

การเตรียมถ่านคาร์บอนไนซ์และถ่านกัมมันต์จากลูกดินเป็ดเพื่อกำจัดความกระด้างในน้ำ

Preparation of Carbonized and Activated Carbon from *Cerbera odollam* Gaertn for Removal of Hardness in Water

ปัญญา มณีจักร

Panya Maneechakr

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต ถนนพหลโยธิน ตำบลหลักหก อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี 12000

*Corresponding author, Email: panya.m@rsu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการเตรียมถ่านคาร์บอนไนซ์และถ่านกัมมันต์จากลูกดินเป็ด สำหรับใช้ในการดูดซับความกระด้างในน้ำ โดยถ่านคาร์บอนไนซ์สามารถเตรียมได้จากการเผาผลูกดินเป็ดที่อุณหภูมิ 400 และ 500 องศาเซลเซียส ในระยะเวลา 1 2 และ 3 ชั่วโมง จากนั้นกระตุ้นถ่านคาร์บอนไนซ์ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในอัตราส่วนต่างๆ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านคาร์บอนไนซ์คือ อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และการผลิตถ่านกัมมันต์คือ กระตุ้นในอัตราส่วนถ่านต่อ KOH เป็น 1 ต่อ 3 เท่าที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะให้ค่าการดูดซับแคลเซียมไอออนสูงที่สุด การศึกษากลไกการดูดซับโดยใช้แบบจำลองของแลงเมียร์และฟรุนดลิชพบว่าถ่านคาร์บอนไนซ์สอดคล้องแบบจำลองของแลงเมียร์ ส่วนถ่านกัมมันต์ สอดคล้องทั้งแบบจำลองของแลงเมียร์และฟรุนดลิช การศึกษาเทอร์โมไดนามิกส์พบว่า การดูดซับแคลเซียมไอออนลงบนผิวถ่านคาร์บอนไนซ์และถ่านกัมมันต์เป็นแบบคายความร้อน นอกจากนี้ยังศึกษาการบรรจุคอลัมน์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับพบว่าอัตราการไหลที่ช้าลงจะทำให้การดูดซับสูงขึ้น

คำสำคัญ: ถ่านกัมมันต์ ไอโซเทอร์มการดูดซับ น้ำกระด้าง

Abstract

The objective of this research is to study the preparation of carbonized and activated carbons from *Cerbera odollam* Gaertn which is used as an adsorbent to remove water hardness. Carbonized material was successfully prepared by thermal treatment at 400 and 500 °C for 1, 2, and 3 hrs. Potassium hydroxide was used to activate the carbonized material, followed by thermal activation at the same condition as the carbonizing process. It was found that the optimum condition of carbonization was at 500 °C for 1 hr. The carbonized material to potassium hydroxide

ratio of 1:3 at 500 °C for 1 hr gave the best result of calcium ion adsorption. The carbonized material was found to have correlation coefficient (R^2) close to 1, related to Langmuir model. The activated carbon had an R^2 close to 1, which was related to both Langmuir and Freundlich isotherms. From thermodynamic study at 30, 40 and 50 °C, calcium ion adsorption was found to be exothermic. Furthermore, this research focuses on column packing which revealed that slowly flow rate could increase adsorption efficiency.

Keywords: activated carbon, adsorption isotherm, water hardness

1. บทนำ

น้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญในการดำรงชีวิตของมนุษย์ ในอดีตมนุษย์มีทัศนคติว่าน้ำมีอยู่อย่างเพียงพอและมนุษย์สามารถใช้ประโยชน์ได้โดยไม่ต้องคำนึงถึงผลกระทบหลาย ๆ ด้านที่จะตามมา ปัจจุบันแหล่งน้ำธรรมชาติโดยทั่วไปมีการปนเปื้อนของสารต่าง ๆ ละลายอยู่มาก เนื่องจากน้ำเป็นตัวทำละลายที่ดี ไอออนของโลหะที่พบในน้ำธรรมชาติ ได้แก่ โซเดียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก และแมงกานีส เป็นต้นซึ่งไอออนเหล่านี้จะส่งผลต่อความกระด้างของน้ำ ถ้าหากมีความกระด้างในปริมาณมากเกินไปจะเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค ดังนั้นเพื่อลดปริมาณความกระด้างให้เหลือน้อยลง จึงควรปรับสภาพของน้ำให้มีสภาพที่เหมาะสมก่อนที่จะนำไปใช้งาน

การกำจัดความกระด้างของน้ำที่นิยมใช้มีหลายแบบขึ้นอยู่กับปริมาณความกระด้างที่แสดงในรูปของ มิลลิกรัมของ CaCO_3 ต่อลิตรของน้ำ (ppm) ซึ่งถ้ามีความกระด้างมากจะใช้วิธีการตกตะกอน ถ้ามีความกระด้างปานกลางจะใช้การดูดซับ และถ้ามีความกระด้างน้อยจะใช้การแลกเปลี่ยนไอออน ดังนั้นการกำจัดความกระด้าง ควรคำนึงปัจจัยสำคัญ 2 ประการคือ ปัจจัยด้านเศรษฐกิจ และปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งสามารถทำได้โดยการลดปริมาณการใช้สารเคมีที่เป็นอันตรายลง และหาสารเคมีที่อันตรายน้อยมาใช้ทดแทนสารเคมีที่เป็นอันตราย ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้การดูด

