การเพิ่มหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวถ่านชาร์จากหญ้าเนเปียร์โดยการออกซิไดซ์ด้วยโอโซนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับไอออนของเหล็ก

Increase of Functional Groups on Charcoal Surface Area from Napier Grass by Ozone Oxidation for Iron Ion Adsorption Effectiveness

สมเกียรติ กรวยสวัสดิ์[1] อภิรักษ์ สวัสดิ์กิจ[2] ธัญกร คำแวง[3]

[1] สำนักวิชาศึกษาทั่วไป มหาวิทยาลัยศรีปทุม แขวงเสนานิคม เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900 somkiat.kr@spu.ac.th

[2] คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม แขวงเสนานิคม เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900 apirak.sa.kr@spu.ac.th

[3] สำนักวิชาศึกษาทั่วไป มหาวิทยาลัยศรีปทุม แขวงเสนานิคม เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900 thunyakorn.kh@spu.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษาการเพิ่มหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของถ่านชาร์จากหญ้าเนเปียร์ โดยการออกซิไดซ์ด้วยโอโซนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับไอออนของเหล็กในน้ำ แล้วนำไปตรวจวัดพื้นผิวและความเป็นรูพรุนของสารตัวอย่างเท่ากับ 337.19 ตารางเมตรต่อกรัม นำถ่านชาร์ตัวอย่างมาบดแล้วไปออกซิไดซ์ด้วยโอโซนโดยใช้เวลา 0 30 60 90 และ 120 นาที แล้วนำไปตรวจสอบหมู่ฟังก์ชัน ด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์ม อินฟราเรด สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ และวิธีการไทเทรตของโบห์ม จากนั้นนำถ่านชาร์ตัวอย่างไปแลกเปลี่ยนไอออน โดยการจุ่มชุ่มในสารละลายเฟอรัสคลอไรด์และตรวจวัดปริมาณการดูดซับไอออนของเหล็กโดยใช้อะตอมมิกแอพซอปชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ จากผลการทดลองพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงในเชิงปริมาณของหมู่ฟังก์ชันเพิ่มขึ้น เมื่อเวลาที่ใช้ในการออกซิไดซ์เพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณการดูดซับไอออนของเหล็กจากถ่านชาร์ที่ไม่ผ่านการออกซิไดซ์นั้น สามารถดูดซับได้ 1.81 มิลลิกรัมของเหล็กต่อกรัมของถ่านชาร์ตัวอย่าง ส่วนถ่านชาร์ที่ผ่านการออกซิไดซ์ที่ 120 นาทีนั้น สามารถดูดซับได้ 4.83 มิลลิกรัมของเหล็กต่อกรัมของถ่านชาร์ตัวอย่าง ดังนั้นจึงสามารถนำถ่านชาร์จากหญ้าเนเปียร์ไปใช้ประโยชน์ในการดูดซับไอออนของเหล็กในน้ำประปา ถือเป็นทางเลือกหนึ่งที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และไม่มีสารเคมีตกค้างในกระบวนการผลิตน้ำประปา เพื่อให้ชุมชนได้ใช้น้ำที่สะอาดและปลอดภัย

คำสำคัญ : หมู่ฟังก์ชัน ออกซิเดชัน โอโซน การดูดซับ

Abstract

This study is an increasing functional groups on charcoal surface area from napier grass by ozone oxidation. It used for increasing Fe^{2+} adsorption efficiency in the water. The measuring instrument used to measure by surface area and porosity analyzer (BET) as 337.19 m^2/g. The samples were grinded and sent to an ozone oxidation process at 0, 30, 60, 90 and 120 min. Then, the samples were measured by FT-IR spectrophotometer and Boehm' s Titration method for evaluate the functional groups. After that, these

samples were made ion-exchange by the impregnation in ferrous chloride ($FeCl_2$) solution and measured the concentration of Fe^{2+} adsorption by Atomic Absorption Spectrophotometer (AAs). The results had the quantitative change of the functional groups increase when the time for ozone oxidation increase. The amount of Fe^{2+} adsorption from the oxidation sample at 0 min as 1.81 mg-Fe/g-sample. And the amount of Fe^{2+} adsorption from the oxidation sample at 120 min as 4.83 mg-Fe/g-sample. Therefore, we can apply the charcoal from napier grass for iron ion adsorption in the water supply. It is a good choice, environment friendly, and non residue used for clean and save water in the community.

Keywords : Functional Group, Oxidation, Ozone, Adsorption

บทนำ

น้ำถือเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับทุกชีวิตไม่ว่าจะเป็นมนุษย์ สัตว์ ตลอดจนพืช จะขาดน้ำไม่ได้ มนุษย์ต้องใช้น้ำในชีวิตประจำวันสำหรับการอุปโภค บริโภค การเกษตร ปศุสัตว์ และการอุตสาหกรรม ดังนั้นจะต้องแสวงหาน้ำที่สะอาดมาเพื่อใช้อุปโภคบริโภค โดยไม่มีสารพิษเจือปน จึงต้องมีการปรับปรุงคุณภาพน้ำ หรือระบบประปาขึ้นมาใช้ในชุมชน โดยเฉพาะระบบผลิตน้ำประปาหมู่บ้านในชนบทนั้นมีปัญหารุนแรงมาก เนื่องจากระบบการผลิตไม่ได้มาตรฐานทำให้มีไอออนของโลหะหนักหลายชนิดปนเปื้อนเข้ามา

