

การศึกษาลักษณะเฉพาะของคาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมจากกากชา
และการใช้ประโยชน์ในการบำบัดน้ำเสีย

STUDY ON CHARACTERISTIC OF ACTIVATED CARBON
PREPARED FROM TEA RESIDUE AND UTILIZATION
OF WASTEWATER TREATMENT

อรอุมา ปราชญ์ปรีชา^{1*}, ทศพล ปราชญ์ปรีชา² และ สงวน วงษ์ชวลิตกุล³

¹สาขาวิชาการสอนวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล จังหวัดนครราชสีมา 30000

²สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล จังหวัดนครราชสีมา 30000

³สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล จังหวัดนครราชสีมา 30000

Onuma Prachpreecha^{1*}, Thodsaphon Prachpreecha² and Sanguan Vongchavalitkul³

¹Department of General Science Teaching, Faculty of Education, Vongchavalitkul University,

Nakhonratchasima 30000

²Department of Computer Science, Faculty of Engineering, Vongchavalitkul University,

Nakhonratchasima 30000

³Department of Management Engineering, Faculty of Engineering, Vongchavalitkul University,

Nakhonratchasima 30000

*E-mail: onuma_pra@vu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะเฉพาะทางกายภาพและเคมีของคาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมจากกากชาในสถานะที่เหมาะสมโดยการวิเคราะห์ค่าไอโอดีนนมเบอร์ ค่าความหนาแน่นปรากฏ ปริมาณความชื้น สารระเหย แก๊สคาร์บอนคงตัว และศึกษาลักษณะพื้นฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ศึกษาลักษณะหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FTIR ศึกษาธาตุองค์ประกอบด้วยเทคนิค XRF ศึกษาโครงสร้างผลึกด้วยเทคนิค XRD และทดสอบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารมหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุลผลการศึกษาพบว่า คาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมจากกากชาโดยการคาร์บอนในเซชันเพื่อให้ได้ถ่านที่อุณหภูมิ

500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที พบการสั่นแบบยืด ของหมู่ฟังก์ชัน O-H และ C-O จากนั้นกระตุ้นทางความร้อนและเคมีด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักของปริมาณถ่าน :KOH เท่ากับ 1:2 ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสมีค่าไอโอดีนัมเบอร์สูงสุด 769.36 มิลลิกรัมต่กรัม และมีค่าความหนาแน่นปรากฏ 0.63 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งมีคุณลักษณะอยู่ในเกณฑ์กำหนดตามมาตรฐานมอก. 900-2547 กล่าวคือ ลักษณะพื้นฐานวิทยาของถ่านที่ผ่านการคาร์บอนเซชันจะมีลักษณะของรูพรุนเกิดขึ้น และเมื่อถ่านผ่านการกระตุ้นทางความร้อนและเคมีจะทำให้พื้นที่ผิวและความพรุนเพิ่มมากขึ้นอย่างชัดเจน พบหมู่ฟังก์ชันของคาร์บอนเนต หมู่คาร์บอกซิเลต (COO^-) และแลกโตน $-\text{CH}_2-$ ที่เปลี่ยนรูปซึ่งเป็นโครงสร้างอะลิฟาติกในหมู่เมทิลีนและเมทิลของอัลเคนมีธาตุองค์ประกอบหลักในรูปของสารอินทรีย์ (C, H และ O) และธาตุองค์ประกอบรองในรูปของสารอนินทรีย์ของธาตุโพแทสเซียม และแคลเซียม มีลักษณะโครงสร้างเป็นผลึกและผลึกของสารระเหยง่ายในโครงสร้างจะเกิดการสลายไปหลังการคาร์บอนเซชันเกิดเป็นคาร์บอนอสัณฐาน สำหรับประสิทธิภาพของคาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมจากกากชาในการบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารในระบบบำบัดน้ำเสียแบบแบริชพบว่า มีประสิทธิภาพในการลดค่าปริมาณน้ำมันและไขมันได้ดีที่สุด คือ ร้อยละ 81.30 รองลงมา คือ ค่าบีโอดี ร้อยละ 73.85 และค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยร้อยละ 65.03 ตามลำดับ

คำสำคัญ: คาร์บอนกัมมันต์ กากชา ลักษณะเฉพาะทางกายภาพและเคมี การบำบัดน้ำเสีย

ABSTRACT

The aim of this research was to study physicochemical properties of activated carbon prepared from tea residue on optimum conditions. The analysis included iodine number, apparent density, moisture content, volatile matter, ash content, carbon content. The study was done on morphology by SEM. The analysis of functional groups was conducted by FTIR technique. Investigation of elements in activated carbon was done by XRF technique, and the crystal structure was studied by XRD technique. The effectiveness of wastewater treatment was tested with the sample from the canteen of Vongchavalitkul University, Nakhonratchasima Province. The result showed that activated carbon prepared from tea residue by carbonization at the temperature 500 °C for 120 minutes showed chemical characteristic O–H stretching and C–O stretching. The heat and chemical activation with 1: 2 ratios of charcoal: KOH at 800 °C had highest iodine number at 769.36 mg/g and apparent density of 0.63 g/cm³ which were in the criteria according to the characteristic defined by the Thai Industrial Standard

(900-2004). In addition, the study on morphology showed that charcoal appearance of pore and activated carbon increased surface area and porosity. It was found that the specific position of carbonate function group, carboxylate (COO^-) and lactose- CH_2- (aliphatic structure of methylene and alkane) are major elements in the form of organic (C, H and O). The secondary components are inorganic elements of potassium (K) and calcium (Ca). Its structure was crystal and crystals of volatile compounds which was decomposed after carbonization, forming amorphous carbon. The effectiveness study of activated carbon prepared from tea residue for treatment of wastewater from the canteen in the system of batch model found that the quantity of oil and fat decreased at 81.30%, followed by BOD 73.85% and suspended solids 65.03%, respectively.

Keywords: Activated carbon, Tea residue, Physicochemical properties, Wastewater treatment

บทนำ

เนื่องจากประเทศไทยมีสภาพอากาศที่ค่อนข้างร้อน และชาวยังเป็นเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพบวกกับกระแสตื่นตัวในการบริโภคเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ จึงมีการพัฒนารูปแบบของการบริโภคตั้งแต่ซื้อใบชามาชงดื่มเอง หรือซื้อในรูปแบบของน้ำชาเขียวสำเร็จรูปบรรจุขวด จึงมีการขยายตัวของธุรกิจร้านเครื่องดื่มประเภทชาชงเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นที่นิยมอย่างสูงทั้งในกรุงเทพมหานครและจังหวัดใหญ่ ๆ ดังนั้น ในแต่ละวันปริมาณขยะที่มาจากกากชาหลังผ่านกระบวนการชงชาจึงมีปริมาณมากและไม่ได้นำกากชาเหล่านั้นไปใช้ประโยชน์ต่อ แต่มักนำไปทิ้งเป็นขยะจำนวนมากก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อันเนื่องมาจากกากของเสียประเภทนี้มีองค์ประกอบของสารอินทรีย์อยู่เป็นจำนวนมาก จึงไม่สามารถทิ้งได้โดยตรง ทำให้หน่วยงานภาครัฐต้องเสียค่าใช้จ่ายในการขนส่งเพื่อนำไปทำลายโดยการฝังกลบ (Tangmankongworakoon & Preedasuriyachai, 2013)

ดังนั้น ในปี พ.ศ. 2548 จึงได้มีการประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุเหลือใช้ โดยกำหนดหลักเกณฑ์และวิธีการในการจัดการวัสดุเหลือใช้ประเภทต่าง ๆ ซึ่งกากของเสียกลุ่มที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่นั้นจะประเมินตามหลักการ 3Rs ได้แก่ การลดการใช้ (Reduce) การนำกลับมาใช้ซ้ำ (Reuse) และการนำกลับมาใช้ประโยชน์อีก (Recycle) (Department of Industrial Works, 2011) จึงได้มีการนำกากชาที่เหลือทิ้งเหล่านั้นมาใช้ประโยชน์ในหลายด้าน เช่น ทำปุ๋ยอินทรีย์ ทำผลิตภัณฑ์ดับกลิ่น และทำสีย้อมอาหาร เป็นต้น นอกจากนี้ ยังได้มีการศึกษาการนำเอากากชามาผลิตเป็นวัสดุดูดซับจากวัตถุดิบที่มีธาตุคาร์บอนเป็น