ซับด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากวัสดุที่เหลือทิ้งจากธรรมชาติเพื่อลดต้นทุนการผลิต และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

ดินเผ็เป็นไม้พื้นบ้านของไทย จัดอยู่ในวงศ์ (Apocynaceae) พันธุ์ไม้วงศ์นี้มีทั้ง ไม้ยืนต้น ไม้พุ่ม ไม้ล้มลุก และจำนวนมากที่เป็นเถา กระจายพันธุ์อยู่ในเขตร้อนทั่วโลก การใช้ประโยชน์จากลูกดินเผ็ยังมีอยู่น้อย โดยส่วนใหญ่จะปล่อยให้ยู่ที่โคนต้นซึ่งจะกลายเป็นขยะและสร้างความสกปรก จึงมีแนวคิดที่จะนำลูกดินเผ็มาทำประโยชน์โดยการผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ โดยเริ่มจากการผลิตถ่านคาร์บอนไนซ์ ด้วยวิธีทางกายภาพคือเผาที่อุณหภูมิสูง และบรรยากาศ โดยสภาวะที่ทำให้การศึกษาได้แก่ อุณหภูมิและเวลาของการเผาถ่าน และการผลิตถ่านกัมมันต์จะเลือกวิธีการกระตุ้นทางเคมีด้วยสารละลายเบสโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) โดยสภาวะที่ทำให้การศึกษาได้แก่อัตราส่วนถ่านคาร์บอนไนซ์ต่อ KOH อุณหภูมิและเวลาของการกระตุ้น โดยถ่านคาร์บอนไนซ์และถ่านกัมมันต์ที่ถูกเตรียมขึ้นจะนำมาศึกษาสภาวะที่ดีที่สุดในการดูดซับแคลเซียมไอออนศึกษาผลของการดูดซับ และเทอร์โมไดนามิกส์ของการดูดซับของถ่านทั้งสองชนิด นอกจากนี้ยังศึกษาการนำถ่านคาร์บอนไนซ์และถ่านกัมมันต์จากลูกดินเผ็มาดูดซับความกระด้างในน้ำประปา เปรียบเทียบอัตราการดูดซับแคลเซียมไอออนแบบคอลัมน์ของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการเตรียมถ่านคาร์บอนไนซ์และถ่านกัมมันต์จากลูกดินเป็ด
2. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์
3. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดแคลเซียมไอออน
4. เพื่อศึกษาผลกระทบการจัดแคลเซียมไอออนในน้ำของถ่านกัมมันต์ด้วยไอโซเทอร์มของแลงเมียร์และไอโซเทอร์มฟรุนคลิช
5. เพื่อศึกษาเทอร์โมไดนามิกส์การดูดซับแคลเซียมไอออนของถ่านกัมมันต์
6. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดความกระด้างในน้ำของถ่านกัมมันต์จากลูกดินเป็ดแบบคอลัมน์

3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัตถุดิบและสารเคมี

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์คือ ลูกดินเป็ด จากหน้าอาคารนันทนาการ มหาวิทยาลัยรังสิต และถ่านกัมมันต์การค้า (Fluka 05120) ผลิตจากบริษัท Sigma Aldrich

การดูดซับแคลเซียมไอออน โดยใช้สารละลายแคลเซียมไอออน เข้มข้น 200 พีพีเอ็ม ปริมาตร 30.00 มิลลิลิตร (CaCO_3 , MERCK) โดยใช้อัตราเร็วในการปั่นกววน 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที ทุกการทดลองจะทำทั้งหมด 3 ซ้ำแล้วหาค่าเฉลี่ย

3.2 การวิเคราะห์แคลเซียม ไอออน และความกระด้าง

วิเคราะห์ด้วยการไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานอีดีทีเอ จาก Standard methods for water and wastewater (234^oC)

3.3 การศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการผลิตถ่านคาร์บอนไนซ์

นำลูกดินเป็ดมาตากให้แห้ง ทำความสะอาดหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ ใส่ปืนโดสแดนเลส นำไปเผาที่อุณหภูมิ 400 และ 500^oC เป็นเวลา 1, 2 และ 3 ชั่วโมงทิ้งไว้ให้เย็นตัวลง และนำมาบดให้มีขนาด 50 mesh นำถ่านที่ได้ 0.50 กรัม ไปหาประสิทธิภาพในการดูดซับแคลเซียมไอออน เพื่อหาอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมในการผลิตถ่านคาร์บอนไนซ์

3.4 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของถ่านต่อ KOH ในการผลิตถ่านกัมมันต์จากลูกหูกวาง

นำถ่านคาร์บอนไนซ์ที่ได้มาบดให้มีขนาด 400 mesh นำมากระตุ้นด้วย KOH (Wu et al., 2010) ในอัตราส่วนถ่านต่อ KOH (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) เป็น 1:1 1:2 และ 1:3 เผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 300 400 และ 500^oC ที่เวลา 1 2 และ 3 ชั่วโมงทิ้งไว้ให้เย็นตัวลง นำมาล้างและปรับค่าพีเอชให้เป็นกลางด้วย 6 M HCl อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105^oC นำไปหาประสิทธิภาพในการดูดซับแคลเซียมไอออน เพื่อหาอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์

