



## การดูดซับไอออนตะกั่ว (II) บนถ่านกัมมันต์ที่เจืออนุภาคด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์

สุพัตรา รักษาพรต\* และ นันทพร มุขรังษี

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

\* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 09 2964 4654 อีเมล: supattra.r@rbru.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2024.09.010

รับเมื่อ 4 กรกฎาคม 2566 แก้ไขเมื่อ 4 กันยายน 2566 ตอรับเมื่อ 31 ตุลาคม 2566 เผยแพร่ออนไลน์ 12 กันยายน 2567

© 2025 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการดูดซับไอออนตะกั่ว (II) ในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดสละพันธุ์สุมาลี ที่เตรียมโดยการเผาและการกระตุ้นในขั้นตอนเดียว ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกที่อัตราส่วนของเมล็ดสละแห้งต่อสารละลายกรดฟอสฟอริก 1:1 โดยมวล และปรับปรุงลักษณะสมบัติของถ่านกัมมันต์ด้วยการเจืออนุภาคถ่านกัมมันต์ด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ โดยศึกษาลักษณะสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ การดูดซับ และจลนพลศาสตร์ของการดูดซับพบว่า ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้เป็นถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดเล็ก และมีประสิทธิภาพที่สามารถ นำมาใช้ในการดูดซับได้ดี ความสามารถในการดูดซับไอออนตะกั่ว (II) ในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยถ่านกัมมันต์ หลังการปรับปรุงลักษณะสมบัติสูงถึง  $28.68 \pm 0.50$  มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งสูงกว่าการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ก่อนปรับปรุงลักษณะสมบัติถึงร้อยละ 137 จลนพลศาสตร์ของการดูดซับสอดคล้องกับปฏิกิริยาอันดับสองเทียม ( $R^2 = 0.999$ ) และแบบจำลองไอโซเทอร์มการดูดซับของแลงเมียร์ ( $R^2 = 0.9927$ ) ซึ่งการดูดซับมีลักษณะเป็นแบบชั้นเดียว และเมื่อเกิดการดูดซับแล้ว ไอออนหรือโมเลกุลจะไม่ซ้อนทับกัน ดังนั้นถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ มีประสิทธิภาพในการดูดซับไอออนตะกั่ว (II) จากน้ำเสีย สามารถลดปริมาณขยะ และเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้ง

**คำสำคัญ:** ถ่านกัมมันต์ การดูดซับ เมล็ดสละ ตะกั่ว เจืออนุภาค



## Adsorption of Pb (II) Ion onto Calcium Hydroxide-doped Activated Carbons

Supattra Raksaphort\* and Nuntaporn Moonrungsee

Department of Chemistry Faculty of Science and Technology Rambhai Barni Rajabhat University, Chanthaburi, Thailand

\* Corresponding Author, Tel. 09 2964 4654, E-mail: supattra.r@bbru.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2024.09.010

Received 4 July 2023 ; Revised 4 September 2023 ; Accepted 31 October 2023; Published online: 12 September 2024

© 2025 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

### Abstract

This research studied the adsorption of lead (II) ion in synthetic wastewater using activated carbon from Salacca (Sumalee) seeds. It was prepared by carbonization and activation in single step with phosphoric acid solution at the ratio of dried seed to phosphoric acid solution of 1 : 1 by mass. The properties of the activated carbon were improved by doping the activated carbon particles with calcium hydroxide. The characteristics of prepared activated carbon, the activated carbon adsorption and kinetics adsorption were evaluated. It was found that the doped activated carbon is a small porous material and has effective for adsorption. Adsorption capacity of lead (II) ions in synthetic wastewater by doped activated carbon was  $28.68 \pm 0.50$  mg/g, which is 137 % higher than the adsorption capacity of activated carbon before doping. Adsorption kinetics corresponded to pseudo-second order reactions ( $R^2 = 0.999$ ). The isotherm adsorption model corresponded to the Langmuir adsorption isotherm model ( $R^2 = 0.9927$ ). The adsorption is a single layer, which the ions or molecules would not overlap after adsorption. Therefore, the doped activated carbon is efficient in adsorbing of lead (II) ions from wastewater. Consequently, waste would be reduced and give a value-added to the waste materials.

