

โครงสร้างจุลภาคและองค์ประกอบธาตุของถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพด

Microstructure and Elemental Composition of Activated Carbon

from Corncobs

โยติน กัลยาเลิศ^{1*}, เอกชัย จงเสรีเจริญ¹, และ ชุมพล บุษบก²

Yotin Kallayalert^{1*}, Ekachai Chongsereechoen¹ and Chum Busabok²

¹ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
จังหวัดปทุมธานี

² ศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมวัสดุ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ปทุมธานี (วว)

*ผู้เขียนหลัก Corresponding Author E-mail: Yotin@vru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาโครงสร้างจุลภาคและองค์ประกอบธาตุของถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพด ที่เผาแบบไพโรไลซิส ในช่วงอุณหภูมิ 400-600 องศาเซลเซียส โดยใช้เตาเผาขนาด 200 ลิตร เพื่อให้เป็นถ่านชีวภาพ แล้วนำถ่านชีวภาพที่ได้ไปแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ซึ่งเป็นน้ำทิ้งจากการผลิตเยื่อกระดาษจากใบอ้อย ที่มีค่าความเป็นเบส pH 13 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำถ่านมาล้างน้ำสะอาดจนถ่านมีค่าความเป็นกรด-เบส ที่ pH 7 นำไปอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำถ่านเผาอีกครั้งด้วยกระบวนการไพโรไลซิส ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำถ่านที่เผาเสร็จแล้วมาวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของถ่านกัมมันต์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ วิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุด้วยสเปกโทรเมตรีรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงานตามลำดับ และวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวด้วยเทคนิค Brunauer-Emmett-Teller (BET) ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของถ่านกัมมันต์พบเฟสคาร์บอนอสัณฐานและแกรไฟต์ ผลการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค พบรูพรุนอยู่ในช่วง 8-10 ไมโครเมตร และมีรูพรุนขนาดเล็ก ๆ แทรกอยู่ในช่วง 2-5 ไมโครเมตร ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุพบว่า มีคาร์บอนเป็นธาตุหลักร้อยละ 68.86 รองลงมาได้แก่ ออกซิเจนร้อยละ 16.86 และผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวมีพื้นที่ผิวจำเพาะ 722.42 ตารางเมตรต่อกรัม

คำสำคัญ: ถ่านกัมมันต์, ถ่านชีวภาพ, โครงสร้างจุลภาค, องค์ประกอบธาตุ

Abstract

This research studied the microstructure and elemental composition of activated carbon from corncobs derived from pyrolysis burning at temperatures ranging from 400 to 600 degrees Celsius in a 200-liter incinerator, producing biochar as a result. After that, the biochar was submerged in residual pulp-making water produced from sugar cane leaves. The immersion solution contained sodium hydroxide (NaOH) with a pH of 13 and was maintained for a duration of 24 hours. Afterwards, the charcoal was rinsed with water until it obtained a pH of 7, and then it was dried using hot air at a temperature of 70 degrees Celsius for 24 hours. The dried charcoal was then calcined via pyrolysis process at 700 degrees Celsius for 1 hour. The crystal structures, microstructure and elemental composition of the activated carbon were determined using X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM) and energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS) respectively. Moreover, the surface area was measured using the Brunauer-Emmett-Teller (BET) technique. The XRD result revealed the existence of amorphous carbon phase, as well as graphite with a rhombohedral crystal structure. The SEM study showed the microstructure of the corncobs activated carbon, which had pores with sizes ranging from 8 to 10 μm , together with smaller embedded pores within the range of 2 to 5 μm . The EDS result indicated that carbon constituted for 68.86% of the elemental composition, with oxygen at 16.86%. In addition, the surface area investigation demonstrated that the activated carbon had a specific surface area of 722.42 m^2/g .