3.5 การศึกษาหาปริมาณถ่านที่เหมาะสมเพื่อดูดซับแคลเซียมไอออน 200 พีพีเอ็ม

ชั่งถ่านคาร์บอนไนซ์และถ่านกัมมันต์ 0.10, 0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 1.25, 1.50 กรัม ปิเปิดสารละลายแคลเซียมไอออนเข้มข้น 200 พีพีเอ็ม ปริมาตร 30.00 มิลลิลิตร นำไปเขย่าที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50^oC กรองสารละลายส่วนใสและนำไปวิเคราะห์หาปริมาณการดูดซับแคลเซียมไอออน เปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์การค้า (Fluka 05120) และนำข้อมูลที่ได้ไปการศึกษาผลกระทบการดูดซับแคลเซียมไอออนของถ่านคาร์บอนไนซ์และถ่านกัมมันต์กับแบบจำลองของแลงเมียร์และฟรุนคลิช และศึกษาเทอร์โมไดนามิกส์การดูดซับของถ่านกัมมันต์

3.6 ศึกษาอัตราการดูดซับของถ่านกัมมันต์โดยการบรรจุคอลัมน์

ซึ่งถ่านกัมมันต์ 1.00 กรัม บรรจุลงในคอลัมน์ และปรับอัตราการไหลโดยใช้น้ำ DI เติมน้ำประปาลงในคอลัมน์ 3.33 มิลลิลิตรต่อนาที 5 มิลลิลิตรต่อนาที และ 10 มิลลิลิตรต่อนาที เก็บน้ำตัวอย่างทุก ๆ 10 มิลลิลิตร นำไปวิเคราะห์หาปริมาณการดูดซับแคลเซียมไอออน

4. ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์

4.1 ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมในการคาร์บอนไนซ์

ผลการทดลองหาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการคาร์บอนไนซ์ถูกค้นพบได้เป็นถ่านเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับแคลเซียมไอออน โดยใช้ถ่านคาร์บอนไนซ์ 0.50 กรัม นำไปดูดซับสารละลายแคลเซียมไอออน เข้มข้น 200 พีพีเอ็ม ปริมาตร 30.00 มิลลิลิตรที่อุณหภูมิห้อง ผลที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ร้อยละการกำจัดแคลเซียมไอออนของถ่านคาร์บอนไนซ์เผาที่สภาวะต่าง ๆ

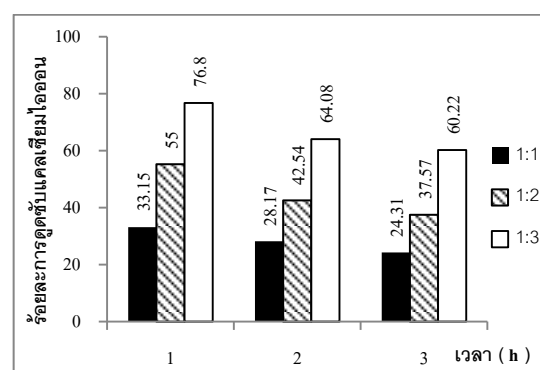
| เวลา (นาที) | ร้อยละการกำจัดแคลเซียม | | |
|----------------|------------------------|-------|-------|
| | 60 | 120 | 180 |
| อุณหภูมิ (°C) | | | |
| 400 | 41.83 | 40.69 | 28.31 |
| 500 | 53.72 | 49.17 | 40.96 |

จากตารางที่ 1 พบว่าเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการคาร์บอนไนซ์ถูกค้นพบได้เป็นถ่านคือการคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 500°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งสามารถกำจัดแคลเซียมไอออนได้เท่ากับ 53.72 % จากการศึกษาพบว่าเมื่อเผาถ่านในเวลาที่นานขึ้นจะทำให้ร้อยละการกำจัดแคลเซียมไอออนลดลง เพราะเมื่อ

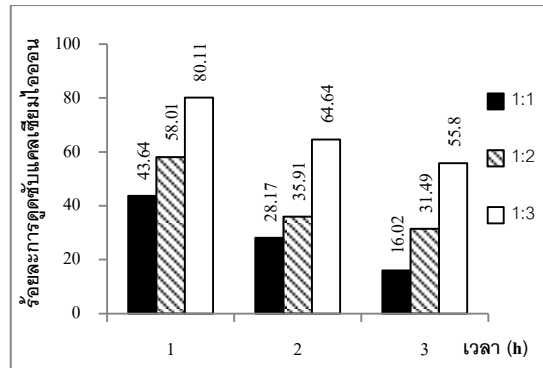
ใช้เวลาในการเผาเพิ่มขึ้น น่าจะเกิดจากที่หมู่คาร์บอนิลในโครงสร้างของถ่านคาร์บอนไนซ์สลายตัวเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากขึ้น ซึ่งในการผลิตถ่านคาร์บอนไนซ์จะต้องมีหมู่คาร์บอนิลเป็นจำนวนมากเพื่อใช้ในการดูดซับแคลเซียม ไอออน จากข้อมูลของถ่านกัมมันต์การค้า (Fluka 05120) และถ่านกัมมันต์จากงานวิจัยที่เคยศึกษาพบว่า โครงสร้างของคาร์บอนในองค์ประกอบจะเป็นวงอะโรมาติกเป็นจำนวนมากต่อกับหมู่คาร์บอนิล (คีโตน) (ปัญญามณีจักร, 2555) การดูดซับแคลเซียมไอออนซึ่งเป็นประจุบวกจะทำหน้าที่เป็นกรดลิวอิสและหมู่คาร์บอนิล ออกซิเจนซึ่งมีอิเล็กตรอนคู่เหลืออยู่ จึงทำหน้าที่เป็นเบสลิวอิส และถ้าเพิ่มอุณหภูมิให้สูงกว่า 500 °C ถ่านจะเกิดการสันดาปเป็นเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หมด