**Keywords:** Activated Carbon, Adsorption, Salacca Seeds, Lead, Doped Particles

Please cite this article as: S. Raksaphort and N. Moonrungsee, "Adsorption of Pb (II) ion onto calcium hydroxide-doped activated carbons," *The Journal of KMUTNB*, vol. 35, no. 2, pp. 1–12, ID. 252-106998, Apr.–Jun. 2025 (in Thai).

## 1. บทนำ

ตะกั่ว (Lead) เป็นโลหะหนักที่อันตรายเป็นอันดับ 2 รองจากสารหนู (Arsenic) ซึ่งสารตะกั่วสามารถอยู่ได้ทั้งในอากาศ น้ำ และดิน หากปะปนมากับน้ำ ระดับตะกั่วในน้ำจะสูงถ้าใช้น้ำนั้นอยู่ในเวลานาน น้ำนั้นร้อน หรือมีความเป็นกรดสูง [1] สารตะกั่วจะมีผลเสียต่อสมอง ทำให้เม็ดเลือดแดงแตกง่ายเป็นโรคโลหิตจาง มีผลต่อการทำงานของไต มีผลต่อการตั้งครรภ์และทารก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องกำจัดไอออนตะกั่ว (II) จากน้ำเสีย ก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ โดยวิธีบำบัดน้ำปนเปื้อนตะกั่วมีหลายกระบวนการ เช่น การตกตะกอน การแลกเปลี่ยนไอออน การใช้เคมีเชิงไฟฟ้า และการสกัดด้วยตัวทำละลาย เป็นต้น ซึ่งวิธีที่กล่าวมาข้างต้นใช้ต้นทุนและพลังงานในการบำบัดค่อนข้างสูง วิธีการดูดซับเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจสำหรับนำมาใช้ ในการกำจัดไอออนตะกั่ว (II) ในน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพ และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังใช้ต้นทุนและพลังงานต่ำกว่าตัวดูดซับที่นิยมใช้ ได้แก่ เซลลูโลส ชี๊ถั และถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ผลิตได้จากการนำวัสดุธรรมชาติหรืออินทรีย์วัตถุที่มีคาร์บอน เป็นองค์ประกอบหลักมาผ่านกระบวนการก่อกัมมันต์ (Activation Process) จนได้ผลิตภัณฑ์สีดำที่มีความพรุน และพื้นที่ผิวจำเพาะสูง มีความสามารถในการดูดซับสารต่าง ๆ ได้ดี จึงนำไปประยุกต์ใช้กับงานต่าง ๆ มากมาย เช่น การบำบัดกลิ่น สี ตัวเร่งปฏิกิริยาหรือตัวรองรับ ตัวเร่งปฏิกิริยา และวัสดุเก็บพลังงาน เป็นต้น วัตถุดิบที่นำมาเตรียมถ่านกัมมันต์ควรมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูง (โดยปกติสูงกว่าร้อยละ 45) [2] มีปริมาณสารระเหยต่ำควรเป็นวัตถุดิบที่มีราคาถูกและหาได้ง่าย โดยทั่วไปเพื่อลดต้นทุนการผลิต เช่น วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรต่าง ๆ ได้แก่ แกลบ ชี๊ถั กะลามะพร้าว เถาขานอ้อย เปลือกผลไม้ และเมล็ดพืชต่าง ๆ ซึ่งในฤดูเก็บเกี่ยวผลไม้ของจังหวัดจันทบุรีมีปริมาณเปลือกทุเรียน เปลือกมังคุด และเมล็ดสละเหลือทิ้งจากการบริโภคเนื้อ หรือแปรรูปผลไม้เหล่านี้เป็นจำนวนมาก สละ (Salacca) ลอยแก้วเป็นผลิตภัณฑ์แปรรูปที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในจังหวัดจันทบุรี โดยเฉพาะสละ