องค์ประกอบหลัก เนื่องจากพื้นผิวถูกทำปฏิกิริยาด้วยออกซิเจนส่งผลให้เกิดรูพรุน (Porosity) ขนาดเล็กและมีพื้นที่ผิว (Surface Area) สูงมาก ส่งผลให้มีคุณสมบัติในการเป็น ตัวดูดซับที่ดี และถูกนำไปใช้ในการกรองเอาสารประกอบอินทรีย์ต่าง ๆ ที่ไม่ต้องการออกจากของเหลว หรือก๊าซ เช่น การบำบัดน้ำเสียให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพ การฟอกสีของเหลวต่าง ๆ การกรองกลิ่นและก๊าซที่ไม่ต้องการ เป็นต้น (Chatsiriwech, 2009; Tondiw, 2009) ซึ่งจะช่วยลดค่าใช้จ่ายลงมาก เมื่อเทียบกับการใช้คาร์บอนกัมมันต์ชนิดอื่น ๆ (Ahluwalia & Goyal, 2005) จากเหตุผลดังกล่าว ผู้วิจัยจึงเลือกนำกากชาเหลือทิ้งจากร้านเครื่องดื่มประเภทชาซอง ซึ่งเป็นร้านแฟรนไชส์แบรนด์ดังในเขตพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา มาผลิตเป็นคาร์บอนกัมมันต์ โดยมีวัตถุประสงค์การวิจัย คือ เตรียมคาร์บอนกัมมันต์จากกากชาในสภาวะที่เหมาะสม เพื่อศึกษา ลักษณะเฉพาะทางกายภาพและเคมี (Physicochemical properties) ของคาร์บอนกัมมันต์ ที่เตรียมจากกากชา และนำมาใช้ประโยชน์ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากวัสดุชีวมวลทางเลือกใหม่ที่มีคุณสมบัติ และประโยชน์ที่หลากหลาย อีกทั้งยังเป็นการลดปริมาณกากชาที่เป็นขยะของเสียในแหล่งชุมชน และสามารถพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมได้ต่อไปในอนาคต

วิธีการวิจัย

1. วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือ ประกอบด้วย กากชาเหลือทิ้งจากร้านเครื่องดื่มประเภทชาซอง เครื่องคัดขนาดด้วยตะแกรงร่อนขนาด 100 เมช ตู้อบไล่ความชื้น (Beschickung Loading รุ่น 100-800) ตู้อบไฟฟ้าความร้อนสูง (Electric Muffle Furnace รุ่น LEF-1035) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope รุ่น AURIGA ยี่ห้อ Carl Zeiss) เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy รุ่น Tensor 27) เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence รุ่น AXIOS MAX) เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคชัน (X-Ray Diffractometer รุ่น D8 advance ยี่ห้อ Bruker)

2. การเตรียมคาร์บอนกัมมันต์จากกากชา

สำหรับการเตรียมคาร์บอนกัมมันต์ ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนหลัก คือ การคาร์บอนไนเซชัน (Carbonization) และวิธีการกระตุ้น (Activation) การคาร์บอนไนเซชัน ดำเนินการโดยการนำกากชาล้างให้สะอาดแล้วตากแดดให้แห้ง อบไล่ความชื้นในตู้อบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง (Prachpreecha et al., 2018) จากนั้น นำกากชาที่อบแห้ง 70 กรัม บรรจุในโถเซรามิก (ปริมาตร 150 ลูกบาศก์เซนติเมตร) พร้อมปิดฝา ทำการเผาในตู้อบไฟฟ้าความร้อนสูง โดยเพิ่มอุณหภูมิขึ้น 5 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึง

อุณหภูมิที่ต้องการทดสอบ คือ 300, 400, 500, 600 และ 700 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และคงไว้ที่อุณหภูมิทดสอบนั้น 1 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็น (Prachpreecha et al., 2017) จากนั้นนำถ่านที่ได้จากการคาร์บอนในเซชันที่อุณหภูมิต่าง ๆ มาทดสอบค่าไอโอดีนนัมเบอร์ตามวิธีมาตรฐานของ ASTM D 4607-94 (American Society for Testing Materials, 2006) และคัดเลือกถ่านที่มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์สูงที่สุดและทำการทดสอบหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการคาร์บอนในเซชัน โดยทดสอบในระยะเวลา 30, 60, 90, 120, 150 และ 180 นาที ตามลำดับ แล้วคำนวณร้อยละผลผลิตของถ่าน (Yield Percentage) (Rizhikovs et al., 2012)

การกระตุ้นทางความร้อนและเคมีดำเนินการโดยการคัดเลือกถ่านที่คาร์บอนในเซชันและมีค่าไอโอดีนนัมเบอร์สูงที่สุดมาบดให้ละเอียดและคัดขนาดตามมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.) 900-2547 เรื่อง ถ่านกัมมันต์ชนิดผง กล่าวคือ สามารถผ่านตะแกรงร่อนขนาด 150 ไมโครเมตร ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99 โดยน้ำหนัก (Thai Industrial Standard Institute, 2004) จากนั้นแช่ถ่านด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เข้มข้นร้อยละ 50 ในอัตราส่วนโดยน้ำหนัก 1:0, 1:1, 1:2, 1:3 และ 1:4 (ถ่าน:KOH) เพื่อให้เกิดการอิมตัว ล้างน้ำให้สะอาด และทำการอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส และชั่งตัวอย่างถ่านหนัก 70 กรัม บรรจุในโถเซรามิกพร้อมปิดฝา นำไปเผากระตุ้นในตู้อบไฟฟ้าความร้อนสูง โดยเพิ่มอุณหภูมิขึ้น 5 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึงอุณหภูมิที่ต้องการทดสอบ คือ 600, 700, 800 และ 900 องศาเซลเซียส และคงไว้ที่อุณหภูมิทดสอบนั้น 1 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งให้เย็นและนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ล้างด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) เข้มข้นร้อยละ 5 ตามด้วยน้ำกลั่นหลาย ๆ ครั้ง จนมีค่า pH เท่ากับ 6.5 - 7.0 นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง (Prachpreecha et al., 2018) นำคาร์บอนกัมมันต์ที่ผลิตได้มาทดสอบค่าไอโอดีนนัมเบอร์ตามวิธีมาตรฐานของ ASTM D 4607-94 (American Society for Testing Materials, 2006) คำนวณร้อยละผลผลิตโดยน้ำหนักของคาร์บอน กัมมันต์ (Yield Percentage) ดังสมการที่ (1) (Rizhikovs et al., 2012) แล้วนำไปศึกษาลักษณะเฉพาะทางกายภาพและเคมีต่อไป

$$\text{ร้อยละผลผลิต} = \frac{\text{น้ำหนักคาร์บอนกัมมันต์ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักวัตถุดิบตั้งต้น (กรัม)}} \quad (1)$$

3. การศึกษาลักษณะเฉพาะทางกายภาพและเคมี (Physicochemical properties) ใช้วิธีการวิเคราะห์สมบัติแบบประมาณ (Proximate Analysis) ในการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (Moisture) เถ้า (Ash) สารระเหย (Volatile matter) และคาร์บอนคงตัว (Fix carbon) วิเคราะห์หาค่าไอโอดีนนัมเบอร์ (Iodine Number) ด้วยวิธีมาตรฐานของ ASTM D4607-94 (American Society for Testing Materials, 2006) การวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นปรากฏ (Apparent density) (Menendez-Diaz & Martin-Gullon, 2006) และศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานวิทยาศาสตร์ด้วยกล้อง

จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) นอกจากนี้ ลักษณะเฉพาะทางเคมี โดยศึกษาลักษณะหมู่ฟังก์ชัน (Functional groups) บนพื้นผิวของ คาร์บอนกัมมันต์ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรด สเปกโทรสโกปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy; FTIR) ในช่วง $4000-400\text{ cm}^{-1}$ ศึกษาธาตุองค์ประกอบด้วยเทคนิค เอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์ (X-Ray Fluorescence Spectrometry; XRF) และศึกษาโครงสร้างผลึก ด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรคชัน (X-Ray Diffraction; XRD)

4. การทดสอบประสิทธิภาพของคาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมจากกากชาในการบำบัด น้ำเสีย

4.1 ตัวอย่างน้ำเสีย

เก็บตัวอย่างน้ำเสียจากโรงอาหาร มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล มีพื้นที่ 1,032 ตารางเมตร ซึ่งจัดอยู่ในอาคารประเภท ข. (Ministry of Natural Resources and Environment, 2005) โดยเก็บตัวอย่างน้ำเสีย 3 จุด ที่มีการระบายน้ำเสียออกสู่สิ่งแวดล้อมนอกเขตพื้นที่ตั้ง ของอาคาร หรือจุดที่ระบาย น้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ เก็บตัวอย่างน้ำเสียทุก ๆ 1 เดือน เป็นระยะเวลา 3 เดือน