4.2 ผลการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของถ่านต่อ KOH ในการผลิตถ่านกัมมันต์จากลูกดินเป็ด

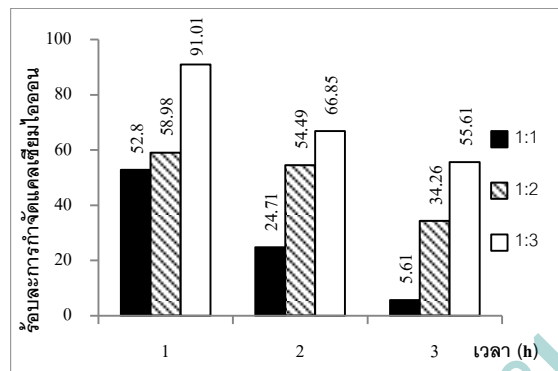
ผลของสภาวะที่เหมาะสมในการกระตุ้นเพื่อเพิ่มรูพรุนและพื้นที่ผิวของถ่านคาร์บอนไนซ์ โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ได้ 0.50 กรัม นำไปดูดซับสารละลายแคลเซียมไอออน เข้มข้น 200 พีพีเอ็ม ปริมาตร 30.00 มิลลิลิตรที่อุณหภูมิห้อง พบว่าในแต่ละอุณหภูมิให้สภาวะที่เหมาะสมแตกต่างกันดังนี้



รูปที่ 1 ร้อยละการดูดซับแคลเซียมไอออนที่ 300 °C



รูปที่ 2 ร้อยละการดูดซับแคลเซียมไอออนที่ 400°C



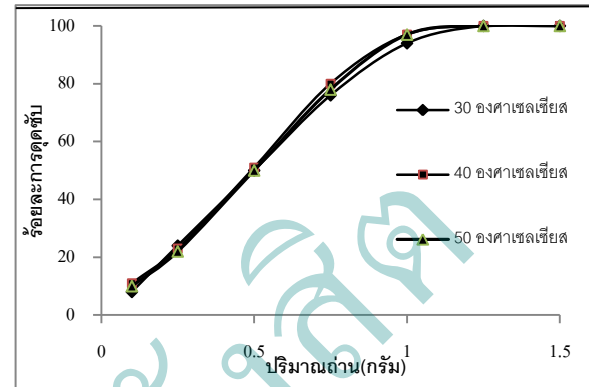
รูปที่ 3 ร้อยละการดูดซับแคลเซียมไอออนที่ 500°C

จากรูปที่ 3, 4 และ 5 พบว่าในการทดลองนี้ การกระตุ้นถ่านที่อุณหภูมิ 500°C ใช้เวลาในการกระตุ้น 1 ชั่วโมง ด้วยอัตราส่วนถ่านต่อ KOH 1:3 จะให้ถ่านถ่านกัมมันต์ที่มีความสามารถในการดูดซับแคลเซียมไอออนมากที่สุดเท่ากับ 91.01 % และพบว่าเวลาในการเผาที่นานขึ้นจะทำให้ความสามารถในการดูดซับแคลเซียมไอออนลดลงเพราะเวลาที่เผาานจะทำให้หมู่คาร์บอนิลในโครงสร้างเปลี่ยนแปลงเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทำให้รูพรุนและพื้นที่ผิวลดลง (ปัญญามณีจักร, 2555)

4.3 ผลของการศึกษาหาปริมาณถ่านที่เหมาะสมในการดูดซับแคลเซียมไอออนของถ่านคาร์บอนและถ่านกัมมันต์จากถักดินเป็ด

การศึกษาหาปริมาณถ่านคาร์บอนที่ เหมาะสมในการดูดซับสารละลายแคลเซียมไอออน

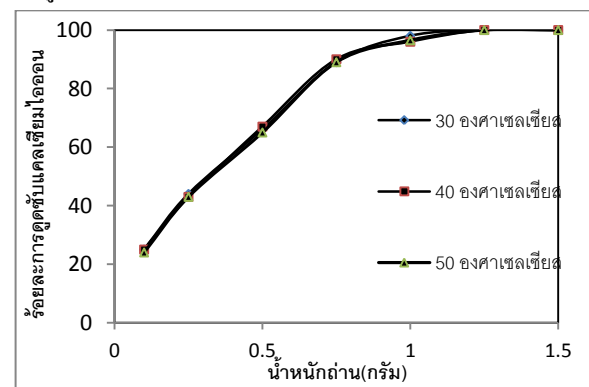
เข้มข้น 200 พีพีเอ็ม ปริมาตร 30.00 มิลลิลิตร จะให้ผล การทดลองดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ปริมาณถ่านคาร์บอนที่เหมาะสมในการดูดซับ