พันธุ์สุมาลี (Sumalee) เป็นสายพันธุ์ที่ติดผลง่าย มีรสหวาน จึงได้รับความนิยมจากผู้บริโภคเป็นอย่างมาก ซึ่งขั้นตอนในการทำสละลอยแก้วจะมีการควั่นเมล็ดสละออกมา ทำให้มีปริมาณเมล็ดสละที่เหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูปจำนวนมาก จึงส่งผลกระทบต่อปริมาณขยะที่มากขึ้น และกลายเป็นขยะซึ่งเป็นปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมตามมา [3] ซึ่งเมล็ดสละพันธุ์สุมาลีมีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงถึงร้อยละ 60 [2] จึงมีปริมาณที่เพียงพอที่จะนำมาพัฒนาเป็นถ่านกัมมันต์ได้ดี เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุชีวมวลอื่น ๆ เช่น กะลามะพร้าว ร้อยละ 19.8 [4] ต้นโกลิกันม ร้อยละ 23.0 [5] เปลือกไข่ไก่ ร้อยละ 30.46 และเปลือกหอยแครง ร้อยละ 37.10 [6] เป็นต้น

จากงานวิจัยที่ผ่านมา มีการศึกษาการกำจัดไอออนตะกั่ว (II) ในน้ำเสียอุตสาหกรรมโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากไม้มะขาม ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้มีค่าการดูดซับไอออนตะกั่ว (II) สูงสุดที่ 19.06 มิลลิกรัมต่อกรัม มีค่าร้อยละของการกำจัดสารตะกั่วในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมผลิตสีทาอาคาร และบ้านเรือน เท่ากับ  $100.00 \pm 0.00$  และ  $12.68 \pm 0.11$  ตามลำดับ [7] และมีการศึกษาการประยุกต์ใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์ (Titanium Dioxide;  $TiO_2$ ) เคลือบบนถ่านกัมมันต์เพื่อบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ ได้ค่าการดูดซับไอโอดีนเท่ากับ 799 มิลลิกรัมต่อกรัม และค่าการดูดซับเมทิลีนบลูเท่ากับ 130 มิลลิกรัมต่อกรัม [8] และนอกจากนี้ ยังมีงานวิจัยที่ศึกษาการใช้อนุภาคนาโนแคลเซียมออกไซด์สังเคราะห์จากเปลือกไข่ไก่เพื่อกำจัดไอออนตะกั่ว (II) ออกจากสารละลายในน้ำพบว่า สามารถดูดซับไอออนตะกั่ว (II) สูงสุดเท่ากับร้อยละ 99.07 [9] และจากการศึกษาในเบื้องต้นของคณะผู้วิจัยก่อนหน้านี้ ได้นำถ่านกัมมันต์จากเมล็ดสละพันธุ์สุมาลีที่เตรียมโดยการเผาแบบกระตุ้น ขั้นตอนเดียว โดยใช้กรดฟอสฟอริก (Phosphoric Acid;  $H_3PO_4$ ) เป็นตัวกระตุ้นมาดูดซับไอออนตะกั่ว (II) ในน้ำเสียสังเคราะห์พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ยังดูดซับไอออนตะกั่ว (II) ได้น้อย ดังนั้นในงานวิจัยนี้คณะผู้วิจัยจึงสนใจนำถ่านกัมมันต์จากเมล็ดสละพันธุ์สุมาลีมาปรับปรุง ลักษณะสมบัติ โดยการเจืออนุภาค (Doped Carbon) ด้วยสารอินทรีย์ลง



ไปในโครงสร้างของถ่านกัมมันต์ เพื่อให้มีประสิทธิภาพการดูดซับไอออนตะกั่ว (II) ในน้ำเสีย สังเคราะห์ได้มากขึ้น รวมถึงการศึกษาจากผลงานศาสตร์ ในการดูดซับไอออนตะกั่ว (II) ในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยมุ่งหวังให้เกิดประโยชน์ทั้งในด้านการเพิ่มมูลค่า และการจัดการของเสียหรือของเหลือทิ้งทางการเกษตร และการจัดการด้านสิ่งแวดล้อม

## 2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้มีลำดับขั้นตอนการดำเนินงาน และการทดลองดังต่อไปนี้

### 2.1 วัตถุดิบและสารเคมี

งานวิจัยนี้เตรียมถ่านกัมมันต์จากเมล็ดสละพันธุ์สุมาลีที่เหลือทิ้งจากการแปรรูปสละลอยแก้วจากอำเภอลำลูกกา จังหวัดจันทบุรี สารเคมีที่ใช้เป็นกรดวิเคราะห์ทางเคมี บริษัท Ajax Finechem ได้แก่ กรดฟอสฟอริก ( $H_3PO_4$ ) แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ( $Ca(OH)_2$  เลด (II) ไนเตรต ( $Pb(NO_3)_2$ ) ไอโอดีน ( $I_2$ ) โซเดียมไฮโอซัลเฟต ( $Na_2S_2O_3$ ) และเมทิลีนบลู ( $C_{16}H_{18}ClN_3S$ )

