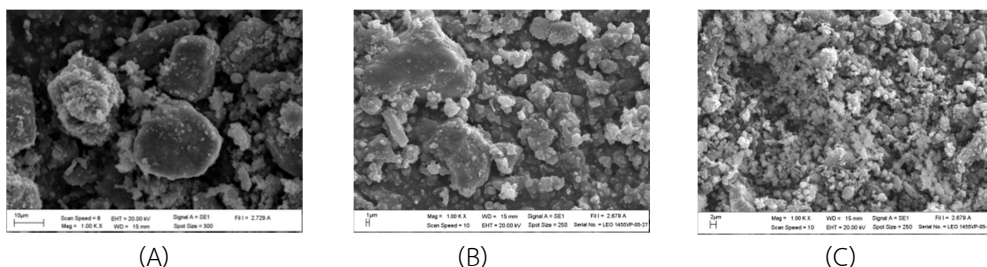


Figure 5 SEM photographs of carbon black with 1,000x

A) Before activation

B) Activation at 400 °C for 15 minutes.

C) Activation at 400 °C for 15 minutes with 20% NaOH.

จากพื้นผิวเขม่าดำที่วิเคราะห์โดยเทคนิค SEM พบว่า มีก้อนเล็ก ๆ กระจายทั่วพื้นผิวของเขม่าดำหลังการกระตุ้นด้วยทางกายภาพด้วยความร้อนดังภาพที่ 5B (Figure 5B) และการกระตุ้นทางเคมีด้วย 20% NaOH ภาพที่ 5C (Figure 5C) ซึ่งมีลักษณะพื้นผิวไม่ต่างกับเขม่าดำก่อนกระตุ้นมากนัก แต่จะพบว่าเขม่าดำหลังการกระตุ้นจะเกิดการรวมตัวกันอยู่ในรูปของการรวมกลุ่ม (Aggregate) และการรวมมวล (Agglomerate) ทำให้เขม่าดำมีขนาดอนุภาคเล็กลง จะมีผลทำให้เขม่าดำมีพื้นที่ผิวและเกิดเป็นรูพรุนมากขึ้น ทำให้มีความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น (Sae-oui, 1994)

วิเคราะห์องค์ประกอบในเขม่าดำด้วยเทคนิค EDS

จากการศึกษาองค์ประกอบของธาตุและปริมาณธาตุของเขม่าดำที่ทำการกระตุ้นด้วยสภาวะต่าง ๆ ด้วยเทคนิค EDS ได้ผลแสดงดังตารางที่ 2 (Table 2)

Table 2 Elemental composition of carbon black after activation with various treatments

Conditions of activation	%C	%O	%Na	%Si	%Cl	%Ca
Before activation	16.94	21.86	-	29.85	3.14	4.66
Activation at 400°C, 15 mins.	54.68	18.68	-	9.71	7.08	7.23
Activation at 400°C, 15 mins + 20% NaOH	52.18	22.74	2.83	8.44	1.18	10.72

จากการศึกษาพบว่าหลังการกระตุ้นเขม่าดำที่อุณหภูมิ 400°C เป็นเวลา 15 นาที ด้วย 20% NaOH มีองค์ประกอบของคาร์บอนเพิ่มมากขึ้นจาก 16.94% เป็น 52.18% และยังพบปริมาณออกซิเจน โซเดียม ซิลิกอน คลอรีน และแคลเซียม รวมอยู่ด้วย

วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของเขม่าดำด้วยเทคนิค FTIR

FT-IR spectrometer เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ ตรวจสอบ โครงสร้างทางเคมีของสาร โดยการวัดการดูดกลืนรังสีที่อยู่ในช่วงอินฟราเรด ที่อยู่ในช่วงเลขคลื่น 400-4,000 cm^{-1} ซึ่งสามารถวิเคราะห์ผลทางเคมีของเขม่าดำก่อนและหลังการกระตุ้น ได้ผลแสดงดังภาพที่ 6 (Figure 6)

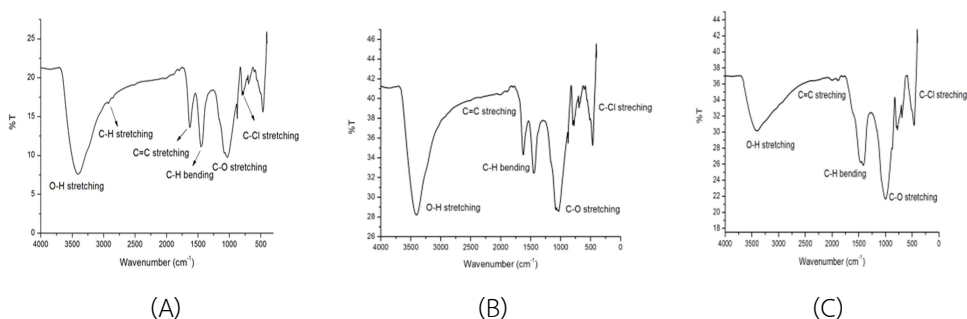


Figure 6 FT-IR spectrums of carbon black

A) Before activation

B) Activation at 400 °C for 15 mins.