จากรูปที่ 4 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณถ่านคาร์บอน จะทำให้ความสามารถในการกำจัด แคลเซียมไอออนเพิ่มมากขึ้น ดูจากปริมาณร้อยละการดูดซับที่เพิ่มขึ้นของถ่านคาร์บอนทั้ง 3 อุณหภูมิ และเลือกปริมาณถ่านคาร์บอนที่น้ำหนัก 1.25 กรัม จะทำให้สามารถดูดซับแคลเซียมไอออน 100 % และแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อการดูดซับแคลเซียมไอออนบนพื้นผิวของถ่านคาร์บอน

การศึกษาหาปริมาณถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสม ในการดูดซับสารละลายแคลเซียมไอออน เข้มข้น 200 พีพีเอ็ม ปริมาตร 30.00 มิลลิลิตร จะให้ผลการทดลอง ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ปริมาณถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมในการดูดซับ

จากรูปที่ 5 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณถ่านกัมมันต์ จะทำให้ความสามารถในการดูดซับแคลเซียมไอออน เพิ่มขึ้น จากปริมาณร้อยละการดูดซับที่เพิ่มขึ้นของ ถ่านกัมมันต์ทั้งสามอุณหภูมิ และเลือกปริมาณ ถ่านกัมมันต์ ที่น้ำหนัก 1.25 กรัม จะทำให้ความสามารถในการดูดซับ แคลเซียมไอออน 100 % และแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิที่ เพิ่มขึ้นไม่น่ามีผลต่อการดูดซับแคลเซียมไอออนบน พื้นผิวถ่านกัมมันต์เช่นกัน

จากการเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับแคลเซียมไอออนของถ่านคาร์บอนไนซ์และถ่านกัมมันต์ จากลูกดินเปิด กับ ถ่านกัมมันต์การค้า (Fluka 05120) ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบปริมาณการดูดซับแคลเซียมไอออน ของถ่านคาร์บอนไนซ์ และถ่านกัมมันต์จากลูกดินเปิด กับ ถ่านกัมมันต์การค้า (Fluka 05120)

| ชนิดของถ่าน | ปริมาณการดูดซับแคลเซียมไอออน | |
|----------------------------------|------------------------------|------|
| | mg/g | sd |
| ถ่านคาร์บอนไนซ์ | 5.25 | 0.02 |
| ถ่านกัมมันต์ | 15.55 | 0.04 |
| ถ่านกัมมันต์การค้า (Fluka 05120) | 4.26 | 0.03 |

จากผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 2 พบว่า ถ่านกัมมันต์จากลูกดินเปิดสามารถดูดซับแคลเซียมไอออนได้มากที่สุดคือ 15.55 มิลลิกรัมต่อกรัมเมื่อ เปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์การค้า แสดงว่าสภาวะต่าง ๆ ที่ใช้ในการผลิตถ่านคาร์บอนไนซ์และถ่านกัมมันต์ สามารถทำให้ถ่านทั้งสองชนิดมีประสิทธิภาพในการดูดซับแคลเซียมไอออนได้ดีกว่าถ่านกัมมันต์การค้า

4.4 ศึกษาความสัมพันธ์ในการดูดซับแคลเซียมไอออน ของถ่านคาร์บอนไนซ์และถ่านกัมมันต์กับแบบจำลอง ไอโซเทอร์มแลงเมียร์

นำข้อมูลที่ได้มาศึกษาปริมาณความสัมพันธ์ ในการดูดซับแคลเซียมไอออนด้วยไอโซเทอร์มแลงเมียร์ (Amin, 2008)

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{K_L Q_0} + \frac{C_e}{Q_0}$$

โดย ค่า q_e คือค่าการดูดซับที่สมดุลมีหน่วย เป็น มิลลิกรัมต่อกรัมและ C_e คือค่าความเข้มข้นของ แคลเซียมไอออนที่สมดุลมีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร จากสมการการดูดซับของแลงเมียร์สามารถสร้างกราฟ แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{C_e}{q_e}$ (แกน x) และค่า $\frac{C_e}{q_e}$ (แกน y) โดยสามารถคำนวณหา Q_0 ได้จากค่าความชัน ($\frac{1}{Q_0}$) และค่า K_L ได้จากจุดตัดแกน y ($\frac{1}{K_L Q_0}$) จะ แสดงผลการทดลองในตารางที่ 3 และตารางที่ 4