### 2.2 การเตรียมถ่านกัมมันต์จากเมล็ดสละพันธุ์สุมาลี

2.2.1 การเตรียมถ่านกัมมันต์จากเมล็ดสละพันธุ์สุมาลี นำเมล็ดสละที่ผ่านการอบแห้งแล้วใส่ขามระเหย เติมสารละลายกรดฟอสฟอริก ความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยปริมาตร อัตราส่วนระหว่างเมล็ดสละแห้งต่อสารกระตุ้น 1:1 โดยมวล อบถ่านให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นนำไปเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นและล้างถ่านกัมมันต์ได้อย่างต่อเนื่องด้วยน้ำประปา จนกระทั่งมีความเป็นกรด-เบส เท่ากับ 7 อบถ่านกัมมันต์ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็น บดและร่อนผ่านตะแกรงแยกขนาด 180 ไมโครเมตร ก่อนนำไปเก็บไว้ในโถดูดความชื้น

2.2.2 การปรับปรุงลักษณะสมบัติของถ่านกัมมันต์

การปรับปรุงลักษณะสมบัติของถ่านกัมมันต์ เพื่อ

เพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับไอออนตะกั่ว (II) ในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยการนำแคลเซียมไฮดรอกไซด์เจือปนถ่านกัมมันต์ จากนั้นเปลี่ยนให้เป็นแคลเซียมออกไซด์ สามารถเตรียมได้โดยการหยดสารละลายอิมตัวของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.014 โมลต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ลงบนถ่านกัมมันต์ จำนวน 10 กรัม ให้ชุ่ม จากนั้นนำถ่านกัมมันต์ไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง และนำไปเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ล้างถ่านกัมมันต์ด้วยน้ำกลั่น และนำถ่านกัมมันต์ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง

### 2.3 การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของถ่านกัมมันต์

2.3.1 การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางกายภาพของถ่านกัมมันต์จากเมล็ดสละพันธุ์สุมาลีที่เตรียมได้

การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางกายภาพของถ่านกัมมันต์จากเมล็ดสละพันธุ์สุมาลีที่เตรียมได้ ก่อนการปรับปรุงลักษณะสมบัติ มีดังนี้

วิเคราะห์ปริมาณความชื้น ตามมาตรฐาน ASTM-D2867-17 [10] วิเคราะห์ปริมาณเถ้า ตามมาตรฐาน ASTM-D2866-11 [11] วิเคราะห์หาปริมาณสารระเหย ตามมาตรฐาน ASTM-D5832-98 [12] และวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนคงตัว

2.3.2 การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางเคมีของถ่านกัมมันต์จากเมล็ดสละพันธุ์สุมาลีที่เตรียมได้

การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางเคมีของถ่านกัมมันต์จากเมล็ดสละพันธุ์สุมาลีที่เตรียมได้ทั้งก่อน และหลังการปรับปรุงลักษณะสมบัติ มีวิธีการดังต่อไปนี้

วิเคราะห์หาค่าการดูดซับไอโอดีน ตามมาตรฐาน ASTM-D4607-14 [13] และวิเคราะห์หาค่าการดูดซับเมทิลีนบลู ตามมาตรฐาน JIS K1474:1991 [14]

2.3.3 การวิเคราะห์พื้นที่ผิว (BET Surface Area) ปริมาตรรูพรุนรวม (Total Pore Volume) ขนาดรูพรุนเฉลี่ย (Average Pore Diameters) ของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้

วิเคราะห์พื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุนรวม และขนาด

รูปทรงเฉลี่ยของถ่านกัมมันต์จากเมล็ดสละพันธุ์สุมาลี เหลือทิ้ง โดยใช้เครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิวและขนาดรูพรุน (Quantachrome, NovaWin, Autosorb 1 MP) ด้วยวิธี Bruner-Emmet-Teller (BET)