ปัญหาการปนเปื้อนไอออนของโลหะหนักในแหล่งน้ำธรรมชาติ ทั้งน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินที่ใช้เป็นน้ำดิบเพื่อใช้อุปโภคและบริโภคนั้นต้องทำการกำจัดก่อน โดยเฉพาะไอออนของเหล็กที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำก็เป็นปัญหาใหญ่ที่มีอยู่หลายพื้นที่ในประเทศไทย โดยแบ่งออกเป็น 2 รูป คือไอออนในรูป Fe^{2+} กับไอออนในรูป Fe^{3+} เมื่อสังเกตน้ำบาดาลที่เพิ่งถูกสูบมาด้วยตาเปล่าจะเห็นฝ้าลอยอยู่บนผิวน้ำ เวลาต่อมาน้ำจะเริ่มขุ่นแดงและตกตะกอนลง ถ้ามีการนำน้ำไปใช้ สีแดงสนิมของเหล็กจะติดอยู่ตามเสื้อผ้าและเครื่องสุขภัณฑ์ ท่อกรอง ทรายกรอง และภายในเครื่องสูบน้ำ สนิมเหล็กที่ถูกสะสมไว้จะไปอุดตันท่อน้ำได้ ด้านการบริโภคน้ำที่มีเหล็กมากจะมีสีเหลืองหรือสีแดงและมีกลิ่นสนิมเหล็ก เป็นที่น่ารังเกียจต่อการใช้เป็นน้ำบริโภค

การดูดซับทางกายภาพโดยถ่านกัมมันต์จึงเป็นอีกวิธีหนึ่งที่นำมาแก้ปัญหา แต่เนื่องจากการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่เกิดขึ้นในรูพรุนภายในถ่านด้วยแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของตัวถูกดูดซับกับผนังรูพรุนของถ่านที่มีอยู่ ส่วนบริเวณพื้นผิวนอกจากที่เป็นรูพรุนไม่สามารถทำการดูดซับได้ เพราะถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ทั่วไปเป็นสารไม่มีขั้ว จึงเป็นการดูดซับทางกายภาพอย่างเดียว ข้อจำกัดคือเมื่อใช้ในการใช้ดูดซับไอออนของโลหะหนักในการบำบัดน้ำเสีย หรือน้ำดิบเพื่อใช้ผลิตน้ำประปาที่มีโลหะหนักปนเปื้อน ประสิทธิภาพจะต่ำ อีกทั้งมีราคาค่อนข้างแพง เพื่อเป็นการลดต้นทุนในการผลิตถ่านกัมมันต์ โดยนำเอาหญ้าเนเปียร์ที่สามารถปลูกได้ในสภาพดินที่แห้งแล้งและเป็นพืชที่โตเร็วสามารถนำมาเผาเป็นถ่านชาร์ เพื่อนำมาใช้เป็นตัวดูดซับแทนถ่านกัมมันต์ได้ แต่ข้อจำกัดของถ่านชาร์คือมีรูพรุนภายในเพื่อใช้ดูดซับน้อยกว่าถ่านกัมมันต์ ดังนั้นในการแก้ปัญหาคือการเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับโดยการออกซิไดซ์พื้นผิวถ่านทำให้เกิดหมู่ฟังก์ชันเกิดเป็นสารมีขั้ว จึงสามารถจับไอออนของโลหะหนักเช่น Fe^{2+} Ni^{2+} Cr^{3+} Zn^{2+} ที่เป็นสารปนเปื้อนในน้ำดิบที่ใช้ทำน้ำประปาหรือได้โดยการ

แลกเปลี่ยนประจุบนพื้นผิว ดังนั้นจึงกลายเป็นทั้งตัวดูดซับและสารเรซิ่นที่ทำหน้าที่สองอย่างในตัวเดียวกัน โดยส่วนใหญ่ในการทำให้เกิดหมู่ฟังก์ชันบนผิวถ่านนั้นมักจะใช้สารเคมี เช่น ด่างทับทิม กรดซัลฟิวริก หรือ กรดไนตริก เป็นตัวออกซิไดซ์ อันจะนำมาซึ่งอันตรายโดยตรง

สำหรับในการศึกษานี้ได้ใช้แก๊สโอโซนที่ได้จากเครื่องกำเนิดโอโซนเป็นตัวออกซิไดซ์ ดังนั้นจึงไม่มีน้ำเสียที่ต้องบำบัดในกระบวนการนี้ และมีความปลอดภัยเมื่อนำถ่านชาร์ที่ผ่านกระบวนการนี้มาใช้ในการทำเป็นสารกรองเพื่อผลิตน้ำประปาหรือน้ำสะอาด

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาหมู่ฟังก์ชันที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวของถ่านชาร์
2. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเพิ่มหมู่ฟังก์ชันของถ่านชาร์ด้วยโอโซน
3. เพื่อศึกษาการดูดซับไอออนเหล็กของถ่านชาร์ที่ได้จากการเพิ่มหมู่ฟังก์ชัน

ขอบเขตของการศึกษา/วิจัย

เพิ่มหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของถ่านชาร์ด้วยการใช้แก๊สโอโซน และศึกษาหมู่ฟังก์ชันที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวของถ่านชาร์ แล้วจึงตรวจสอบความพรุนและพื้นที่ผิวก่อนการปรับปรุงพื้นผิว ตามด้วยการตรวจวัดการดูดซับไอออนของเหล็ก

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. วัตถุดิบที่ใช้และวิธีทดลอง

วัตถุดิบที่เป็นถ่านชาร์จากหญ้าเนเปียร์เพื่อใช้ในการทดลองสนับสนุนโดยบริษัท เอ็นไวร์ ควอลิตี้ จำกัด ซึ่งเป็นเจ้าของสิทธิ์ของหญ้าเนเปียร์พันธุ์เขียวสยาม โดยนำมาจากแปลงทดลองที่จังหวัดชัยภูมิ