Keywords: Activated carbon, Biochar, Microstructure, Elemental composition

บทนำ

ถ่านกัมมันต์ (activated charcoal หรือ activated carbon) เป็นวัสดุที่ประกอบด้วยคาร์บอนที่ได้จากถ่าน (ธัญพิสิษฐ์ พวงจิก, 2558) ที่มีรูพรุนและพื้นที่ผิวจำเพาะสูง (Hayashi et al., 2000) โดยถ่านกัมมันต์มีความสามารถในการดูดซับสูง จึงนิยมนำไปใช้เป็นสารดูดซับในอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ อย่างหลากหลาย เช่น อุตสาหกรรมน้ำตาล อาหารและเครื่องดื่ม ตลอดจนอุตสาหกรรมชุบเคลือบโลหะ สิ่งทอ การกำจัดสารพิษต่างๆ และอื่นๆ อีกมากมาย การเตรียมถ่านกัมมันต์โดยทั่วไปประกอบด้วย 2 วิธี ได้แก่การกระตุ้นทางกายภาพ มีข้อเสียคือใช้อุณหภูมิในการกระตุ้นค่อนข้างสูง และอีกวิธีคือการกระตุ้นทางเคมี เป็นการกระตุ้นด้วยการใช้สารเคมี ซึ่งใช้พลังงานในการกระตุ้นค่อนข้างต่ำ (Jutakridsada et

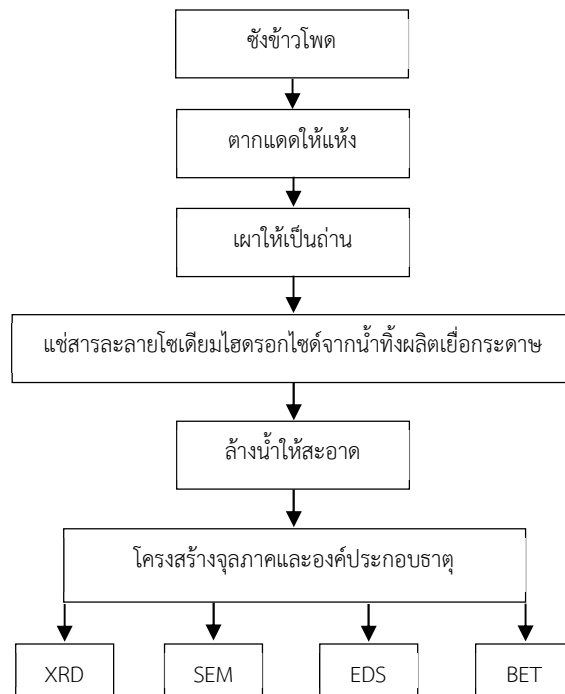
al., 2016) แต่มีข้อเสียคือวิธีนี้จะต้องล้างสารเคมีออกให้หมดไม่ให้เหลือสารตกค้าง (Hayashi et al., 2000 ; Fu et al., 2013 ; Aworn et al., 2009) โดยสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นทางเคมีส่วนใหญ่ได้แก่ H_3PO_4 (Prahas et al., 2008 ; Kantarli, I.C., & Yanik, J., 2010) และใช้ $ZnCl_2$ กระตุ้น (Acharya et al., 2009) จากงานวิจัยของ Liou & Wu, 2009 ; กิตติพงษ์ ชูจิตร, (2559) ได้ใช้ NaOH เป็นสารก่อกัมมันต์ ทำให้อ่านกัมมันต์ที่มีพื้นผิวจำเพาะสูง สอดคล้องกับ จิราภรณ์ ธรรมศรี, (2545) ; Khu Le Van & Thu Thuy Luong Thi, (2014) ; Kalderis et al., (2008) ได้ศึกษาอ่านกัมมันต์โดยการกระตุ้นด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่อุณหภูมิระหว่าง 650–800 องศาเซลเซียส พบว่าอุณหภูมิที่ดีที่สุดที่ทำให้อ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวมากและมีรูพรุนมาก คือ 700 องศาเซลเซียส แต่การผลิตอ่านกัมมันต์นั้นมีปัญหาการขาดแคลนวัตถุดิบที่มีราคาสูงส่งผลให้ราคาของอ่านกัมมันต์มีราคาสูง (Jutakradsada, 2016) จึงจำเป็นต้องหาวัตถุดิบที่มีราคาถูก หาได้ง่าย โดยวัตถุดิบที่นำมาเตรียมอ่านกัมมันต์ควรเป็นของแข็ง มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูง (โดยปกติสูงกว่า 45%) และมีปริมาณสารระเหยต่ำ (Tong et al., 2012)

วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเป็นวัตถุดิบอีกชนิดหนึ่งที่นิยมนำมาพัฒนาเป็นอ่านกัมมันต์ เช่น กะลามะพร้าว ชังข้าวโพด เปลือกมะพร้าว เปลือกขนุน ไม้มะกอก เมล็ดมะกอก เปลือกปาล์ม น้ำมัน แกลบข้าว และกากกาแฟ (Ahmedna et al., 2000) ซึ่งล้วนเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ถูกนำมาพัฒนาเป็นอ่านกัมมันต์ เนื่องจากหาได้ง่าย ราคาถูก และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Saygili et al., 2015) ชังข้าวโพดเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรชนิดหนึ่งที่มีปริมาณมากที่ไม่สามารถนำมาเพิ่มมูลค่าทางการเกษตรได้ เนื่องจากชังข้าวโพดมีค่าความชื้นสูง เมื่อแห้งแล้วมีความหนาแน่นต่ำ ที่ 128.44-152.90 กก./ม.³ เมื่อทำการบรทุกด้วยรถ 6 ล้อ สามารถบรทุกได้เพียง 3,370 กก. โดยน้ำหนักบรทุกจริงสามารถบรทุกได้ 9,000 กก. ทำให้ไม่คุ้มค่ากับการขนส่งต่อการบรทุกได้เพื่อนำมาจำหน่าย และค่าความร้อนที่ได้จากชังข้าวโพดมีค่าความร้อนต่ำ (พินิจ จีระคกุล และคณะ, 2563) กลายเป็นขยะ วิธีการจัดการคือการนำไปทิ้งให้ย่อยสลายเองตามธรรมชาติ เป็นแหล่งเพาะเชื้อโรค จะก่อให้เกิดก๊าซมีเทน หรือเผาทั้งทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่เป็นสาเหตุที่สำคัญทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (Ioannidou, O., & Zabaniotou, A., 2007) ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะนำชังข้าวโพดที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาทำให้เป็นอ่านกัมมันต์ โดยศึกษาโครงสร้างจุลภาคและองค์ประกอบธาตุโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ซึ่งเป็นน้ำทิ้งจากการผลิตเยื่อกระดาษจากใบอ้อยมาเป็นสารก่อกัมมันต์

วัตถุประสงค์

ศึกษาโครงสร้างจุลภาคและองค์ประกอบธาตุของอ่านกัมมันต์จากชังข้าวโพด

กรอบความคิด



วิธีการวิจัย

ทำความสะอาดซังข้าวโพดแล้วนำไปตากแดดจนน้ำหนักไม่มีการเปลี่ยนแปลง (แห้งสนิท)



ภาพที่ 1 ซังข้าวโพดที่แห้งสนิท

ซังข้าวโพดไปเผาด้วยกระบวนการไพโรไลซิส โดยนำซังข้าวโพดที่แห้งแล้วบรรจุในถังขนาด 20 ลิตร ที่เจาะรูเล็กๆ ด้านข้างจนเต็มถึงปิดฝาด้านบนล็อกให้แน่น ยาแนวด้วยดินเหนียวตามรอยฝาถังที่ปิด แล้วนำไปใส่ในเตาเผาถึงน้ำมัน 200 ลิตร เเผาที่อุณหภูมิ 400-600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปิด ปล่องควันและปิดหน้าเตาเผาถึงน้ำมัน 200 ลิตร ทิ้งไว้ 1 วัน ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 เเผาที่อุณหภูมิ 400-600 องศาเซลเซียส