ตารางที่ 3 ตัวบ่งชี้ที่คำนวณได้จากสมการการดูดซับของไอโซ เทอร์มแลงเมียร์ ของถ่านคาร์บอนไนซ์

| อุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับ | ตัวบ่งชี้ที่คำนวณได้จาก การพล็อตกราฟ | | |
|---------------------------|--------------------------------------|-------|--------|
| | Q_0 | K_L | R^2 |
| 30 °C | 5.13 | 0.08 | 0.9126 |
| 40 °C | 6.64 | 0.70 | 0.9992 |
| 50 °C | 6.78 | 0.51 | 0.9772 |

จากตารางที่ 2 ไอโซเทอร์มแลงเมียร์ พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) ในการดูดซับ สารละลายแคลเซียมไอออนของถ่านคาร์บอนไนซ์จาก ลูกดินเปิดมีค่า R^2 เข้าใกล้ 1 แสดงว่ากลไกการดูดซับ แคลเซียมไอออนถ่านคาร์บอนไนซ์ สอดคล้องกับไอโซ เทอร์มแลงเมียร์ ซึ่งเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว

ตารางที่ 4 ตัวบ่งชี้ที่คำนวณได้จากสมการการดูดซับของไอโซเทอร์มแลงเมียร์ของถ่านกัมมันต์

| อุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับ | ตัวบ่งชี้ที่คำนวณได้จาก | | |
|---------------------------|-------------------------|--------|--------|
| | การพล็อตกราฟ | | |
| | Q_0 | K_f | R^2 |
| 30 °C | 16.69 | 0.0254 | 0.9112 |
| 40 °C | 16.81 | 0.0471 | 0.9931 |
| 50 °C | 15.27 | 0.0609 | 0.9867 |

จากตารางที่ 3 ไอโซเทอร์มแลงเมียร์พบว่าค่า R^2 ในการดูดซับสารละลายแคลเซียมไอออนของถ่านกัมมันต์จากลูกดินเป็ดมีค่า R^2 มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่ากลไกการดูดซับแคลเซียมไอออนของถ่านกัมมันต์สอดคล้องกับไอโซเทอร์มแลงเมียร์ ซึ่งเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว

4.5 ศึกษาความสัมพันธ์ในการดูดซับแคลเซียมไอออนของถ่านคาร์บอนไนซ์และถ่านกัมมันต์กับแบบจำลองไอโซเทอร์มฟรุนดลิช

นำข้อมูลที่ได้อ่านศึกษาปริมาณความสัมพันธ์ในการดูดซับแคลเซียมไอออนของถ่านกัมมันต์ด้วยไอโซเทอร์มฟรุนดลิชสมการเส้นตรงแสดงการดูดซับแบบฟรุนดลิชเป็นดังนี้ $\log q_c = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_c$

จากสมการการดูดซับของฟรุนดลิช สามารถสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\log C_c$ (แกน x) ค่า $\log q_c$ (แกน y) คำนวณค่า $(1/n)$ ได้จากความชัน และค่า K_f ได้จากจุดตัดแกน y จะแสดงการทดลองในตารางที่ 4 และตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ตัวบ่งชี้ที่คำนวณได้จากไอโซเทอร์มฟรุนดลิชของถ่านคาร์บอนไนซ์

| อุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับ | ตัวบ่งชี้ที่คำนวณได้จาก | | |
|---------------------------|-------------------------|-------|--------|
| | การพล็อตกราฟ | | |
| | K_f | $1/n$ | R^2 |
| 30 °C | 5.36 | 0.03 | 0.0137 |
| 40 °C | 4.91 | 0.06 | 0.5955 |
| 50 °C | 5.17 | 0.575 | 0.1117 |

จากตารางที่ 5 ไอโซเทอร์มฟรุนดลิชพบว่าค่า R^2 ในการดูดซับสารละลายแคลเซียมไอออนของถ่านคาร์บอนไนซ์จากลูกดินเป็ด โดยถ่านทั้ง 3 อุณหภูมิ มีค่า R^2 ไม่เข้าใกล้ 1 แสดงว่าถ่านทั้ง 3 ชนิด ไม่เป็นไปตามสมมติฐานของไอโซเทอร์มฟรุนดลิช

ตารางที่ 6 ตัวบ่งชี้ที่คำนวณได้จากไอโซเทอร์มฟรุนดลิชของถ่านกัมมันต์

| อุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับ | ตัวบ่งชี้ที่คำนวณได้จาก | | |
|---------------------------|-------------------------|-------|--------|
| | การพล็อตกราฟ | | |
| | K_f | $1/n$ | R^2 |
| 30 °C | 2.04 | 0.37 | 0.9321 |
| 40 °C | 2.93 | 0.33 | 0.9985 |
| 50 °C | 3.46 | 0.28 | 0.9891 |

จากตารางที่ 6 ไอโซเทอร์มฟรุนดลิชพบว่าค่า R^2 ในการดูดซับสารละลายแคลเซียมไอออนของถ่านกัมมันต์จากลูกดินเป็ดมีค่า เข้าใกล้ 1 สอดคล้องกับไอโซเทอร์มของฟรุนดลิชแสดงว่าเป็นการดูดซับแบบหลายชั้น และมีค่า $1/n$ น้อยกว่า 1 แสดงว่ามีพื้นที่ผิวจำกัดในการดูดซับ