วิธีการทดลองที่ใช้ในการศึกษาสมบัติของถ่านชาร์ ประกอบไปด้วย ขั้นตอนต่อไปนี้คือ การปรับปรุงถ่านชาร์ให้มีลักษณะพิเศษโดยการออกซิไดซ์เพื่อใช้ในการดูดซับโลหะหนัก (Fe) ลักษณะโครงสร้างทางเคมีของถ่านชาร์ตัวอย่างเป็นผลที่เกิดจากการออกซิไดซ์ด้วยแก๊สโอโซน (O_3) ซึ่งตรวจสอบโดยใช้ FT–IR spectroscopy และ Boehm's Titration ส่วนการหาความเข้มข้นของโลหะเหล็กที่ได้จากการจุ่มชุ่ม (Impregnated) ถ่านชาร์ตัวอย่างในกระบวนการเติมโลหะด้วยการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange) สามารถตรวจวัดด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ที่เรียกว่า Atomic Absorption Spectroscopy (AAs) นอกจากนี้พื้นที่ผิวและปริมาตรของรูพรุนของถ่านหญ้าเนเปียร์ ยังสามารถวิเคราะห์หาได้โดยการใช้เครื่องมือ BET Analysis

2. การเผาให้เป็นถ่าน

ขั้นตอนนี้เป็นการแปรสภาพอินทรีย์วัตถุให้เป็นถ่านชาร์ โดยนำวัตถุดิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักมาเผาในสภาวะที่มีออกซิเจนอยู่น้อยกว่าปริมาณออกซิเจนที่ต้องใช้สำหรับการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ ในระยะแรก ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และออกซิเจน จะสลายออกมาก่อนในรูปแก๊ส ทำให้ได้ถ่านที่มีสัดส่วนของคาร์บอนเป็นองค์ประกอบสูงขึ้นเมื่อให้อุณหภูมิสูงขึ้น สารอินทรีย์จะแตกสลายพร้อมกับปล่อยน้ำมันดิบ และ

สารอื่นๆเป็นจำนวนมากออกมา โดยสีของวัตถุดิบเริ่มเปลี่ยนเป็นสีดำ เนื่องจากปฏิกิริยาคาร์บอไนเซชันของเซลลูโลสและลิกนินเป็นหลัก ซึ่งเซลลูโลสจะสูญเสียมากที่สุดในช่วงนี้ ถ่านที่ได้มีความสามารถในการดูดซับต่ำ เพราะมีพื้นที่ผิวและรูพรุนน้อยและยังคงมีน้ำมันดิบบางส่วนตกค้างอยู่ในรูพรุนหรือเกาะอยู่ตามผิวถ่าน จึงจำเป็นต้องนำถ่านนี้ไปผ่านขั้นตอนการเพิ่มประสิทธิภาพให้สูงขึ้น เพื่อความสามารถในการดูดซับ

3. วิธีการปรับปรุงพื้นผิวด้วยการออกซิไดซ์ด้วยโอโซน

สำหรับการออกซิไดซ์ด้วยโอโซนในวัฏภาคของเหลวนั้น ต้องนำถ่านชาร์ตัวอย่างที่ได้จากการเผาโดยเทคโนโลยีชาวบ้านมาบดให้เป็นเกล็ดขนาดไม่ละเอียดมากนักประมาณ 5 กิโลกรัม ใส่เข้าไปในถังกวนสแตนเลส แล้วเติมน้ำประมาณ 20 ลิตร และกวนอย่างต่อเนื่อง แก๊สโอโซนจากเครื่องกำเนิดโอโซนชนิดโคโรนาดิสชาร์จถูกส่งผ่านท่อข้าไปในถังกวนสแตนเลส สามารถผลิตแก๊สโอโซนได้ 15 กรัมต่อชั่วโมง ด้วยอัตราการไหลของอากาศสูงสุดที่ใช้ในการทดลอง 10 ลิตรต่อนาที การทดลองในวัฏภาคของเหลวนี้ได้มีการกำหนดอุณหภูมิคงที่ที่ 30 องศาเซลเซียส ช่วงเวลาที่ใช้ในการออกซิไดส์คือ 30, 60, 90 และ 120 นาที

4. การเติมโลหะโดยการแลกเปลี่ยนไอออนด้วยการจุ่มชุ่ม

การนำเอาตัวอย่างถ่านชาร์ที่ได้จากการเผาหญ้าเนเปียร์มาออกซิไดซ์ด้วย O_3 ชนิดละประมาณ 10–20 กรัม มาผสมกับสารละลาย Iron (II) Chloride ($FeCl_2$) ไอออนของเหล็ก (Fe^{2+}) ที่ได้จากสารละลาย $FeCl_2$ สามารถจับติดกับพื้นผิวของคาร์บอนโดยกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนในสารละลาย (Cal, et al., 2000) ความเข้มข้นของสารละลาย $FeCl_2$ 0.10 โมลาร์ จากนั้นจึงคนสารผสมอย่างต่อเนื่องโดยใช้เวลา 30 นาทีที่อุณหภูมิห้อง หลังจากกระบวนการเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์แล้วล้างถ่านชาร์ตัวอย่างด้วยน้ำกลั่นเพื่อขจัดไอออนสุดท้ายนำตัวอย่างไปกรองและทำให้แห้งในเตาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12 ชั่วโมง

5. การวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะโดยใช้ Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)

หมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของถ่านชาร์ตัวอย่างถูกพิสูจน์เอกลักษณ์ จากการส่งผ่านสเปกตรัมของอินฟาเรดที่ได้จาก FT–IR (TENSOR 27) การวิเคราะห์ทำได้โดยเตรียมถ่านจากหญ้าที่บดละเอียดเป็นผงจำนวน 1.0 มิลลิกรัม ผสมกับโพแทสเซียมไอโอไดด์ : KBr (Merck; for spectroscopy) จำนวน 300 มิลลิกรัม บดให้เข้ากันในโกร่งบด แล้วนำมาทำเป็นแผ่นดิสก์ขนาดเล็กเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร ความหนา 1–2 มิลลิเมตร โดยเครื่องอัดแรงดันสูงที่ 15,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ซึ่งดิสก์จะมีความโปร่งใสต่อการแผ่รังสี IR และสามารถวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันได้โดยตรง ทั้งนี้ FT–IR สเปกตรัมของถ่านชาร์ตัวอย่างถูกบันทึกในช่วงระหว่าง 4000 และ 800 cm^{-1}