นำถ่านจากซังข้าวโพด 500 กรัม ไปแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ซึ่งเป็นน้ำ เหลือทิ้งจากการผลิตเยื่อกระดาษจากใบอ้อย ในขวดแก้วปริมาณ 10 ลิตร ที่มีค่าความเป็นเบส pH 13 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำถ่านที่ได้มาล้างน้ำสะอาดจนถ่านมีค่าความเป็นกรด-เบส ที่ pH 7 ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ถ่านจากซังข้าวโพด และถ่านที่มีค่าความเป็นกรด-เบส ที่ pH 7

นำถ่านไปอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วบรรจุถ่านลงในถ้วย กระเบื้อง (crucible) เเผาด้วยกระบวนการไพโรไลซิสอีกครั้ง ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1



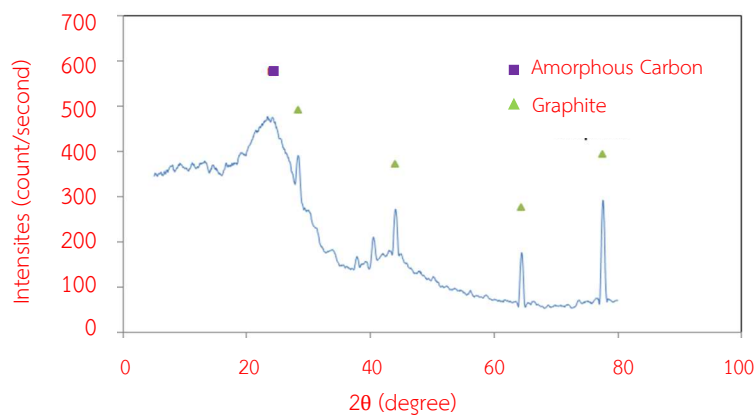
ภาพที่ 4 ถ่านอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส แล้วเผาอีกครั้งที่ 700 องศาเซลเซียส

จากนั้นนำถ่านที่เผาเสร็จแล้วนำมาวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของถ่านกัมมันต์วิเคราะห์ด้วย XRD วิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคและองค์ประกอบธาตุด้วย SEM-EDS และวิเคราะห์หาพื้นที่ผิว Gas adsorption (BET)

ผลและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดดังนี้

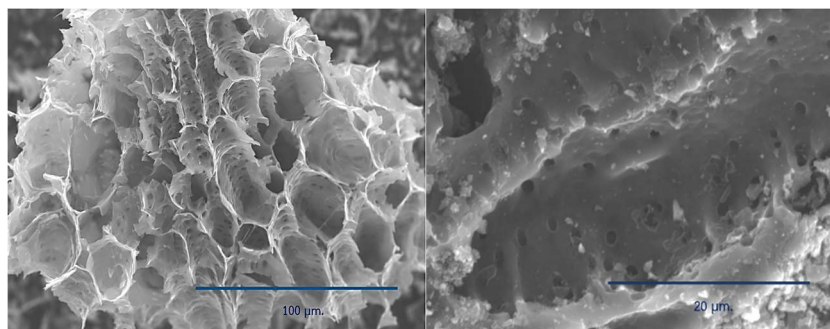
1. ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดด้วย X-ray Diffractometer (Shimadzu 6000, Cu target, $\lambda = 1.54 \text{ \AA}$, Japan) XRD ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดด้วย XRD