4.6 การศึกษาเทอร์โมไดนามิกส์การดูดซับแคลเซียมไอออน

การคำนวณหาค่าเปลี่ยนแปลงเอนทาลปี เอนโทรปี และพลังงานกิบส์ สามารถคำนวณได้จากสมการนี้ (Tan, 2007)

$$K_d = \frac{C_o - C_e}{C_e}$$

$$\Delta G^0 = -RT \ln K_d$$

$$\ln K_d = \frac{\Delta S^0}{R} - \frac{\Delta H^0}{RT}$$

จากกราฟเทอร์โมไดนามิกส์การดูดซับสารละลายแคลเซียมไอออนเข้มข้น 200 พีพีเอ็ม ปริมาตร 30.00 มิลลิลิตรของถ่านคาร์บอนไนซ์และถ่านกัมมันต์สามารถคำนวณหา ΔH^0 จากค่าความชัน และ ΔS^0 จากจุดตัดแกน y และค่า ΔG^0 จากสมการ $\Delta G^0 = -RT \ln K_d$ ได้ค่าดังตารางที่ 7 และ 8

ตารางที่ 7 ค่าพารามิเตอร์ของถ่านคาร์บอนไนซ์

| น้ำหนัก ถ่าน (g) | ΔH^0 | ΔS^0 | ΔG^0 | | |
|---------------------|--------------|--------------|--------------|-------|-------|
| | | | 303K | 313K | 323K |
| 0.10 | -25514 | 63 | 6149 | 5438 | 4872 |
| 0.25 | 16956 | -62 | 2133 | 2587 | 3397 |
| 0.50 | -1586 | 7 | -813 | -628 | -977 |
| 0.75 | -24689 | 91 | -3044 | -3946 | -4875 |
| 1.00 | -28060 | 108 | -4789 | -6355 | -6946 |

ตารางที่ 8 ค่าพารามิเตอร์ของถ่านกัมมันต์

| น้ำหนัก ถ่าน(g) | ΔH^0 | ΔS^0 | ΔG^0 | | |
|--------------------|--------------|--------------|--------------|-------|-------|
| | | | 303K | 313K | 323K |
| 0.10 | -25514 | 63 | 6149 | 5438 | 4872 |
| 0.25 | 16956 | -62 | 2133 | 2587 | 3397 |
| 0.50 | -1586 | 7 | -813 | -628 | -977 |
| 0.75 | -24689 | 91 | -3044 | -3946 | -4875 |
| 1.00 | -28060 | 108 | -4789 | -6355 | -6946 |

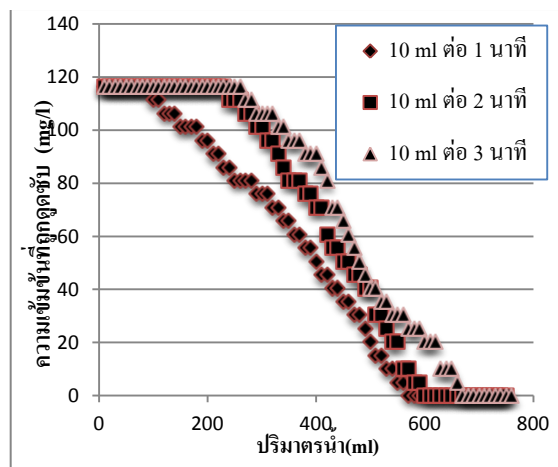
จากตารางที่ 7 และ 8 พบว่า ΔG^0 ของถ่านคาร์บอนไนซ์และถ่านกัมมันต์ ที่น้ำหนัก 0.50, 0.75 และ 1.00 กรัม จะมีเครื่องหมายเป็นลบเนื่องจากค่า $C_o - C_e$ มากกว่าค่า C_e จึงมีผลทำให้ค่า ΔG^0 มีเครื่องหมายเป็นลบซึ่งแสดงว่าการดูดซับแคลเซียมไอออนลงบนพื้นผิว

ของถ่านคาร์บอนไนซ์สามารถเกิดขึ้นเองได้ ส่วนค่า ΔH^0 และ ΔS^0 ซึ่งจะคำนวณจากความเป็นเส้นตรง ความชัน และจุดตัดแกน เมื่อพิจารณาค่า ΔS^0 แสดงว่าปฏิกิริยามีความไม่เป็นระเบียบมาก และพิจารณาค่า ΔH^0 เป็นลบ แสดงว่ากระบวนการดูดซับแคลเซียมไอออนลงบนพื้นผิวถ่านเป็นแบบคายความร้อน ส่วนถ่านคาร์บอนไนซ์และถ่านกัมมันต์ ที่น้ำหนัก 0.10, 0.25 กรัม จากค่า ΔG^0 มีเครื่องหมายเป็นบวกซึ่งแสดงว่าค่าการดูดซับแคลเซียมไม่สามารถเกิดขึ้นเองได้ที่น้ำหนักนี้ ซึ่งเมื่อพิจารณาจากร้อยละการดูดซับในรูปที่ 4 และ 5 ที่น้ำหนัก 0.10 และ 0.25 ดูดซับได้น้อยกว่า 50% เนื่องจากปริมาณแคลเซียมมีมากกว่าปริมาณถ่านที่จะดูดซับ จึงส่งผลให้ค่า ΔG^0 มีเครื่องหมายเป็นบวก ระบุว่า การดูดซับไม่สามารถเกิดได้เอง