6. การวิเคราะห์โดยวิธี Boehm’s Titration

การไทเทรตด้วยวิธีของ Boehm ซึ่งอธิบายอยู่ในเอกสารที่เกี่ยวข้องของ Moreno–Castilla, et al., 1998 โดยวิธีนี้สามารถคำนวณหาความเข้มข้นของหมู่ฟังก์ชันกรดที่อยู่บนพื้นผิวของถ่านตัวอย่างภายใต้ข้อสมมุติต่อไปนี้ โซเดียมไฮดรอกไซค์ (NaOH) ทำปฏิกิริยาพอดีกับหมู่ฟังก์ชันของกรดคาร์บอกซิลิก ฟีนอลิก และกรดแลกโทนิก โดยที่โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) จะทำปฏิกิริยาพอดีกับหมู่ฟังก์ชันของกรดคาร์บอกซิลิกและกรดฟีนอลิกเท่านั้น สำหรับโซเดียมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) จะทำปฏิกิริยาพอดีกับหมู่ฟังก์ชันของกรดคาร์บอกซิลิกเท่านั้น วิธีดำเนินการ คือ การนำเอาถ่านตัวอย่างจำนวน 1.0 กรัม ผสมกับสารละลายอย่างละ 50 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อไปนี้ NaOH, $NaHCO_3$ และ Na_2CO_3 ที่มีความเข้มข้นอย่างละ 0.1 โมลาร์ โดยมีการ

คนอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นจึงทำการแยกของแข็งกับสารละลายออกจากกันโดยการกรอง แล้วนำสารละลายที่ได้แต่ละชนิดไปไทเทรตกับกรดไฮโดรคลอริก 0.1 โมลาร์ ส่วนประกอบที่เป็นหมู่ฟังก์ชันกรดฟีนอลิกบนผิวถ่าน คำนวณหาได้จากปริมาณของ 0.1 M $NaHCO_3$ ที่ถ่านตัวอย่างใช้ไป สำหรับส่วนประกอบที่เป็นหมู่ฟังก์ชันแลคโทนิกบนผิวถ่านคำนวณหาได้จากความแตกต่างระหว่างปริมาณของ 0.1 M Na_2CO_3 และ 0.1 M $NaHCO_3$ ที่ถ่านตัวอย่างใช้ไป นอกจากนี้หมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซิลิกหาได้โดยการลบปริมาณของ 0.1 M Na_2CO_3 ที่ถ่านตัวอย่างใช้ไปจากปริมาณของ 0.1 M NaOH ที่ถูกใช้ไป โซเดียมไฮดรอกไซด์ถือว่าเป็นเบสที่ใช้ทั่วไปในห้องปฏิบัติการ อย่างไรก็ตามเป็นเรื่องยากที่จะได้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นของแข็งบริสุทธิ์เพราะสามารถดูดความชื้นจากอากาศได้ (Chang, 2002) จึงเป็นเหตุผลที่ต้องนำโซเดียมไฮดรอกไซด์ไปสอบเทียบกับสารละลายปฐมภูมิก่อน เพื่อให้ทราบความเข้มข้นที่ถูกต้องและแม่นยำ สำหรับกรดที่เลือกใช้เป็นสารละลายปฐมภูมิคือ potassium hydrogen phthalate (KHP) มีสูตรโมเลกุลคือ $KHC_8H_4O_4$ ลักษณะของสาร KHP เป็นของแข็งสีขาวมีความบริสุทธิ์สูง นอกจากนี้ Na_2CO_3, $NaHCO_3$ และ HCl ก็ต้องนำไปสอบเทียบกับสารละลายมาตรฐานก่อนใช้ในการวิเคราะห์

7. การวิเคราะห์โดยใช้เครื่องมือ Atomic Absorption Spectroscopy (AAs)

ถ่านชาร์ตัวอย่างที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออนโดยการจุ่มชุ่มนั้น สามารถตรวจวัดปริมาณของเหล็กที่ติดอยู่บนพื้นผิวของถ่านได้ ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ที่เรียกว่า AAs โดยถ่านชาร์ตัวอย่างจะถูกนำไปละลายในสารละลาย Aqua Regia ซึ่งสารละลายนี้เป็นส่วนผสมของกรดไนตริกเข้มข้น 1 ส่วนกับกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 3 ส่วน เพื่อใช้สกัดเอาอะตอมของเหล็กออกมาวัดเชิงปริมาณ ซึ่งอะตอมของเหล็กจาก Atomizer จะถูกดูดกลืน ที่ความยาวคลื่น 213.9 นาโนเมตร ดังนั้นจึงได้นำเอาเทคนิคการวิเคราะห์เชิงปริมาณ ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ AAs เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างทั้งหมด

8. การวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวและรูพรุนไมโคร (BET Surface Area and Micropores Analysis)

พื้นผิวเฉพาะและปริมาตรรูพรุนของถ่านชาร์ตัวอย่างหาได้จากไอโซเทอมการดูดซับของไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 77 เคลวิน โดยใช้เครื่องมือ Automatic Surface Analyzer Instrument (BET) ทฤษฎี BET (Brunauer–Emmett–Teller) และสมการของ DR (Dubinin–Radushkevich) ใช้สำหรับหาพื้นผิวเฉพาะและปริมาตรรูพรุนตามลำดับ ปริมาตรรูพรุนรวมหาได้จากจำนวนของไนโตรเจนแก๊สที่ถูกดูดซับ ณ ความดันสัมพัทธ์ของ 0.98 โดยการคำนวณกลับเป็นปริมาตรของไนโตรเจนในสถานะของเหลวซึ่งใช้คำนวณหาถ่านชาร์ตัวอย่างที่ไม่ผ่านการออกซิไดซ์