จากภาพที่ 5 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดด้วย XRD พบเฟสคาร์บอนอสัณฐานที่มุม 24° ซึ่งมีลักษณะบรอดพีค หรือมีลักษณะคล้ายภูเขา แสดงให้เห็นว่าคาร์บอนในส่วนนี้ยังไม่ได้เปลี่ยนเฟสกลายเป็นผลึก ซึ่งสอดคล้องกับ Kumar & Mohan Jena, (2015) ที่การจัดเรียงตัวของคาร์บอนอะตอมส่วนใหญ่เป็นอสัณฐานที่มุม 24° เป็นโครงสร้างของคาร์บอนกัมมันต์ และยังพบแกรไฟต์ที่มุม 30° , 42° , 45° , 65° และมุม 78° ซึ่งมีโครงสร้างผลึกแบบบรอมโบอิตรอล จากภาพยังพบลักษณะของพีคที่เกิดขึ้นมีฐานพีคกลางและยอดพีคไม่สูงแหลมทำให้คาร์บอนมีการจัดเรียงตัวเป็น ออสัณฐานมีโครงสร้างเกาะกันไม่เป็นระเบียบ (aromatic layer) (Ma, X., & Ouyang, F., 2013) สามารถอธิบายได้ว่า ระหว่างกระบวนการให้ความร้อนเกิดการการจัดเรียงตัวของคาร์บอนเป็นชั้นระนาบของแกรไฟต์ และในระหว่างการคาร์บอนไชน์จะมีการกระจายตัวของโครงสร้างแกรไฟต์ (Li, Z.Q., et al., 2007 ; Liou, T.H., 2010 ; Li, D., et al., 2014) และสอดคล้องกับ Christina et al., (2012) การให้ความร้อนที่สูงขึ้นของการคาร์บอนไชน์และการก่อกัมมันต์จะทำให้มีผลึกขนาดเล็กของแกรไฟต์มีความสมบูรณ์ขึ้นและส่งผลกระทบต่อพื้นที่ผิวจำเพาะที่ดีขึ้น

2. ผลการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดด้วย Scanning Electron Microscopy (SEM, Prisma E, Thermo Scientific, United States) ดังภาพที่ 6



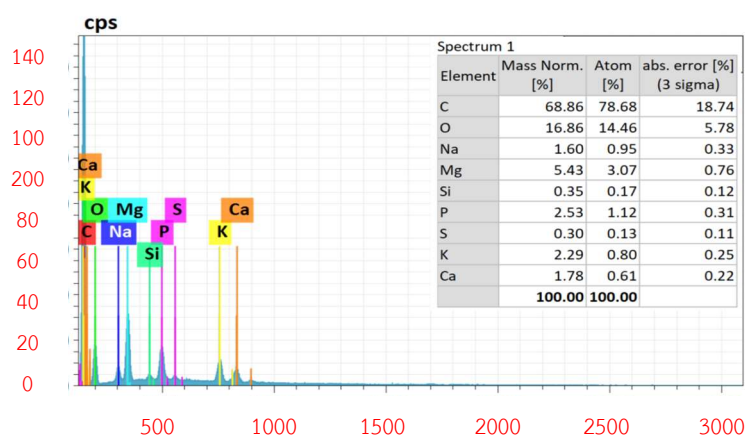
ภาพที่ 6 ผลวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดด้วย SEM

จากภาพที่ 6 ผลวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดด้วย SEM พบว่าโครงสร้างจุลภาคถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดมีขนาดรูพรุนอยู่ในช่วง 8-10 ไมโครเมตร และพบว่ารูพรุนขนาดเล็ก ๆ ในรูพรุนใหญ่แทรกอยู่ในช่วง 2-5 ไมโครเมตร สอดคล้องกับงานวิจัยของ Y. Sun & P.A. Webley, (2010) ; กิตติพงษ์ ชูจิตร, (2559) ; Moyo, M., (2013) และ T.H. Liou S.J. & Wu, (2009) ที่ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารก่อกัมมันต์ ทำให้ถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นผิวจำเพาะสูง โดยจะมีรูพรุนอยู่ในช่วง 3-10 ไมโครเมตร ซึ่งรูพรุนส่วนใหญ่จะเป็นรูพรุนขนาดกลาง (mesopore) และรูพรุนขนาดใหญ่