4.2 การทดสอบสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับสีและกลิ่นของตัวอย่างน้ำเสีย

สังเกตและบันทึกตัวอย่างน้ำเสียจากโรงอาหาร มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล ในลักษณะเบื้องต้น คือ สี (โดยตาเปล่า, Naked eye observation) และกลิ่น (โดยการดม, Sensory test) โดยนำตัวอย่างน้ำเสียปริมาตร 30 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองที่บรรจุคาร์บอน กัมมันต์ในปริมาณที่แตกต่างกัน ปิดฝาหลอดทดลองทุกหลอด และบันทึกผลการทดลอง โดยสังเกตการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของสี ที่เวลาเริ่มต้น, 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 24 ชั่วโมง สำหรับคุณลักษณะของกลิ่น จะบันทึกผลที่เวลาเริ่มต้น และเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง นอกจากนี้ ศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ปริมาณคาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมจากกากชาในปริมาณแตกต่างกัน คือ 0.5, 1, 2, 3, และ 4 กรัมต่อปริมาตรของตัวอย่างน้ำเสีย 30 มิลลิลิตร และระยะเวลาที่กักพักที่ 5, 10 และ 15 นาที เพื่อหาปริมาณและระยะเวลาที่เหมาะสม

4.3 การทดสอบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร

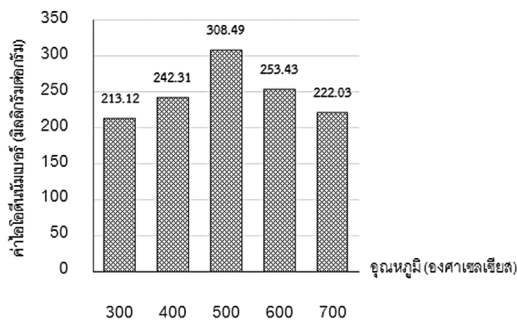
โดยการจำลองเดินระบบบำบัดน้ำเสียแบบแบตช์ (Batch) ด้วยการเติม ตัวอย่างน้ำเสียจากโรงอาหารที่ยังไม่ผ่านการบำบัดลงในระบบบำบัดแบบแบตช์ (Batch) จำนวน 2 บ่อ บ่อที่ 1 คือ น้ำเสียจากโรงอาหารที่ยังไม่ผ่านการบำบัดปริมาตร 1 ลิตร เพื่อวิเคราะห์ค่าดัชนีของตัวอย่างน้ำเสียก่อนการบำบัด ถือเป็นชุดควบคุมสำหรับการวิเคราะห์ ค่าสารแขวนลอย (Suspended Solids) ค่าตะกอนหนัก (Settleable Solids) และค่าสาร ที่ละลายได้ทั้งหมด (Total Dissolve Solid) สำหรับบ่อที่ 2 เติมคาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมจาก กากชาในปริมาณและระยะเวลาที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในหัวข้อ 4.2 แล้วทำการ

ผสมกวนน้ำเสียประมาณ 40 รอบต่อนาที ให้เข้ากันแบบระบบสัมผัส (Contacting system) เพื่อกระจายคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้เป็นวัสดุดูดซับโดยรอบไม่ให้อัดแน่นและให้น้ำไหลผ่านได้ (Expanded bed) โดยเดินระบบแบบครั้งคราว (Batch) กรองคาร์บอนกัมมันต์ที่ใส่ลงไปในระบบบำบัดโดยใช้กระดาษกรอง (Disc cellulose) เบอร์ 103 ขนาดรูกรอง 20 ไมโครเมตร (ทำการทดลอง 3 ซ้ำ) (Lamdual et al., 2010) จากนั้นนำไปวิเคราะห์ค่าดัชนีของตัวอย่างน้ำเสีย หลังการบำบัดโดยใช้วิธีมาตรฐานของกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (Ministry of Natural Resources and Environment, 2005) คือ การตรวจสอบค่าความเป็นกรดและด่าง (pH) โดยใช้ pH Meter การตรวจสอบค่าบีโอดี (BOD) ใช้วิธีการ อะไซด์โมดิฟิเคชัน (Azide Modification) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วันติดต่อกัน การตรวจสอบค่าสารแขวนลอย (SS) โดยใช้วิธีการกรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass Fibre Filter Disc) การตรวจสอบค่าตะกอนหนัก ใช้วิธีการกรวยอิมฮอฟฟ์ (Imhoff Cone) ขนาดบรรจุ 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตรในเวลา 1 ชั่วโมง การตรวจสอบค่าสารที่ละลายได้ทั้งหมด (TDS) ใช้วิธีการระเหยแห้งระหว่างอุณหภูมิ 103 - 105 องศาเซลเซียส ในเวลา 1 ชั่วโมง และการตรวจสอบค่าไขมันและไขมัน (Fat, Oil and Grease) โดยใช้วิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายแล้วแยกหาน้ำหนักของไขมันและไขมัน แล้วหา ค่าประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอาหาร โดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของดัชนีที่วัดได้ระหว่างก่อนและหลังการบำบัดด้วยคาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมจากกากชา

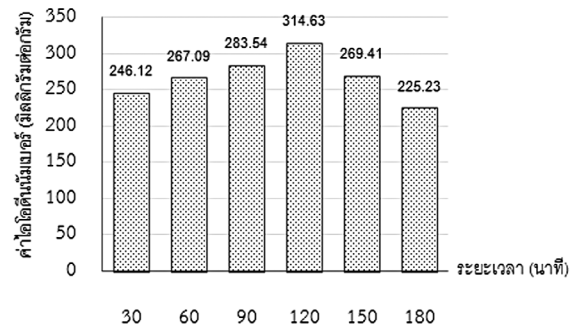
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. สภาพที่เหมาะสมในการเตรียมคาร์บอนกัมมันต์จากกากชา

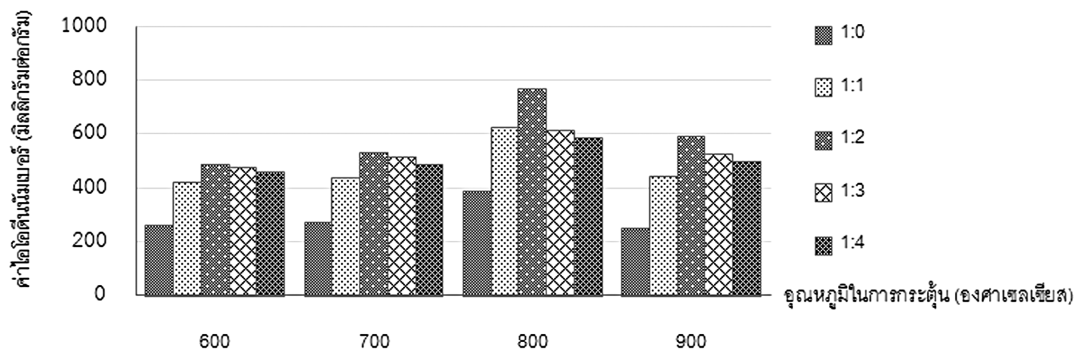
สำหรับอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมในการคาร์บอนในเซชัน พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการคาร์บอนในเซชัน จากอุณหภูมิ 300, 400, 500, 600 และ 700 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ถ่านมีค่าไอโอดีนัมเบอร์สูงที่สุดเท่ากับ 308.49 มิลลิกรัมต่อกรัม ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส และค่าไอโอดีนัมเบอร์จะลดลง เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 500 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 1 (ก) และในช่วงระยะเวลาในการคาร์บอนในเซชัน ตั้งแต่ 30-180 นาที พบว่า ถ่านมีค่าไอโอดีนัมเบอร์สูงที่สุดเท่ากับ 314.63 มิลลิกรัมต่อกรัม ที่เวลา 120 นาที ดังรูปที่ 1 (ข) ซึ่งการคาร์บอนในเซชันนั้นถือว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดในการผลิตคาร์บอนกัมมันต์ เพราะเป็นการให้ความร้อนแก่สารชีวมวลจนเกิดโครงสร้างรูพรุนขนาดเล็กมากขึ้น และมีปริมาณสารระเหยง่ายลดลงไปอย่างมากระหว่างการให้ความร้อนจนได้ผลิตภัณฑ์ส่วนที่เป็นของแข็งที่มีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูง เรียกว่า ถ่าน (Omri & Benzina, 2012) ดังนั้น สภาพที่เหมาะสมในการคาร์บอนในเซชันจากกากชาให้เป็นถ่าน คือ การคาร์บอนในเซชันที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ที่เวลา 120 นาที ผู้วิจัยจึงเลือกสภาวะดังกล่าวนี้ในการเตรียมคาร์บอนกัมมันต์ต่อไป