C) Activation at 400 °C for 15 mins with 20% NaOH.

จากภาพที่ 6 (Figure 6) พบว่าเขม่าดำก่อนกระตุ้นและหลังกระตุ้นจะมีหมู่ฟังก์ชันคือ O-H stretching, C-H stretching, C=C stretching, C-H bending, C-O stretching และ C-Cl stretching จะพบพีก O-H stretching ได้ชัดเจนเพราะเขม่าดำก่อนกระตุ้นอาจยังมีความชื้นอยู่ และโครงสร้างเขม่าดำจะประกอบด้วยคาร์บอนของวงเบนซีน ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่จะพบพีก C=C stretching และ C-H stretching เนื่องจากในการกระตุ้นมีการให้ความร้อนเกิดขึ้นทำให้ความชื้นระเหยออกได้ ดังนั้นการกระตุ้นทางกายภาพและทางเคมีอาจไม่เปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเขม่าดำแต่เป็นการเพิ่มรูพรุนเท่านั้นโดยพิจารณาจากค่า IAN และค่าผลการวิเคราะห์จากเทคนิค BET ที่เพิ่มขึ้น (Menendez-Diaz et al., 2006)

อภิปรายผล

จากการปรับปรุงประสิทธิภาพการดูดซับของเขม่าดำที่ได้จากการเผาขยะพลาสติกโดยศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่ใช้ในการกระตุ้น เช่น อุณหภูมิ ระยะเวลา สารเคมี โดยทำการกระตุ้นเขม่าดำที่อุณหภูมิ 200-700°C เป็นเวลา 30 นาที จะมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ให้มีพื้นที่ผิวมากขึ้น และคาร์บอนมี

การจัดเรียงโครงสร้างใหม่ซึ่งจะเพิ่มความสามารถในการดูดซับ (Thammee, 2012) ซึ่งอุณหภูมิที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับที่สุดคือ 400°C จะมีค่า IAN เท่ากับ 151.39 mg/g และที่เวลา 15 นาที จะมีค่า IAN เท่ากับ 167.99 mg/g

ในส่วนของการกระตุ้นทางเคมี สารเคมีจะช่วยทำลายโครงสร้างของเขม่าดำและทำการคาร์บอนไนซ์จะเกิดการสลายตัวของสารอินทรีย์ในเขม่าดำและเกิดการเชื่อมไขว้กันของโครงสร้างทำให้เขม่าดำเกิดรูพรุน จึงเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับ (Rizhikovs et al., 2012) โดยสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นที่ดีที่สุด คือ 20% NaOH ให้ค่า IAN สูงสุด เท่ากับ 200.41 mg/g ซึ่งมีค่า IAN เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับเขม่าดำก่อนกระตุ้นจาก 110.24 mg/g

นอกจากนี้ยังมีการวิเคราะห์เขม่าดำกระตุ้นที่อุณหภูมิ 400°C เป็นเวลา 15 นาที ด้วย 20% NaOH ด้วยเทคนิคต่าง ๆ คือ เทคนิค BET surface area (Ismadji, 2005) พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นจาก 5.45 เป็น 12.63 m²/g ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับเขม่าดำทางการค้า N907 ที่มีค่า BET surface area เท่ากับ 11 m²/g (Sae-oui, 1994) สำหรับการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SEM พบว่าจะเกิดการรวมกลุ่มแบบ aggregate ซึ่งในการรวมกลุ่มของเขม่าดำทำให้เขม่าดำเกิดเป็นรูพรุนขึ้น ทำให้มีความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น ส่วนการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของเขม่าดำด้วยเทคนิค FT-IR พบว่าเขม่าดำกระตุ้นที่อุณหภูมิ 400°C 15 นาที ด้วย 20% NaOH ให้สเปกตรัมที่คล้ายคลึงกับเขม่าดำก่อนกระตุ้น อาจทำให้ทราบได้ว่าการกระตุ้นเขม่าดำเป็นเพียงการเพิ่มรูพรุนหรือเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับเท่านั้น แต่จะไม่เปลี่ยนแปลงหมู่ฟังก์ชัน และจากการศึกษาปริมาณคาร์บอนของเขม่าดำกระตุ้นด้วยเทคนิค EDS พบว่ามีปริมาณคาร์บอนเพิ่มขึ้นจาก 16.94% เป็น 52.10% จากการศึกษาและเปรียบเทียบเขม่าดำหลังการปรับปรุงสามารถใช้แทนเขม่าดำทางการค้าได้