(macropore) ซึ่ง Khu Le Van & Thu Thuy Luong Thi, (2014) และ D. Kalderis, (2008) ได้ศึกษา ถ่านกัมมันต์โดยการกระตุ้นด้วยไฮเดียมไฮดรอกไซด์ ที่อุณหภูมิระหว่าง 650–800 องศาเซลเซียส พบว่า อุณหภูมิที่ดีที่สุดที่ทำให้ถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวมากและมีรูพรุนมาก คือ 700 องศาเซลเซียส และ สอดคล้องกับ กิตติชัย โสพันนาและธนากร อุทัยดา, (2552) ได้ศึกษาซังข้าวโพดที่กระตุ้นด้วยไฮเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการกระตุ้นที่ดีที่สุดคือที่ 700 องศาเซลเซียส

3. ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะด้วยเทคนิคการดูดซับด้วยก๊าซ Gas adsorption ของบริษัท Quantachrome รุ่น Autosorb iQ ถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดมีพื้นที่ผิวจำเพาะ (specific surface area) 722.42 ตารางเมตร/กรัม ดังภาพที่ 6 ซึ่งสอดคล้องกับ กิตติชัย โสพันนา และธนากร อุทัยดา, (2552) ได้ศึกษาซังข้าวโพดที่กระตุ้นด้วยไฮเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการกระตุ้นที่ดีที่สุดคือที่ 700 องศาเซลเซียส มีพื้นที่ผิวเล็กที่สุดที่ 85.41-707.47 ตารางไมโครเมตร โดยธีรดิษฐ์ โพธิ์ตันติ มงคล, (2560) ; Virginia, H. M., & Adrián, B. P. (2012) ได้กล่าวว่าพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ควรมีค่าประมาณ 600-2,400 ตารางเมตรต่อกรัม ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุตั้งต้นและกระบวนการกระตุ้น

4. ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพด โดย Energy Dispersive - Spectrometer (EDS-SEM, Prisma E, Thermo Scientific, United States) ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 องค์ประกอบธาตุของถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดด้วย EDS

จากภาพที่ 7 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดด้วย EDS พบว่ามีคาร์บอนร้อยละ 68.86 เป็นธาตุหลัก รองลงมาได้แก่ ออกซิเจนร้อยละ 16.86 แมกนีเซียมร้อยละ 5.43 ฟอสฟอรัสร้อยละ 2.53 โพแทสเซียมร้อยละ 2.29 แคลเซียมร้อยละ 1.78 โซเดียมร้อยละ 1.60 ซิลิกอน

ร้อยละ 0.35 และกำมะถันร้อยละ 0.30 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับ Ahmedna et al., (2008) และ Mopoung, (2015) ได้กล่าวว่าถ่านกัมมันต์คาร์บอนเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูง (โดยปกติสูงกว่าร้อยละ 45) โดยวัสดุตั้งต้นที่มีปริมาณคาร์บอนสูงจะส่งผลให้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ มีความบริสุทธิ์ของคาร์บอนที่สูงเช่นกัน (Loannidou & Zabaniotou, 2007)