(ก)



(ข)



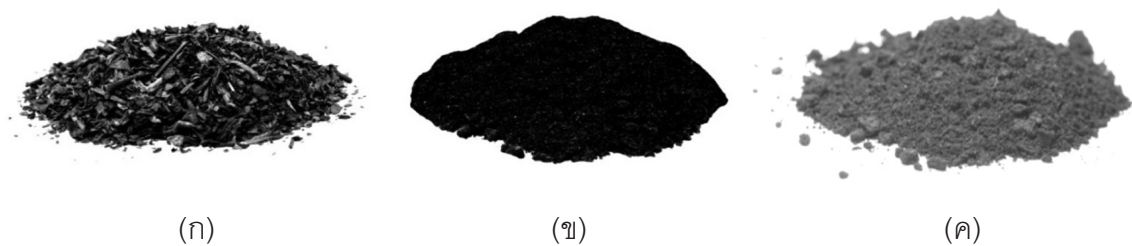
(ค)

รูปที่ 1 สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมคาร์บอนกัมมันต์จากกากชา

(ก) ผลของอุณหภูมิในการคาร์บอนไนซ์เซชัน (ข) ผลของระยะเวลาในการคาร์บอนไนซ์เซชัน

(ค) อัตราส่วนโดยน้ำหนักของถ่าน: KOH และอุณหภูมิในการกระตุ้น

นอกจากนี้ อุณหภูมิและอัตราส่วนของสารเคมีที่เหมาะสมในการกระตุ้นทางความร้อนและเคมีพบว่า ค่าไอโอดีนนัมเบอร์จะเพิ่มสูงขึ้นเป็นผลมาจากการเกิดรูพรุนในโครงสร้างของถ่านในสถานะ ที่ถูกกระตุ้นทางเคมีด้วย KOH ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักของถ่าน: KOH เท่ากับ 1:2 ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส กล่าวคือ มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์สูงที่สุด 769.36 มิลลิกรัมต่อกรัม ดังรูปที่ 1 (ค) ซึ่งถ่านที่ได้จากการคาร์บอนไนเซชันนั้นยังคงมีโครงสร้างรูพรุนเริ่มแรกไม่มากและยังใช้เป็นตัวดูดซับได้ไม่ดีพอ จึงต้อง มีการเพิ่มโครงสร้างรูพรุนด้วยการกระตุ้น (activation) ในการศึกษาครั้งนี้จึงเลือกการกระตุ้นทางเคมี โดยใช้ KOH ซึ่งสารละลายที่มีไอออนของธาตุโพแทสเซียมจะแทรกเข้าไปอยู่ในโครงสร้างของถ่าน เมื่อให้ความร้อน KOH ทำปฏิกิริยากับคาร์บอนในถ่าน โดย KOH จะสลายตัวเป็น K_2O และน้ำ ซึ่งเป็นสารทำให้คาร์บอนในถ่านเกิดปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเคชัน จากนั้นโพแทสเซียมออกไซด์ถูกรีดิวซ์ด้วยไฮโดรเจนหรือคาร์บอนกลายเป็นโลหะโพแทสเซียมในสถานะที่อุณหภูมิสูงโพแทสเซียมเป็นโลหะที่อ่อนตัวจึงสามารถแทรกเข้าไปในชั้นของอะตอมคาร์บอน ทำให้เกิดรูพรุนได้มากขึ้น (Otowa et al., 1993) และสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Ruttanapun et al. (2014) ที่พบว่า คาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมจากเปลือกมังคุดโดยการกระตุ้นทางเคมี มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์ เท่ากับ 703-895 มิลลิกรัมต่อกรัม ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ระยะเวลาในการคาร์บอนไนซ์ เซชัน และสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้น ดังนั้น การที่จะเลือกใช้อุณหภูมิ ระยะเวลา และสารเคมีใดในการเตรียมคาร์บอนกัมมันต์จึงขึ้นอยู่กับว่าจะนำไปดูดซับอะไร การประยุกต์ใช้จึงจะเกิดประโยชน์สูงสุด แสดงลักษณะทางกายภาพได้ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ลักษณะทางกายภาพ (ก) กากชา (Tea Residue)

(ข) ถ่าน (Charcoal) จากการคาร์บอนไนเซชันที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส

ระยะเวลา 120 นาที (ค) คาร์บอนกัมมันต์ (Activated carbon)

ที่ผ่านการกระตุ้นทางเคมีและความร้อน

เมื่อคำนวณร้อยละโดยน้ำหนักผลผลิต จากวัตถุดิบตั้งต้น (กากชา) 1,000 กรัม พบว่า ได้ผลิตภัณฑ์ถ่านหลังจากการคาร์บอนไนเซชันที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เท่ากับ 432.12 กรัม คิดเป็น ร้อยละ 43.21 โดยน้ำหนัก และหลังจากกระตุ้นทางความร้อนที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส และกระตุ้นทางเคมีด้วยอัตราส่วนโดยน้ำหนักของถ่าน: KOH เท่ากับ 1: 2 พบว่า ได้ผลิตภัณฑ์ของคาร์บอนกัมมันต์ เท่ากับ 312.26 กรัม คิดเป็นร้อยละ 31.23 โดยน้ำหนัก ผลผลิตคาร์บอนจึงเป็นตัวชี้วัดที่สำคัญมากสำหรับการกระตุ้นโดยเซลล์ลูโลส ลิกนิน และเฮมิเซลล์ลูโลสจะสลายไปในระหว่างกระบวนการให้ความร้อน ทั้งนี้ ในการกระตุ้นหรือการคาร์บอนไนเซชันที่อุณหภูมิสูง โครงสร้างพอลิเมอร์จะสลายและธาตุที่ไม่ใช่คาร์บอน ถูกขับออกไปเกือบหมด (Rizhikovs et al., 2012) ร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์โดยการกระตุ้นด้วยวิธีต่าง ๆ จึงให้ร้อยละผลผลิตที่ต่างกัน โดยทั่วไปการกระตุ้นทางเคมีจะให้ร้อยละผลผลิตสูงกว่าการกระตุ้นทางกายภาพ (Avelar et al. 2010)

2. การศึกษาลักษณะเฉพาะทางกายภาพและเคมีของคาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมจากกากชา

2.1 ผลการศึกษาคุณลักษณะของคาร์บอนกัมมันต์และการวิเคราะห์สมบัติแบบประมาณ

การศึกษาคคุณลักษณะของคาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมจากกากชา พบว่า คาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมจากกากชา มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์ 769.36 มิลลิกรัมต่อกรัม และมีค่าความหนาแน่นปรากฏ 0.63 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งอยู่ในเกณฑ์กำหนดตามมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.) 2547-900 เรื่อง ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (Thai Industrial Standard Institute, 2004) ดังตารางที่ 1 และจากการวิเคราะห์สมบัติแบบประมาณ พบว่า มีปริมาณความชื้นร้อยละ 2.14 ปริมาณเถ้า ร้อยละ 3.37 ปริมาณสารระเหย ร้อยละ 17.60 และคาร์บอนคงตัว ร้อยละ 85.32 ซึ่งสมบัติทางกายภาพของคาร์บอนกัมมันต์ถือเป็นปัจจัยสำคัญมากในการเป็นสารดูดซับซึ่งบ่งบอกคุณภาพของคาร์บอนกัมมันต์สำหรับการนำไปใช้ในวัตถุประสงค์ต่าง ๆ (Li et al. 2012) ทั้งนี้ ค่าไอโอดีนนัมเบอร์จะเป็นตัวบ่งบอกความจุของคาร์บอนกัมมันต์สำหรับการดูดซับสารต่าง ๆ ที่มีโมเลกุลเล็ก (Foo & Hameed, 2011) ค่าปริมาณเถ้า บ่งบอกถึงความบริสุทธิ์ ของคาร์บอน เพราะเถ้าเป็นสารอนินทรีย์ที่เหลืออยู่ในคาร์บอนกัมมันต์หลังจากการให้ความร้อนกับวัตถุดิบ ตั้งต้นและเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการให้มีการปนเปื้อนอยู่ในคาร์บอนกัมมันต์ (Dwivedi et al., 2008) สำหรับค่าความหนาแน่นของคาร์บอนกัมมันต์ขึ้นอยู่กับค่าความแข็งของวัตถุดิบเริ่มต้นที่ใช้ในการผลิต ซึ่งค่าความหนาแน่นนั้น เป็นตัวชี้วัดถึงคุณภาพของถ่าน โดยคาร์บอนกัมมันต์ที่มีความหนาแน่นสูงกว่าจะมีความจุการดูดซับสารมลพิษที่สูงกว่า และยังสามารถฟื้นฟูสภาพได้หลายครั้ง (Shende & Mahajani, 2002)