ผลการวิจัย

1. สมบัติของถ่านตัวอย่าง

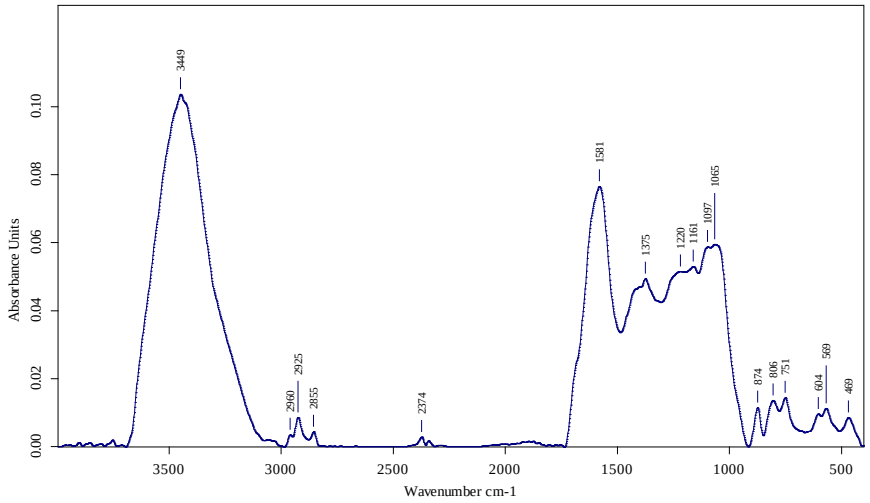
ถ่านตัวอย่างจากการเผาโดยเทคโนโลยีชาวบ้าน ที่ใช้ในการศึกษาเป็นถ่านบดชนิดผงเตรียมได้จากวัตถุดิบที่เป็นหญ้าเนเปียร์พันธุ์เขียวสยามและมีสมบัติเฉพาะดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สมบัติเฉพาะตัวของถ่านตัวอย่างจากการเผาโดยชาวบ้านที่ยังไม่ได้ทำการปรับปรุงพื้นผิว

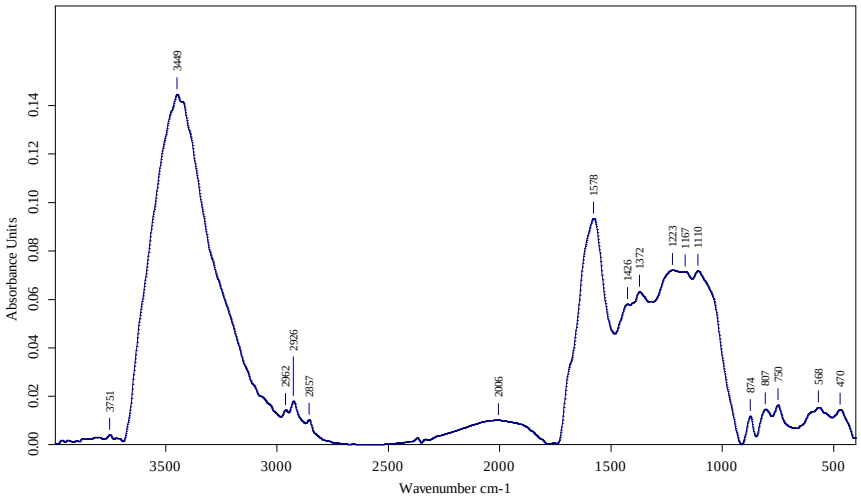
Characteristic Properties	Units	
1. Micro pore area:	302.4094	m^2/g
2. Micro pore volume:	0.119	cm^3/g
3. Average pore size:	2.18	nm
4. BET surface area:	218.0418	m^2/g
5. Langmuir Surface Area:	337.1899	m^2/g
6. Particle density:	1.000	kg/m^3

2. ผลการวิเคราะห์จากเครื่องมือวิเคราะห์ FT-IR Spectroscopy

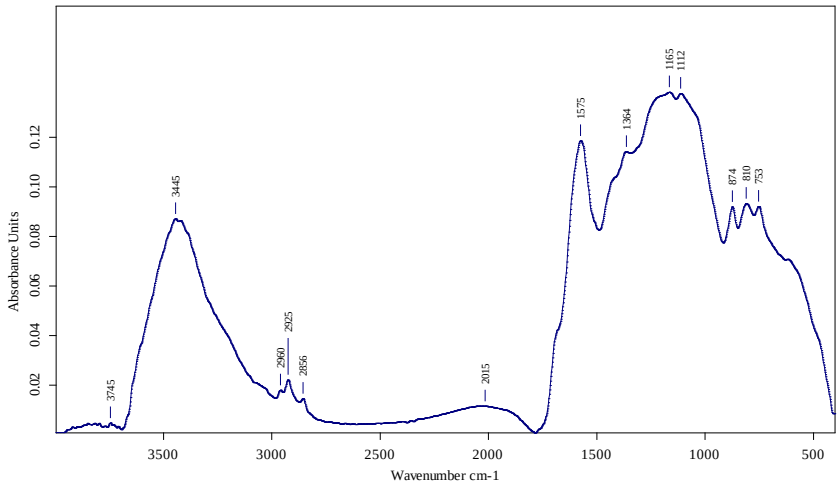
เครื่องมือวิเคราะห์ FT–IR spectroscopy สามารถให้ข้อมูลของโครงสร้างทางเคมีของสารที่อยู่บนพื้นผิวถ่านตัวอย่างได้ ซึ่งสเปคตรัมของหมู่ฟังก์ชันทั้งหมดเทียบหาได้จากคู่มือของสเปคตรัมมาตรฐาน (Smith, 1999) และค่า Wavenumber ที่ใช้สำหรับสเปคตรัมของถ่านชาร์ตัวอย่างดังปรากฏในตารางที่ 2 สำหรับสเปคตรัม FT-IR ของถ่านชาร์ตัวอย่างปรากฏในภาพที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 พบมีการเปลี่ยนแปลงหมู่ฟังก์ชันหลังผ่านการออกซิไดซ์ด้วยโอโซนที่เวลาต่างๆ หมู่ฟังก์ชันเหล่านี้เป็นส่วนหนึ่งขององค์ประกอบของถ่านชาร์จากหญ้าเนเปียร์ โดยถ่านชาร์ตัวอย่างหลังจากการออกซิไดซ์ด้วยโอโซนที่เวลา 30, 60, 90 และ 120 นาที พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของหมู่ฟังก์ชัน ด้วยการสังเกตจากรูปร่างของสเปคตรัมของ FT–IR