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาโครงสร้างจุลภาคและองค์ประกอบธาตุของถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพด โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ซึ่งเป็นน้ำทิ้งจากการผลิตเยื่อกระดาษจากใบอ้อยเป็นสารก่อกัมมันต์ ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดด้วย EDS พบว่า มีคาร์บอนร้อยละ 68.86 เป็นธาตุหลัก รองลงมาได้แก่ ออกซิเจนร้อยละ 16.86 และแมกนีเซียมร้อยละ 5.43 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดด้วย XRD พบเฟสคาร์บอนอสัณฐาน และแกรไฟต์ ผลการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของถ่านกัมมันต์ด้วย SEM พบว่าโครงสร้างจุลภาคถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดมีขนาดรูพรุนอยู่ในช่วง 8-10 ไมโครเมตร และมีรูพรุนขนาดเล็ก ๆ ในรูพรุนใหญ่ แทรกอยู่มีขนาดอยู่ในช่วง 2-5 ไมโครเมตร ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวโดยใช้ Gas adsorption ถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดมีพื้นที่ผิวจำเพาะ 722.42 ตารางเมตรต่อกรัม ดังนั้น จากการศึกษาพบว่าซังข้าวโพดที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่สามารถนำมาพัฒนาเพื่อเพิ่มมูลค่าได้ และการศึกษาโครงสร้างจุลภาคและองค์ประกอบธาตุของถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดในครั้งนี้ ชุมชนต่างๆ สามารถนำเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร มาพัฒนาเป็นถ่านไบโอชาร์หรือถ่านกัมมันต์ได้ เพื่อนำถ่านที่ได้ไปใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของดิน หรือนำไปเป็นตัวดูดซับโลหะหนักในน้ำเสียของชุมชนได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี และสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย (วว.) ปทุมธานี ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือ อุปกรณ์ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- กิตติชัย โสพันนา และธนากร อุทัยดา. (2552). การปรับปรุงสมบัติของตัวดูดซับโลหะหนักด้วยวัสดุในท้องถิ่น. *วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร*, 1(1), 181-196.
- กิตติพงษ์ ชูจิตร. (2559). การดูดซับแคดเมียมโครเมียม และแมงกานีสโดยใช้วัสดุเซลลูโลสจากธรรมชาติ. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร. ธัญบุรี*, 6(1), 71-76.

จิราภรณ์ ธรรมศรี. (2545). *การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวโดยใช้โซเดียมคลอไรด์*. (รายงานการวิจัย, สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหาสารคาม).

พินิจ จิรคกุล, อนุชา เขาวีโชติ และ สิทธิชัย ดาศรี. (2563). การศึกษาระบบการจัดการเปลือกและขี้ข้าวโพดเพื่อเป็นพลังงานทดแทน. *วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน*, 58-66.

ัญญพิสิษฐ์ พวงจิก. (2558). “ถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่ : ตลาดยังคงมีความต้องการสูง?”. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์*, 23(6), 945-954.

ธีรดิษฐ์ โพธิ์ตันติมงคล. (2560). ถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรโดยการกระตุ้นทางเคมีเพื่อการประยุกต์ใช้กำจัดสารมลพิษในน้ำ. *วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้*, 8(1), 196-214.

Acharya, J., Sahu, J.N., Mohanty, C.R. and Meikap, B.C. (2009). Removal of lead(II) from wastewater by activated carbon developed from Tamarind wood by zinc chloride activation. *Chem. Eng. J.*, 149, 249-262

Ahmedna, M., Marshall, W.E., & Rao, R.M. (2000). Production of granular activated carbon from select agricultural by product and evaluation of their physical, chemical and adsorption properties. *Bio resour Technol*, 71, 113-123.

Aworn, A., Thiravetyan, P., & Nakbanpote, W. (2009). Preparation of CO₂ activated carbon from corncob for monoethylene glycol adsorption. *Colloids and Surfaces A Physicochemical and Engineering Aspects*, 333, 19–25.

Christina, C.S., Zaher, H., & Ania, C.U. (2012). Preparation and characterization of activated carbon from oil sands coke. *Fuel*, 92, 69-76.

Fu, K., Yue, Q., Gao, B., Sun, Y & Zhu, L. (2013). Preparation, characterization and application of lignin-based activated carbon from black liquor lignin by steam activation. *Chemical Engineering Journal*, 228, 1074-1082.

Hayashi, J. Kazezaya, A. Muroyama, K. and Watkinson, AP. (2000). Preparation of activated carbon from lignin by chemical activation. *Carbon*, 38(13), 1873-1878.

Jutakradsada, P., Prajaksud, C., Kuboonya-Aruk, L., Theerakulpisut, S & Kamwilaisak, K. (2016). Adsorption characteristics of activated carbon prepared from spent ground coffee. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 18(3), 639-645.