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จในการนำเขม่าดำที่ได้จากการเผาขยะพลาสติกของเทศบาลนครขอนแก่นมาปรับปรุงประสิทธิภาพการดูดซับโดยการกระตุ้นทางกายภาพ เช่น อุณหภูมิและเวลา และกระตุ้นทางเคมี เช่น H₂SO₄ H₃PO₄ NaOH และ ZnCl₂ เพื่อหาค่า IAN โดยการไทเทรตกับไอโอดีน ซึ่งบอกถึงประสิทธิภาพการดูดซับของเขม่าดำได้ นอกจากนี้ได้ทำการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของเขม่าดำ จากการวิจัยพบว่าสภาวะการกระตุ้นที่ให้ค่า IAN ของเขม่าดำที่เหมาะสมคือ อุณหภูมิ 400°C เป็นเวลา 15 นาที ด้วย 20% NaOH ทำการเปรียบเทียบกับเขม่าดำก่อนการกระตุ้น มีค่า IAN เพิ่มขึ้นจาก 110.24 เป็น 200.41 mg/g และวิเคราะห์ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของเขม่าดำสูงขึ้นจาก 5.45 เป็น 12.63 m²/g ตามลำดับ ซึ่งมีพื้นที่ผิวจำเพาะใกล้เคียงกับเขม่าดำจากการค้า ที่มีค่า BET surface area เท่ากับ 11 m²/g จากผลการวิจัยนี้คาดว่าจะเป็นอย่างยิ่งต่อการนำวัสดุที่ไม่ใช้แล้วมาเพิ่มมูลค่า และลดต้นทุนในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องต่อไปในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัย ภาควิชาเคมี ศูนย์ปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ศูนย์วิจัยด้านสิ่งแวดล้อมและพลังงานที่ยั่งยืน คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือและสนับสนุนการทำวิจัยนี้ และขอขอบคุณเทศบาลนครขอนแก่นและเทศบาลนครอุบลราชธานี ที่ให้ความอนุเคราะห์ขยะพลาสติกในการศึกษาวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- Accorsi JV. The Impact of Carbon Black Morphology and Dispersion on the Weather ability of Polyethylene. The international Wire and Cable Symposium: Atlantic City; 1999.
- American Society for Testing and Materials. ASTM D1510-06a Standard Test Method for Carbon Black-Iodine Adsorption Number. ASTM International.
- Bansode RR, Lossoa JN, Marshall WE. et al. Adsorption of volatile organic compounds by pecan shell and almond shell-based granular activated carbons. *Bioresource Technology* 2003;90:175-184.
- Budinova T, Petrov N, Parra J. et al. Use of an activated carbon from antibiotic waste for the removal of Hg (II) aqueous solution. *Journal of Environmental Management* 2008;88(1):72-165.
- Cheung WH, Lau SSY, Leung SY. et al. Characteristics of chemical modified activated carbons from bamboo scaffolding. *Chinese Journal of Chemical* 2012;(20)3:515-523.
- Ismadji S, Sudaryanto Y, Hartono SB. et al. Activated carbon from char obtained from vacuum pyrolysis of teak sawdust: Pore structure development and characterization. *Bioresource Technology* 2005;96:1364-1369.
- Kladcharoen P. Production and Testing of Activated Carbon Obtained from *Thysostachys Siamensis* Pyrolysis. Master of Faculty of Science (Industrial Chemistry), Chiangmai University; 2011.
- Menendez-Diaz JA, Martin-Gullon I. Types of carbon adsorbent and their production. *Interface Science and Technology* 2006;7:1-47.
- Mopoung S, Inkum S, Anuwetch L. Effect of temperature on micropore of activated carbon from sticky rice straw by H_3PO_4 activation. *Carbon-Science and Technology* 2015;7(3):24-29.
- Rizhikovs J, Zandersons J, Spince S. et al. Preparation of granular activated carbon from hydrothermally treated and pelletized deciduous wood. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 2012;93:68-76.
- Sae-oui P. Rubber Chemistry. 2nd Edition, National Metal and Materials Technology Center; 1994: 70-98.
- Thammee N, Kekngoun M, Mopoung S. The surface properties of activated carbon prepared from the trunk, root and peel of cassava. *NU science Journal* 2012;9:80-97.