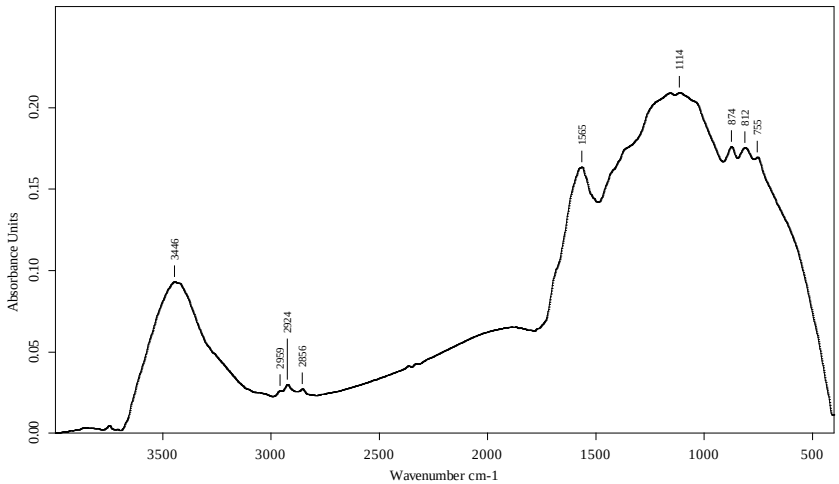
ภาพที่ 1 สเปคตรัม FT–IR ของถ่านตัวอย่างที่ไม่ผ่านการออกซิไดซ์



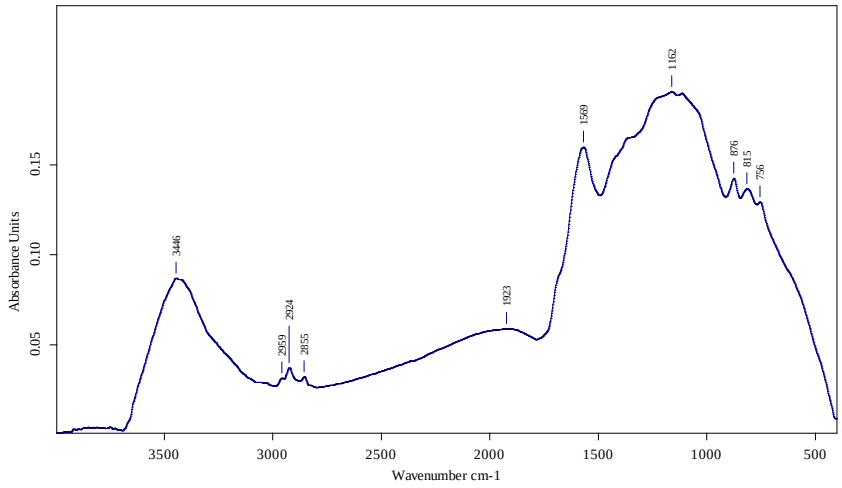
ภาพที่ 2 สเปคตรัม FT–IR ของถ่านตัวอย่างจากการออกซิไดซ์ ด้วย O_3 เป็นเวลา 30 นาที



ภาพที่ 3 สเปคตรัม FT–IR ของถ่านตัวอย่างจากการออกซิไดซ์ ด้วย O_3 เป็นเวลา 60 นาที



ภาพที่ 4 สเปคตรัม FT–IR ของถ่านตัวอย่างจากการออกซิไดซ์ ด้วย O_3 เป็นเวลา 90 นาที



ภาพที่ 5 สเปคตรัม FT–IR ของถ่านตัวอย่างจากการออกซิไดซ์ ด้วย O_3 เป็นเวลา 120 นาที

ตารางที่ 2 ความเป็นไปได้ของ FT–IR Peak ที่ได้จากถ่านตัวอย่างโดย FT–IR Spectroscopy

Wavenumber,cm^{-1}	Vibration mode	Atomic groupings
3200 – 3500	O-H (stretching)	Hydrogen bonding, Alcohol and Phenol
2853 – 2962	C-H (stretching)	Alkane, Aromatic- CH_3
2400 – 3400	O-H (C-O stretching)	Carboxylic Acid
1500 – 1600	NO_2 (stretching)	Nitro Compound
1365 – 1395	C-H (bending)	Alkane
1000 – 1400	C-O (stretching)	Alcohol and Phenol
1000 – 1300	C-O (stretching)	Ether, Ester
650 – 1000	C=C (stretching)	Alkene
675– 900	=C-H (stretching)	Aromatic Hydrocarbon