4.7 ศึกษาการดูดซับของถ่านกัมมันต์จากลูกดินเปิดโดยการบรรจุคอลัมน์

ศึกษาการบรรจุคอลัมน์โดยการนำถ่าน 1 กรัม ขนาด 400 mesh ใสลงไป ในคอลัมน์ เติมน้ำประปา ลงไปและปรับอัตราการไหลเป็น 3.33 มิลลิลิตรต่อนาที 5 มิลลิลิตรต่อนาที และ 10 มิลลิลิตรต่อนาที เพื่อทำการดูดซับความกระด้างในน้ำประปาเข้มข้น 120 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยนำข้อมูลการทดลองมาทำกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นที่ถูกดูดซับกับ ปริมาตรของน้ำประปาที่ใช้ในการทดลอง แสดงผลการทดลองดังรูปที่ 6 จะเห็นได้ว่าความสามารถในการดูดซับความกระด้างในน้ำประปาของถ่านกัมมันต์ นำมาเปรียบเทียบกับอัตราการไหลทั้งสามอัตราพบว่า เมื่อเพิ่มเวลาในการไหลของน้ำประปาจะทำให้ความสามารถในการดูดซับความกระด้างของน้ำประปาเพิ่มขึ้น โดยในอัตราการไหล 3.33 มิลลิลิตรต่อนาที จะให้ผลการดูดซับความกระด้างในน้ำประปาได้ดีที่สุดถึง 280 มิลลิตรจากนั้นจึงเริ่มดูดซับไม่หมดจนกระทั่งถึง 630

มิลลิลิตรจึงไม่สามารถดูดซับความกระด้างได้ รongลงมาคือ 5 มิลลิลิตรต่อนาที และน้อยที่สุดคือ 10 มิลลิลิตรต่อนาที เนื่องจากระยะเวลาที่ถ่านกัมมันต์สัมผัสกับน้ำประปานั้นกว่าจึงทำให้สามารถดูดซับความกระด้างของน้ำประปาได้มากที่สุด



รูปที่ 6 แสดงการดูดซับความกระด้างของถ่านกัมมันต์โดยการบรรจุคอลัมน์

5. บทสรุป

ในการเตรียมถ่านกัมมันต์เพื่อดูดซับความกระด้างในน้ำพบว่า อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการคาร์บอนไนซ์ถูกค้นพบได้เป็นถ่านคือ เเผาที่อุณหภูมิ 500 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และพบว่าเวลาในการเผานานขึ้น น้ำจะเกิดหมูคาร์บอนไนลในโครงสร้างเกิดการสลายตัวเปลี่ยนเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนการกระตุ้นถ่านโดยใช้ KOH พบว่าอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการกระตุ้นคือ อัตราส่วนถ่านต่อ KOH เป็น 1:3 เเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 500°C ระยะเวลาในการเผาคือ 1 ชั่วโมง การศึกษากลไกการดูดซับแคลเซียมไอออนของถ่านคาร์บอนไนซ์และถ่านกัมมันต์ สอดคล้องกับไอโซ เทอร์มของแลงเมียร์ซึ่งเป็นกลไกการดูดซับแบบชั้นเดียว และการดูดซับแคลเซียม

ไอออนของถ่านกัมมันต์ สอดคล้องกับไอโซเทอร์มของฟรุนดลิชซึ่งเป็นกลไกการดูดซับแบบหลายชั้น

การศึกษาเทอร์โมไดนามิกส์การดูดซับพบว่า กระบวนการดูดซับแคลเซียมไอออนของถ่านกัมมันต์และถ่านคาร์บอนไนซ์ที่น้ำหนัก 0.50, 0.75, 1.00 กรัมสามารถเกิดการดูดซับขึ้นได้เอง และพบว่า กระบวนการดูดซับเป็นแบบคายความร้อน และการศึกษาการบรรจุคอลัมน์ของถ่านกัมมันต์พบว่าอัตราการไหลที่ช้าลงจะทำให้สามารถดูดซับความกระด้างในน้ำประปาได้มากขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัยรังสิต ที่ให้การสนับสนุนการทำวิจัย สถานที่ในการทดลอง ตลอดจนอนุเคราะห์สารเคมี รวมทั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- ปัญญาณฉัตร. (2555). การเตรียมถ่านกัมมันต์จากลูกทุกวาง. วารสารวิชาการ สมาคมสถาบันอุดมศึกษาเอกชนแห่งประเทศไทย. 18(1): 119-128.
- Amin, N. K. (2008). Removal of reactive dye from aqueous solutions by adsorption onto activated carbons prepared from sugarcane bagasse pith. *Desalination* 223: 152-161.
- Tan, I. A. W. et al. (2007). Equilibrium and kinetic studies on basic adsorption by oil palm fibre activated carbon. *Chemical Engineering Journal* 127: 111-119.
- Wu, F.- C. et al. 2010. Preparation of activated carbons from unburnt coal in bottom ash with KOH activation for liquid-phase adsorption. *Journal of Environmental management* 91: 1097-1102.