Kalderis, D., Koutoulakis, D., Paraskeva, P., Diamadopoulos, E., Ota, E. del Valle, J.O., & Fernandez-Pereira, C. (2008). Adsorption of polluting substances on activated carbons prepared from rice husk and sugarcane bagasse. *Chemical Engineering Journal*, 144(1), 42-50.

- Kantarli, I.C., & Yanik, J. (2010). Activated carbon from leather shaving wastes and its application in removal of toxic materials. *Journal of Materials*, 179, 348–356.
- Khu Le Van & Thu Thuy Luong Thi. (2014). Activated carbon derived from rice husk by NaOH Activation and its application in supercapacitor. *Progress in Natural Science: Materials International*, 24, 191–198.
- Kumar, A., & Mohan Jena, H. (2015). High surface area microporous activated carbons prepared from Fox nut (*Euryale ferox*) shell by zinc chloride activation. *Applied Surface Science*, 356, 753–761.
- Li, D., Tang, R., Tian, Y., Qiao, Y., & Li, J. (2014). Preparation of highly porous binderless active carbon monoliths from waste aspen sawdust. *BioResources*, 9(1), 1246–1254.
- Liou, T.H. (2010). Development of meso-porous structure and high adsorption capacity of biomass-based activated carbon by phosphoric acid and zinc chloride activation. *Chem. Eng. J.*, 158, 129–142.
- Liou, T.H., & Wu, S.J. (2009). Characteristics of microporous/mesoporous carbons prepared from rice husk under base-and acid-treated conditions, *Journal of Materials*, 172, 693–698.
- Ioannidou, O., & Zabaniotou, A. (2007). Agricultural residues as precursors for activated carbon production A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1, 1966–2005.
- Li, Z.Q., Lu, C.J., Xia, Z.P., Zhou, Y., & Luo, Z. (2007). X-ray diffraction patterns of graphite and turbostratic carbon. *Carbon*, 45, 1686–1695.
- Ioannidou, O. and Zabaniotou, A. (2007) Agricultural residues as precursors for activated carbon production: A review. *Renew. Sust. Energ. Rev*, 11, 1966–2005
- Ma, X., & Ouyang, F. (2013). Adsorption properties of biomass-based activated carbon prepared with spent coffee grounds and pomelo skin by phosphoric acid activation. *Appl. Surf. Sci.* 268, 566–570.
- Mopoung, S., Inkum, S. and Anuwetch, L. (2015). Effect of temperature on micropore of activated carbon from sticky rice straw by H_3PO_4 activation. *Carbon Sci. Tech*, 7(3), 24–29.
- Moyo, M., Chikazaza, L., Nyamunda, B.C. and Guyo, U. (2013). Adsorption batch studies on the removal of Pb(II) using maize tassel based activated carbon. *J. Chem. Article ID 508934*, 8 p.

- Prahas, D., Kartika, Y., Indraswati, N., & Ismadji, S. (2008). Activated carbon from jackfruit peel waste by H_3PO_4 chemical activation: Pore structure and surface chemistry characterization. *Chemical Engineering Journal*, 140(13), 32-42.
- Saygili, H., Güzel, F., & Önal, Y. (2015). Conversion of grape industrial processing waste to activated carbon sorbent and its performance in cationic and anionic dyes adsorption. *Journal of Cleaner Production*, 93, 84-93.
- Sun, Y., & Webley, P.A. (2010). Preparation of activated carbons from corncob with large specific surface area by a variety of chemical activators and their application in gas storage. *Chemical Engineering Journal*, 162, 883-892.
- Tong, Y.B., Liu, Q., & Chen, F. (2012). Preparation and characterization of activated carbon from waste ramulus mori, *Chemical Engineering Journal*, 203, 19-24.
- Virginia, H. M., & Adrián, B. P. (2012). Lignocellulosic Precursors used in the Synthesis of Activated Carbon: Characterization Techniques and Applications in the Wastewater Treatment. *InTech*, 1-21.