2. การวิเคราะห์ด้วยวิธี Boehm’s Titration

ออกซิเจนเชิงซ้อนที่ได้ทำการพิสูจน์เอกลักษณ์โดย FT–IR spectroscopy จากถ่านชาร์ตัวอย่างที่ไม่ผ่านการออกซิไดซ์ด้วย O_3 และถ่านที่ถูกออกซิไดซ์ด้วย O_3 ด้วยเวลาที่แตกต่างกัน อาจเป็นข้อมูลที่ไม่เพียงพอต่อการวิเคราะห์เชิงปริมาณ ดังนั้นจึงนำเอาเทคนิคการไทเทรตมาประยุกต์ใช้ซึ่งเรียกว่าเทคนิค Boehm’s Titration เพื่อใช้วิเคราะห์เชิงปริมาณของกรดคาร์บอกซิลิก กรดแลกโทนิก และกรดฟีนอลิก ซึ่งผลการวิเคราะห์ได้แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลของ Boehm's Titration

Sample	Concentration of acidic groups (mmol / g–sample)			
	Carboxylic	Phenolic	Lactonic	Total Acidity
1. Original	0.0934	0.0127	0.0135	0.1196
2. O_3 oxidation 30 min	0.0937	0.0144	0.0215	0.1296
3. O_3 oxidation 60 min	0.0938	0.0228	0.0199	0.1365
4. O_3 oxidation 90 min	0.0942	0.0170	0.0168	0.1280
5. O_3 oxidation 120 min	0.0941	0.0174	0.0282	0.1397

จากผลการวิเคราะห์โดยใช้วิธีของ Boehm's Titration ในตารางที่ 3 พบว่า มีความเข้มข้นของหมู่ฟังก์ชันที่เกิดกับถ่านจากหญ้าเนเปียร์ที่เผาโดยเทคโนโลยีชาวบ้าน (Original) ที่ยังไม่ผ่านการออกซิไดซ์ด้วยแก๊สโอโซน เนื่องจากถ่านที่ใช้เป็นวัตถุดิบนั้นยังไม่มีการนำไปผ่านกระบวนการกระตุ้น (Activation) จึงยังคงมีหมู่ฟังก์ชันต่าง ๆ ติดมาด้วย หลังจากนำถ่านมาผ่านการออกซิไดซ์ ด้วยแก๊สโอโซนด้วยเวลาที่แตกต่างกัน พบว่าแนวโน้มในการเกิดหมู่ฟังชั่นเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการออกซิไดซ์ใช้มากขึ้น โดยหมู่ฟังก์ชันที่เกิดขึ้นในปริมาณมากที่สุด คือ กรดคาร์บอกซิลิกมีความเข้มข้นสูงสุด 0.0942 mmol / g–sample กรดแลกโทนิกมีความเข้นข้นสูงสุด 0.0282 mmol / g–sample และกรดฟีนอลิกมีความเข้นข้นสูงสุด 0.0228 mmol / g–sample ส่วนปริมาณหมู่ฟังก์ชันรวมสูงสุดเท่ากับ 0.1397 mmol / g–sample เมื่อใช้เวลาในการออกซิไดซ์ด้วยแก๊สโอโซนเป็นเวลา 120 นาที

3. การวิเคราะห์ด้วย AAs

การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะเหล็กที่เกิดขึ้นจากการแลกเปลี่ยนไอออนในกระบวนการเติมโลหะเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของถ่านตัวอย่างโดยการใช้ AAs ดังตารางที่ 4 แสดงถึงผลของถ่านชาร์ตัวอย่างทั้งที่ไม่ผ่านการออกซิไดซ์และผ่านการออกซิไดซ์ด้วย O_3 โดยการใช้เวลาในการแลกเปลี่ยนไอออนของเหล็กกับถ่านชาร์ตัวอย่าง เป็นเวลา 30 นาที ทุกตัวอย่าง พบว่าปริมาณโลหะเหล็กที่พบมากที่สุด 4.83 mg-Fe/g–sample ได้แก่ ถ่านตัวอย่างที่ได้จากการปรับปรุงประสิทธิภาพโดยการออกซิไดซ์กับ O_3 เป็นเวลา 120 นาที ส่วนในกรณีของถ่านตัวอย่างที่ไม่ถูกออกซิไดซ์ด้วย O_3 พบปริมาณเหล็กน้อยที่สุดคือ 1.81 mg–Fe/g–sample มีแนวโน้มว่าเมื่อเวลาการออกซิไดซ์ที่ใช้เพิ่มขึ้นทำให้เพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับปริมาณเหล็กในถ่านตัวอย่างเพิ่มขึ้นด้วย

ตารางที่ 4 ปริมาณของโลหะเหล็กที่ถูกดูดซับเข้าไปในถ่านชาร์จากหญ้าเนเปียร์ตัวอย่าง

Sample description	Sample wt.(g)	Iron conc. (ppm)	mg- Fe/g– sample
1. Original	0.9933	1.8	1.81
2. O_3 oxidation 30 min	0.9797	2.7	2.76
3. O_3 oxidation 60 min	0.9426	3.2	3.39
4. O_3 oxidation 90 min	0.9737	3.7	3.80
5. O_3 oxidation 120 min	0.9726	4.7	4.83

อภิปรายผล

1. การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพโดยใช้ BET Analysis บอกให้ทราบถึงค่า Surface Area Micro pore Volume หรือ Micro pore Size ซึ่งสมบัติเหล่านี้สามารถที่จะทำนายถึงการประสิทธิภาพการดูดซับ ไอระเหย กลิ่นหรือโลหะของถ่านตัวอย่างได้ในเบื้องต้น จากผลการวิเคราะห์พบว่าถ่านชาร์ที่ได้จากการเผาหญ้าเนเปียร์โดยใช้เทคโนโลยีชาวบ้าน มีค่า Langmuir Surface Area: 337.1899 m^2/g และ BET surface area: 218.0418 m^2/g เมื่อเทียบกับถ่านกัมมันต์คุณภาพสูงจะมีค่า BET surface area: 800–12000 m^2/g ซึ่งก็สามารถนำไปใช้งานได้เช่นเดียวกับถ่านกัมมันต์ ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จึงเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพด้วยวิธีการที่ไม่ซับซ้อนและใช้ต้นทุนที่ไม่มากนัก