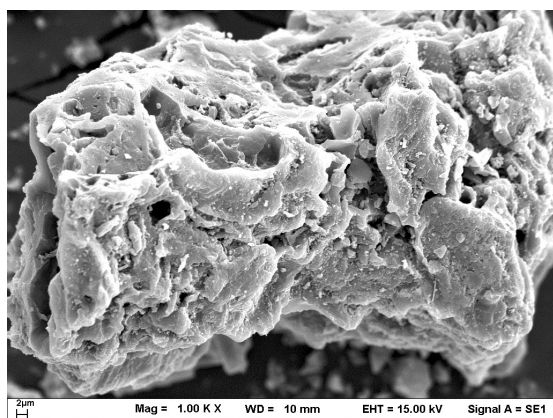
ตารางที่ 1 การวิเคราะห์คุณลักษณะของคาร์บอนกัมมันต์และผลการวิเคราะห์สมบัติแบบประมาณ

คาร์บอน กัมมันต์	คุณลักษณะ	เกณฑ์ ที่กำหนด*	การ ทดสอบ	ร้อยละ ความชื้น	องค์ประกอบแบบประมาณ ร้อยละโดยน้ำหนัก		
					เถ้า	สาร ระเหย	คาร์บอน คงตัว
คาร์บอน กัมมันต์ ที่เตรียม จากกากชา	ค่าไอโอดีน (มิลลิกรัมต่อกรัม)	ไม่น้อยกว่า 600	769.36	2.14	3.37	17.60	85.32
	ค่าความหนาแน่น ปรากฏ (กรัมต่อ ลูกบาศก์เซนติเมตร)	0.2 ถึง 0.75	0.63				

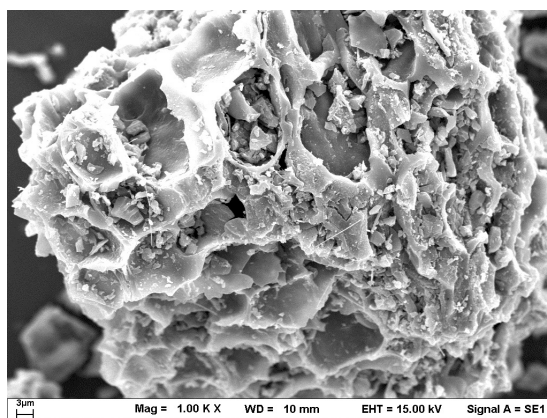
หมายเหตุ: * มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) 900-2547 (Thai Industrial Standard Institute, 2004)

2.2 ผลการศึกษาลักษณะพื้นฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ ส่องกราด (SEM)

จากการศึกษาลักษณะพื้นฐานวิทยา พบว่า ลักษณะของถ่านจากกากชา ที่ผ่านการคาร์บอนในเซชันที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส สารที่ระเหยได้ง่ายจะสลายไปทำให้เกิดช่องว่างเป็นรูพรุนในถ่าน ดังรูปที่ 3 (ก) ส่วนลักษณะของคาร์บอนกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นทางความร้อนและเคมีด้วย KOH จะได้คาร์บอนกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวและความพรุนมากกว่า ดังรูปที่ 3 (ข) ซึ่งอัตราส่วนในการกระตุ้นทางเคมีนั้นมีผลอย่างมากต่อคาร์บอนกัมมันต์ หากกระตุ้นในอัตราส่วนที่สูงจะทำให้เกิดการเผาไหม้มากเกินไป และมีสารตกค้างได้ (Prachpreecha & Prachpreecha, 2017) และสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Mopoung & Nogklai (2008) ได้ศึกษาการผลิตคาร์บอนกัมมันต์จากเปลือกกล้วย โดยกระตุ้นทางเคมีด้วย KOH ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักของ ถ่าน:KOH เท่ากับ 1:5 พบว่า พื้นที่ผิวของคาร์บอนกัมมันต์ถูกทำลายไปมากและมีสารประกอบโพแทสเซียมตกค้างบนผิวของคาร์บอนกัมมันต์มากถึงร้อยละ 17.76



(ก)



(ข)

รูปที่ 3 ภาพขยายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

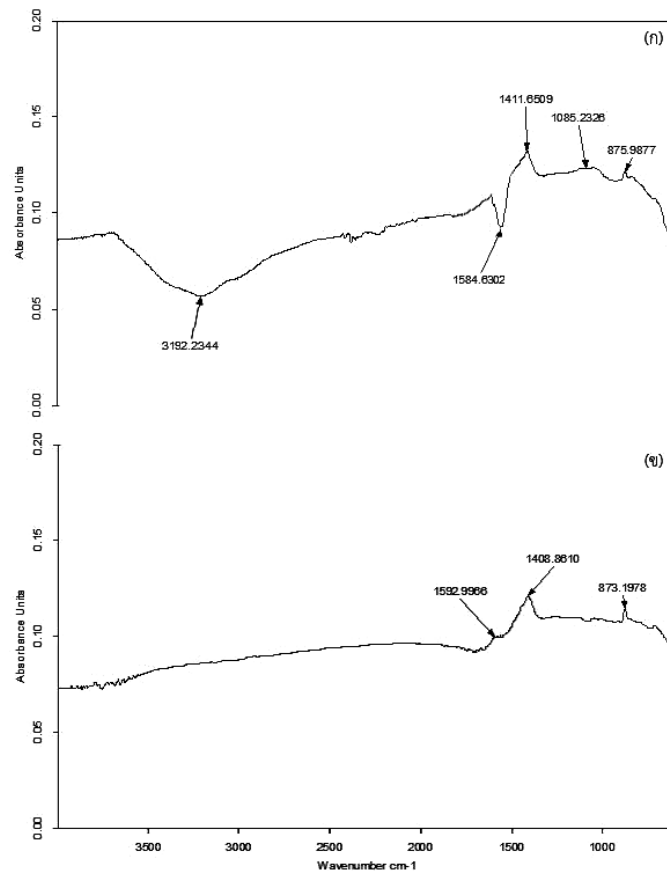
(ก) ถ่านจากกากชาที่ผ่านการคาร์บอนในเซชัน

(ข) คาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมจากกากชาที่ผ่านการกระตุ้นทางความร้อนและเคมี

2.3 ผลการศึกษาลักษณะหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

การศึกษาลักษณะหมู่ฟังก์ชันด้วย FTIR ซึ่งเป็นเทคนิคทางด้าน Infrared Spectroscopic ที่ศึกษาประเภทของสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ และพันธะเคมีในโมเลกุลพบว่า คาร์บอนกัมมันต์ก่อนการกระตุ้นพบหมู่ฟังก์ชัน O-H และ C-O ซึ่งเป็นการสั่นแบบยืดที่ตำแหน่งเลขคลื่น $\sim 3182\text{ cm}^{-1}$, $\sim 1584\text{ cm}^{-1}$ และ $\sim 1411\text{ cm}^{-1}$ ตามลำดับ

เมื่อผ่านการกระตุ้นด้วย KOH พบว่า สเปกตรัมของตัวอย่างคาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมจากกากชามีพีคที่ตำแหน่งเลขคลื่น $\sim 873\text{ cm}^{-1}$, $\sim 1408\text{ cm}^{-1}$ และ $\sim 1592\text{ cm}^{-1}$ ดังรูปที่ 4 (ข) โดยตำแหน่งเลขคลื่น $\sim 873\text{ cm}^{-1}$ ถือเป็นการสั่น (out of plane) ของอะโรมาติก C-H แสดงถึงการเพิ่มความเป็นอะโรมาติก และที่ตำแหน่งเลขคลื่น $\sim 1592\text{ cm}^{-1}$ จะเป็นการสั่นแบบยืดของ C=C วงอะโรมาติกที่เพิ่มขึ้นโดยหมู่ฟังก์ชันที่มีขั้ว ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Olorundare et al. (2012) ส่วนที่ตำแหน่งเลขคลื่น $\sim 1408\text{ cm}^{-1}$ จะเป็นตำแหน่งลักษณะเฉพาะของหมู่ฟังก์ชันของคาร์บอเนต หมู่คาร์บอกซิเลต (COO^-) และแลกโตน- CH_2 - ที่เปลี่ยนรูปซึ่งเป็นโครงสร้างอะลิฟาติกในหมู่เมทิลีนและเมทิลของอัลเคน ซึ่งมีความสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Puziy et al. (2012)