2. เครื่องมือวิเคราะห์ FT–IR spectroscopy เป็นเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์หาโครงสร้างทางเคมีของถ่านที่ไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิวและตัวอย่างที่ปรับปรุงโดยการออกซิไดซ์ ชนิดของหมู่ฟังก์ชันที่มีออกซิเจนแยกได้เป็น เอสเทอร์ อีเทอร์ แอลกอฮอล์ คีโตน และหมู่ฟังก์ชันกรดคาร์บอกซิลิก การไทเทรตโดยวิธีของ Boehm ก็เป็นอีกเทคนิคหนึ่งที่ใช้ตรวจวิเคราะห์หาชนิดและความเข้มข้นของหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวถ่านตัวอย่างและพบว่าถ่านที่ไม่ผ่านการออกซิไดซ์ โดยแก๊สโอโซนมีหมู่ฟังก์ชันของออกซิเจนบนพื้นผิวถ่านติดมาด้วยเนื่องจากถ่านดังกล่าวยังไม่ถูกกระตุ้นให้เป็นถ่านกัมมันต์

3. การใช้โอโซนเพื่อออกซิไดซ์ถ่านตัวอย่างเป็นวิธีที่มีผลต่อการฟอร์มสารประกอบเชิงซ้อนของออกซิเจน และความเข้มข้นของหมู่ฟังก์ชันก็ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขเวลาที่ใช้ในกระบวนการออกซิไดซ์ ส่วนผลของ Boehm นั้น สรุปได้ว่า ยังมีความเข้มข้นของหมู่ฟังก์ชันที่เกิดกับถ่านตัวอย่าง (Original) ที่ยังไม่ผ่านการออกซิไดซ์ด้วยแก๊สโอโซน เนื่องจากถ่านชาร์ตัวอย่างที่เป็นใช้เป็นวัตถุดิบนั้น ยังไม่มีการนำไปผ่านกระบวนการกระตุ้น (Activation) จึงยังคงมีหมู่ฟังก์ชันต่างๆติดมาด้วย

4. ปริมาณของโลหะเหล็กที่เกิดจากกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนนั้น ขึ้นอยู่กับเวลาที่ใช้ในการออกซิไดซ์เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพถ่านตัวอย่าง พบว่าปริมาณโลหะเหล็กที่พบมากที่สุด 4.83 mg–Fe/g–sample ได้แก่ ถ่านตัวอย่างที่ได้จากการปรับปรุงประสิทธิภาพโดยการออกซิไดซ์กับ O_3 เป็นเวลา 120 นาที ส่วนในกรณีของถ่านตัวอย่างที่ไม่ถูกออกซิไดซ์ด้วย O_3 พบปริมาณเหล็กน้อยที่สุด 1.81 mg–Fe/g–sample มีแนวโน้มว่าเมื่อเวลาการออกซิไดซ์ที่ใช้เพิ่มขึ้นทำให้เพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับปริมาณเหล็กในถ่านตัวอย่างเพิ่มขึ้นด้วย

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

หัวข้อที่สนใจในการศึกษาสำหรับงานวิจัยต่อเนื่องในอนาคตเพื่อนำมาประยุกต์และปรับปรุงใช้กับการดูดซับกลิ่นและไอระเหยของสารเคมี ดังนี้คือ

1. กลไกการดูดซับทั้งการดูดซับทางเคมีและทางกายภาพของแก๊สที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ทั้งที่อยู่ในสภาวะทั้งอุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิสูง
2. หมู่ฟังชันบนพื้นผิวถ่านชาร์ตัวอย่างเช่น C–O และ C=O ที่มีผลต่อพันธะไฮโดรเจนกับอะตอมที่มีค่าอิเล็กโทรเนกาติวิตี (electronegativity) สูง สำหรับแก๊สที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เช่น แก๊ส แอมโมเนีย (NH_3)
3. การดูดซับของถ่านชาร์ตัวอย่างสำหรับแก๊สที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่อุณหภูมิสูงกว่า 45 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดอากาศเสียที่อุณหภูมิสูง เช่น ของเสียจากแก๊สร้อนที่ออกจากปล่องไอเสียโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น
4. บทบาทของหมู่ฟังชั่นบางหมู่ เช่น คีโตน เอสเทอร์ คาร์บอกซิลิก และ/หรืออัลคีน บนพื้นผิวของถ่านชาร์ตัวอย่างที่มีผลต่อการเติมโลหะในกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนสำหรับโลหะสังกะสี ทองแดง เหล็ก และ/หรือตะกั่ว

รายการอ้างอิง

Cal, M. P., Strickler, B. W., & Lizzio, A. A. 2000. High temperature hydrogen sulfide adsorption on activated carbon I. Effect of gas composition and metal addition. **J. Carbon.** 38: 1757 –1765.

Chang, R. 2002.**Chemistry.** 7th ed. New York: McGraw-Hill.

Moreno - Castilla, C., Carrasco-Marin, F., Maldonado-Hodar, F.J., & Rivera-Utrilla, J. 1998. “Effects of non-oxidant and oxidant acid treatments on the surface properties of an activated carbon with very low ash content”. **J. Carbon.** 36:145-152.

Smith, B. C. 1999. **Infrared Spectral Interpretation a Systematic Approach.** New York: CRC Press.