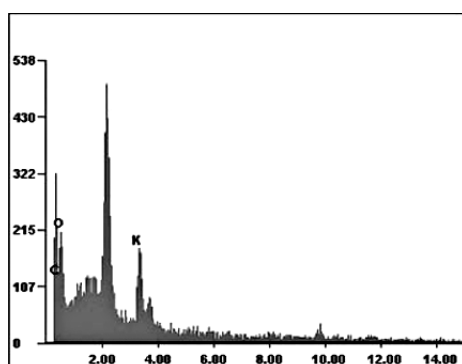


รูปที่ 4 สเปกตรัมทรานสมิชชัน FTIR (ก) ถ่านจากกากชาที่ผ่านการคาร์บอนไนเซชัน
(ข) คาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมจากกากชาที่ผ่านการกระตุ้นทางความร้อนและเคมี

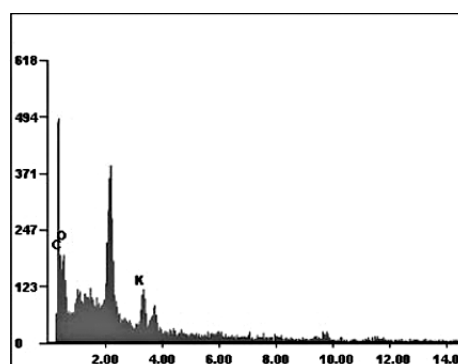
2.4 ผลการศึกษาธาตุองค์ประกอบ

จากการวิเคราะห์เชิงคุณภาพและปริมาณของธาตุองค์ประกอบที่ตรวจพบในถ่านและคาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมจากกากชา พบว่า มีธาตุองค์ประกอบหลักในรูปของสารอินทรีย์ (C, H และ O) แสดงดังรูปที่ 5 กล่าวคือ ปริมาณของธาตุในองค์ประกอบของคาร์บอนกัมมันต์เมื่อเทียบกับถ่านจะมีปริมาณคาร์บอนเพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณออกซิเจนและไฮโดรเจนลดลง ซึ่งเกิดจากการสลายออกไปในระหว่างการไพโรไลซิสและกระตุ้น จึงทำให้สารประกอบระเหยง่ายถูกขจัดออกไป (Avelar et al., 2010) และสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Weerachanchai et al. (2010) พบว่า ธาตุคาร์บอนในคาร์บอน กัมมันต์จากชีวมวลจะมีปริมาณสูงกว่าธาตุองค์ประกอบอื่น ๆ และเมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบรอง ในรูปของสารอนินทรีย์ด้วยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์ (XRF) พบว่า มีสารประกอบออกไซด์ของธาตุโพแทสเซียม (K) มากที่สุด ร้อยละ 33.12 โดยน้ำหนัก รองลงมา คือ แคลเซียม (Ca)

ร้อยละ 31.01 โดยน้ำหนัก สำหรับสารประกอบออกไซด์อื่น ๆ จะมีปริมาณเพียงเล็กน้อย โดยสารประกอบออกไซด์อื่น ๆ ที่พบนั้น ประกอบด้วย แมงกานีส (Mn), ฟอสฟอรัส (P), อลูมิเนียม (Al), กำมะถัน (S), คลอรีน (Cl), เหล็ก (Fe), ซิลิคอน (Si), แมกนีเซียม (Mg), โซเดียม (Na), ไทเทเนียม (Ti), ซีเรียม (Ce), คอปเปอร์ (Cu), รูบิเดียม (Rb) และนิกเกิล (Ni) ตามลำดับ ดังตารางที่ 2 ซึ่งการตรวจพบสารประกอบออกไซด์ของธาตุโพแทสเซียมในปริมาณมากนั้นอาจเป็นผลมาจากการตกค้างของธาตุโพแทสเซียมในขั้นตอนการกระตุ้นทางเคมีโดยใช้ KOH ทำปฏิกิริยาเคมีกับผิวคาร์บอนของถ่าน โดยมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Mopoung et al., 2012)



(ก)



(ข)

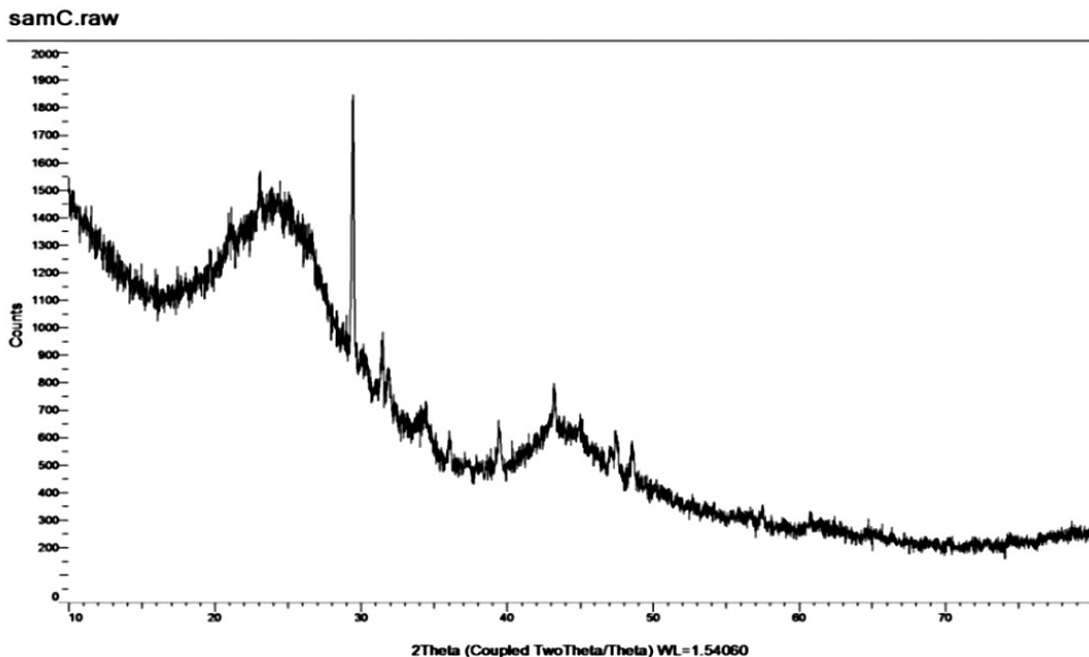
รูปที่ 5 ธาตุองค์ประกอบในรูปของสารอินทรีย์
(ก) ถ่าน และ (ข) คาร์บอนกัมมันต์

ตารางที่ 2 ปริมาณธาตุในองค์ประกอบของคาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมจากกากชา

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละ โดยน้ำหนัก	องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละ โดยน้ำหนัก
K_2O	33.119	SiO_2	1.801
CaO	31.012	MgO	1.749
MnO	8.387	Na_2O	1.390
P_2O_5	6.899	TiO_2	0.265
Al_2O_3	4.694	CeO_2	0.243
SO_3	4.433	CuO	0.189
Fe_2O_3	2.915	Rb_2O	0.080
Cl	2.749	NiO	0.076

2.5 ผลการศึกษาโครงสร้างผลึกด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรคชัน (XRD)

การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิค XRD ที่ความยาวคลื่นเท่ากับ 1.54060 อังสตรอม ทำการวิเคราะห์ช่วงมุมการกระเจิงตามความเหมาะสม คือ 10° ถึง 90° พบว่า คาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมจากกากชา มีลักษณะโครงสร้างเป็นผลึก ซึ่งการเปลี่ยนแปลงผลึกของกากชาในระหว่าง การคาร์บอนไนเซชันและการกระตุ้นจะมีผลทำให้ความเป็นผลึกของสารระเหยง่ายหายไปและแสดงความเป็นผลึกคาร์บอนลดลง (Mopoung et al., 2012) ดังรูปที่ 6 จะเห็นได้ว่า ผลึกของสารระเหยง่าย ในโครงสร้างของคาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมจากกากชาจะเกิดการสลายไปหลังการคาร์บอนไนเซชันเกิดเป็นคาร์บอนอสัณฐานมีพีค XRD ที่ 24° และ 43° ซึ่งหลังการกระตุ้นด้วยความร้อนและเคมี พบว่า คาร์บอนอสัณฐานจะมีความเป็นระเบียบน้อยลง (Smith et al., 2014)



รูปที่ 6 รูปแบบXRD ของคาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมจากกากชา
หลังการกระตุ้นด้วยความร้อนและเคมี

3. การใช้ประโยชน์ของคาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมจากกากชาในการบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล

ผลจากการสังเกตเบื้องต้น พบว่า ตัวอย่างน้ำเสียเป็นน้ำที่มีสีเหลืองเข้มใส มีตะกอนแขวนลอยของสารอินทรีย์ และมีกลิ่นเหม็นแรงมาก และผลการทดสอบเบื้องต้นในลักษณะของสีและกลิ่น พบว่า สีของตัวอย่างน้ำเสียที่ไม่มีคาร์บอนกัมมันต์จะมีสีเหลืองใส แต่สีของตัวอย่างน้ำเสียในหลอดทดลองที่มีคาร์บอนกัมมันต์จะมีความเข้มของสีลดลง และมีความใสเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และเมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง พบว่า น้ำทิ้งในหลอดทดลองที่มีคาร์บอนกัมมันต์จะมีสีใสกว่าตัวอย่างน้ำเสียในหลอดทดลองที่ไม่มีคาร์บอนกัมมันต์ กลิ่นของตัวอย่างน้ำเสียในหลอดทดลองที่ไม่มีคาร์บอนกัมมันต์จะแรงมาก และเมื่อตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง มีกลิ่นอยู่ในระดับปานกลาง แต่กลิ่นของตัวอย่างน้ำเสียในหลอดทดลองที่มีคาร์บอนกัมมันต์จะมีกลิ่นอ่อนหรือจางมาก ดังรูปที่ 7 ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากตัวอย่างน้ำเสียเข้าไปแทนที่อากาศที่อยู่ในรูพรุนของคาร์บอนกัมมันต์ เพราะคาร์บอนกัมมันต์ไปดูดซับสารในตัวอย่างน้ำเสีย เช่น สี สารแขวนลอย และกลิ่น โดยฟองอากาศจะลดลงเรื่อยๆ เมื่อตัวอย่างน้ำเสียดูดซับสารในตัวอย่างน้ำเสียเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนเต็ม โดยเฉลี่ยในเวลาประมาณ 2-3 ชั่วโมง ฟองอากาศก็จะมี (Tatayanon et al., 2009) จากผลการทดลอง พบว่า ปริมาณคาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมจากกากชาที่เหมาะสมในการดูดซับสีต่อปริมาตรของตัวอย่างน้ำเสีย คือ 0.5 กรัมต่อปริมาตรของตัวอย่างน้ำเสีย 30 มิลลิลิตร ที่ระยะเวลาในการกักพัก 10 นาที



(ก)



(ข)

รูปที่ 7 การเปรียบเทียบลักษณะสีและกลิ่น
(ก) เวลาเริ่มต้น และ (ข) เวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของคาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมจากกากขาในการบำบัดน้ำเสียในระบบบำบัดน้ำเสียจำลองแบบแบตช์ (Batch) ใช้การทดลองที่ระยะเวลา 10 นาที โดยใช้ปริมาณคาร์บอนกัมมันต์ 16.67 กรัมต่อน้ำเสียจากโรงอาหารที่ยังไม่ผ่านการบำบัด ปริมาตร 1 ลิตร ซึ่งเป็นสัดส่วนที่เหมาะสมจากการทดลองด้วยการสังเกตสีและกลิ่น ผลการทดลอง พบว่า ค่าเฉลี่ยของดัชนีทั้งหมดหลังจากที่บำบัดด้วยคาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมจากกากขานั้นมีค่าเฉลี่ยลดลง กล่าวคือ คาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมจากกากขามีประสิทธิภาพในการลดค่าปริมาณน้ำมันและไขมันได้ดีที่สุด คือ ร้อยละ 81.30 รองลงมา คือ ค่าบีโอดี ร้อยละ 73.85 ค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยร้อยละ 65.03 ค่าปริมาณสารที่ละลายได้ทั้งหมด ร้อยละ 59.00 ค่าตะกอนหนัก ร้อยละ 37.50 และค่าความเป็นกรดต่างร้อยละ 5.10 ตามลำดับ ดังตารางที่ 3 ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Lamdual et al. (2010) และ Mahadlek (2012) ที่พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดไขมันและน้ำมันออกจากน้ำเสียโรงอาหาร โดยใช้วัสดุดูดซับชีวมวลจากดอกกุฎาชิใบแคบและกกกลม ในระบบน้ำเสียแบบแบตช์ สามารถกำจัดไขมันและน้ำมันได้เกินร้อยละ 80 เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันได้ดี นอกจากนี้ยังสามารถบำบัดมลสารอื่น ๆ ได้ด้วย คือ ซีโอดี ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด และสารแขวนลอย เป็นต้น และสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Tatayanon et al., (2009) ที่พบว่า คาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมจากชีวมวลของกะลามะพร้าวและซังข้าวโพด จะทำให้น้ำทิ้งจากร้านอาหารมีลักษณะของสี กลิ่น และความขุ่นลดลงอีกทั้ง ในปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้มีการใช้ตัวกรองคาร์บอนในการขจัดสารพิษ และจุลินทรีย์อันตราย เพื่อบำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยสู่แหล่งชุมชน เช่น การใช้คาร์บอนกัมมันต์แบบผงจากชีวมวลรวมในกระบวนการสร้างตะกอนและรวมตะกอนเพื่อบำบัดน้ำเสียสามารถลดค่าซีโอดี ได้ถึงร้อยละ 80 และลดสี ได้ร้อยละ 50 รวมทั้งลดความขุ่นของน้ำเสียได้ด้วย (Harrelkas et al., 2009)

ตารางที่ 3 ค่าดัชนีของตัวอย่างน้ำเสียจากโรงอาหาร

ค่าดัชนี	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) ก่อนการบำบัด	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) หลังการบำบัด	ประสิทธิภาพ การบำบัด ร้อยละ (%)
ค่าความเป็นกรดและต่าง	7.46	7.08	5.10
บีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	19.50	5.10	73.85
ของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	14.47	5.06	65.03
ค่าตะกอนหนัก (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.08	0.05	37.50
สารที่ละลายได้ทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	93.48	38.32	59.00
น้ำมันและไขมัน (มิลลิกรัมต่อลิตร)	1.23	0.23	81.30

สรุปผลการวิจัย

จากวัตถุประสงค์ของการวิจัยสามารถสรุปผล โดยแบ่งเป็นข้อ ๆ ได้ดังนี้

1. สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตคาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมจากกากชา พบว่า ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที คือ สภาวะที่เหมาะสมในการคาร์บอนในเซชัน กากชาเพื่อให้ได้ถ่าน จากนั้นนำมากระตุ้นทางความร้อนและเคมีด้วย KOH ในอัตราส่วน โดยน้ำหนักของถ่าน: KOH เท่ากับ 1:2 ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสม ในการกระตุ้นเพื่อให้ได้คาร์บอนกัมมันต์ และมีค่าไอโอดีนนมเบอร์สูงสุด 769.36 มิลลิกรัมต่อกรัม

2. ลักษณะเฉพาะทางกายภาพและเคมีของคาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมจากกากชา พบว่า อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานของ มอก. 900-2547 กล่าวคือ มีค่า ไอโอดีนนมเบอร์ ไม่น้อยกว่า 600 มิลลิกรัมต่อกรัม และมีค่าความหนาแน่นปรากฏ 0.2 ถึง 0.75 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และลักษณะสัณฐานวิทยาของถ่านที่ผ่านการคาร์บอนเซชัน จะลักษณะของรูพรุนเกิดขึ้น และเมื่อถ่านผ่านการกระตุ้นทางความร้อนและเคมีจะทำให้ถ่าน มีพื้นที่ผิวและความพรุนเพิ่มมากขึ้น อย่างชัดเจน นอกจากนี้ คุณลักษณะเฉพาะของหมู่ฟังก์ชัน พบว่า การคาร์บอนในเซชันเพื่อให้ได้ถ่าน ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที พบการสั่นแบบยืดของหมู่ฟังก์ชัน O-H และ C-O และคาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมจากกากชา แสดงตำแหน่งลักษณะเฉพาะของหมู่ฟังก์ชันของคาร์บอกซิเลต (COO-) และ แล็กไทด์ (-CH₂-) ที่เปลี่ยนรูป ซึ่งเป็นโครงสร้างอะลิฟาติกในหมู่เมทิลีน และเมทิลของอัลเคน มีธาตุองค์ประกอบหลักในรูปของสารอินทรีย์ (C, H และ O) ธาตุองค์ประกอบรอง พบสารประกอบ ออกไซด์ของธาตุโพแทสเซียม (K) และแคลเซียม (Ca) ตามลำดับ สำหรับสารประกอบออกไซด์ อื่น ๆ จะมีปริมาณเพียงเล็กน้อย และมีลักษณะโครงสร้างเป็นผลึกและผลึกของสารระเหยง่าย ในโครงสร้างจะเกิดการสลายไปหลังการคาร์บอนในเซชันเกิดเป็นคาร์บอนอสัณฐาน

3. ประสิทธิภาพของคาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมจากกากชาในการบำบัดน้ำเสีย จากโรงอาหาร พบว่า ตัวอย่างน้ำเสียที่มีคาร์บอนกัมมันต์จะมีความเข้มของสีและกลิ่นลดลง ในเวลา ที่เท่ากัน และ คาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมจากกากชามีประสิทธิภาพในการลดค่าปริมาณน้ำมัน และไขมันได้ดีที่สุด คือ ร้อยละ 81.30 รองลงมา คือ ค่าบีโอดี ร้อยละ 73.85 และค่าปริมาณ ของแข็งแขวนลอย ร้อยละ 65.03 ตามลำดับ นอกจากนี้ ปริมาณสารที่ละลายได้ทั้งหมด ค่าตะกอนหนัก ค่าความเป็นกรดและด่าง มีค่าเฉลี่ยลดลงทุกค่าดัชนีหลังบำบัดด้วยคาร์บอน กัมมันต์ที่เตรียมจากกากชา

ดังนั้น กากชาที่มีคุณสมบัติเพียงพอที่จะนำมาผลิตเป็นคาร์บอนกัมมันต์ได้ และ นับว่าเป็นผลิตภัณฑ์จากวัสดุชีวมวลทางเลือกใหม่ที่มีคุณสมบัติและประโยชน์ที่หลากหลาย อีกทั้งยังเป็นการลดปริมาณกากชาที่เป็นขยะของเสียในแหล่งชุมชน สามารถพัฒนาเป็น ผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ต่อไปได้ในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากมหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล ผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

- Ahluwalia, S. & Goyal D. (2005). Removal of heavy metals from waste tea leaves from aqueous solution. **Journal of Engineering Life Science**. 5: 152-162.
- American Society for Testing Materials. (2006). **Standard test method for determination of iodine number of activated carbon D4607-94**. Annual Book of ASTM Standard Sec.15.15(1).
- Avelar, F.F., Bianchi, M.L., Goncalves, M. & Gaspar da Mota, E. (2010). The use of piassava fiber (*Attalea funifera*) in the preparation of activated carbon. **Bioresource Technology**. 101: 4639-4645.
- Chatsiriwech, D. (2009). **Adsorption process**. Bangkok: Chulalongkorn University press.
- Department of Industrial Works. (2011). **Handbook and qualification criteria of waste for processed as fuel rods and blocks**. Bangkok.(in Thai)
- Dwivedi, C.P., Sahu, J.N., Mohanty, C.R., Raj Mohan, B. & Meikap, B.C. (2008). Column performance of granular activated carbon packed bed for Pb(II) removal. **Journal of Hazardous Materials**. 156: 596-603.
- Foo, K.Y. & Hameed, B.H. (2011). Factors affecting the carbon yield and adsorption capability of the mangosteen peel activated carbon prepared by microwave assisted K_2CO_3 activation. **Chemical Engineering Journal**. 180: 66-74.
- Harrelkas, F., Azizi, A., Yaacoubi, A., Benhammou, A. & Pons, M.N. (2009). Treatment of textile dye effluents using coagulation-flocculation coupled with membrane processes or adsorption on powdered activated carbon. **Desalination**. 235: 330-339.
- Lamdual, R., Wibuloutai, J. & Phonpimolthape, C. (2010). Efficiency of oil removal from cafeteria wastewater by using flower of *Typha Angustifoli* Linn. **Journal of Environmental Management**. 6(1): 42-51.(in Thai)
- Li, L., Sun, Z., Li, H. & Keener, T.C. (2012). Effect of activated carbon surface properties on the adsorption of volatile organic compounds. **Journal of the Air and Waste Management Association**. 62: 1196-1202.

- Mahadlek, J. (2012) . **Adsorption of fat and oil from canteen wastewater in Kasetsart University by *Typha angustifolia* Linn. and *Cyperus corymbosus* Rottb.** Master of Science. Kasetsart University. (in Thai)
- Menendez-Diaz, J.A. & Martin-Gullon, I. (2006).Types of carbon adsorbents and their production. **Interface Science and Technology**. 7: 1-47.
- Ministry of Natural Resources and Environment. (2005). **Standardization of effluent from certain buildings and some sizes**. Retrieved February 5, 2018, from http://www.pcd.go.th/law/3_41_water.pdf?CFID=2448846&CFTOKEN=49059898 (in Thai)
- Mopoung, S. & Nogklai, W. (2008). Chemical and surface properties of longan seed activated charcoal. **International Journal of Physical Sciences**. 3: 234-239.
- Mopoung, S., Sirikulkajorn, A., Dummun, D.& Luethanom P. (2012). Nanocarbonfibril in rice flour charcoal. **International Journal of Physical Sciences**. 7: 214-221.
- Olorundare, O.F., Krause, R.W.M., Okonkwo, J.O. & Mamba, B.B. (2012). Potential application of activated carbon from maize tassel for the removal of heavy metals in water. **Physics and Chemistry of the Earth**. 50-52: 104–110.
- Omri, A. & Benzina, M. (2012). Removal of manganese(II) ions from aqueous solutions by adsorption on activated carbon derived a new precursor: Ziziphusspina-christi seed. **Alexandria Engineering Journal**. 51: 343-350.
- Otowa, T. & Tanibata R, Itoh M. (1993). Production and adsorption characteristics of MAXSORB high-surface area active carbon. **Gas Separation & Purification**. 7(4): 241-245.
- Prachpreecha, O. & Prachpreecha, T. (2017). A study on kinetic adsorption of methyl orange dye by activated carbon prepared from banana waste. **Journal of Industrial Technology Ubon Ratchathani Rajabhat University**. 7(1), 179-196.
- Prachpreecha, O., Prachpreecha, T. & Vongchavalitkul S. (2018). "Tea Residue" junk worthless and environmentally friendly products (Eco friendly). **Proceedings of ASSURE 2018 International Conference**; January 23, 2018; Songkhla,Thailand; p.9-21.
- Puziy, A.M., Poddubnaya, O.I., Martinez-Alonso. A., Suarez-Garcia, F. & Tascon, J.M.D.(2012). Synthetic carbons activated with phosphoric acid: 1. **Surface Chemistry and ion binding properties Carbon**. 40: 1493-1505.

- Rizhikovs, J., Zandersons, J., Spince, S., Dobeles, G. & Jakab, E. (2012). Preparation of granular activated carbon from hydrothermally treated and pelletized deciduous wood. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**. 93: 68-76.
- Rattanapan, S., Pengjam, P. & Kongsune, P. (2014). Preparation and characterization of mangoteen pell activated carbon. **Thaksin University Journal**. 17(3): 13-21.
- Shende, R.V. & Mahajani, V.V. (2002). Wet oxidative regeneration of activated carbon loaded with reactive dye. **Waste Management**. 22: 73-83.
- Smith, J.W.H., Mcdonald, M., Romero, J.V., Macdonald, L., Lee, J.R. & Dahn, J.R, (2014). Small and wide angle X-ray studies of impregnated activated carbon. **Carbon**. 75: 420-431.
- Tatayanon. S., Piriyaiotha, T., Boonyaem T. & Osot, C.(2009). **Feasibility study on the simple production of activated carbon from biomass**. Retrieved February 26, 2018, from <http://forprod.forest.go.th/forprod/ebook/Research18/04.pdf>. (in Thai)
- Tangmankongworakoon, N. & Preedasuriyachai, P. (2013). A study on how to utilize coffee residue and tea residue for the production of briquettes. **Journal of Srinakharinwirot University (Science and Technologies)**. 7(13): 15-26. (in Thai)
- Thai Industrial Standard Institute (TISI). (2004). **Thai Industrial Standard: Activated Carbon (900-2547)**. Bangkok: Thai Industrial Standard Institute. (in Thai)
- Tondiaw, O. (2009). **Treatment of zinc and copper in metal manufacture wastewater by tea residue**. Master of Science. Kasetsart University. (in Thai)
- Weerachanchai, P., Tangsathikulchai, C.& Tangsathikulchai, M.(2010). Comparison of pyrolysis kinetic models for thermogravimetric analysis of biomass. **Suranaree Journal of Science and Technology**.17(4): 387-400.

.....