2.3.4 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของถ่านกัมมันต์ด้วย เครื่องฟูเรียรทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FT-IR) ที่เตรียมได้

ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดสละพันธุ์สุมาลีทั้งก่อนและหลัง การปรับปรุงลักษณะสมบัติ ถูกนำไปวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน ด้วย เครื่องฟูเรียรทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier Transform Infrared Spectrometer, BRUKER, ALPHA, USA) ในช่วงคลื่น 4,000–5,000  $\text{cm}^{-1}$

## 2.4 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับไอออนตะกั่ว (II) ของถ่านกัมมันต์จากเมล็ดสละพันธุ์สุมาลีที่เตรียมได้

การศึกษาการดูดซับไอออนตะกั่ว (II) ของถ่านกัมมันต์ทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงลักษณะสมบัติใน น้ำเสียสังเคราะห์ โดยนำถ่านกัมมันต์ที่อบแล้วที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทั้งให้เย็นในโถดูด ความชื้นไปชั่งน้ำหนัก 0.1 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ ปิดเตา สารละลายไอออนตะกั่ว (II) ซึ่งมี pH เท่ากับ 5 ที่ความ เข้มข้นเริ่มต้น 50, 100, 150 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 40 มิลลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ที่มีถ่านกัมมันต์อยู่ โดยให้มีอัตราส่วนของถ่านกัมมันต์ต่อสารละลายไอออน ตะกั่ว (II) เท่ากับ 1:400 กรัมต่อมิลลิตร นำไปกวนด้วย เครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่ความเร็วรอบ 240 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 1–10, 15, 20, 25 และ 30 นาที กรองถ่าน กัมมันต์ออกจากสารละลายไอออนตะกั่ว (II) ด้วยกระดาษ กรองเบอร์ 1 นำสารละลายก่อนและหลังการดูดซับไป วิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องเฟลมอะตอมมิก แอ็บซอร์พชัน สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Flame Atomic Absorption Spectrophotometer, Perkin Elmer, AA 3110, USA) ที่ความยาวคลื่น 283.3 นาโนเมตร และ นำค่าความเข้มข้นที่ได้ มาคำนวณหาประสิทธิภาพการ ดูดซับไอออนตะกั่ว (II)

## 2.5 การศึกษาจลนพลศาสตร์ และแบบจำลอง จลนพลศาสตร์การดูดซับไอออนตะกั่ว (II) ด้วยถ่าน กัมมันต์ที่เตรียมได้

นำข้อมูลมาศึกษาจลนพลศาสตร์และไอโซเทอร์ม การดูดซับ โดยนำค่าการดูดซับไอออนตะกั่ว (II) มาสร้างกราฟ จลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเทียม และปฏิกิริยา อันดับสองเทียม ซึ่งเป็นสมการจลนพลศาสตร์ที่ใช้อธิบาย การดูดซับที่ผิวของสารดูดซับ แสดงดังสมการที่ (1) และ (2) ตามลำดับ [15]

$$\log(q_e - q_t) = \log \log q_e - \frac{k_1}{2.303} t \quad (1)$$

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (2)$$

เมื่อ  $q_t$  คือ ปริมาณการดูดซับที่เวลาใด ๆ  $q_e$  คือ ปริมาณ การดูดซับที่สมดุล (มิลลิกรัมต่อกรัม) ตามลำดับ  $k_1$  และ  $k_2$  คือ ค่าคงที่อัตราอันดับหนึ่ง (ต่อนาที) และค่าคงที่อัตรา อันดับสอง (กรัมต่อมิลลิกรัมต่อนาที) ตามลำดับ และ  $t$  คือ เวลาใด ๆ (นาที)

รวมถึงนำข้อมูลที่ได้มาสร้างกราฟเพื่อศึกษากลไก ในการดูดซับตามแบบจำลองไอโซเทอร์มการดูดซับของ แลงเมียร์ และแบบจำลองไอโซเทอร์มการดูดซับของ ฟรุนดลิช เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) แสดง ดังสมการที่ (3) และ (4) ตามลำดับ [15]

$$q_e = \frac{q_m k_L C_e}{1 + k_L C_e} \quad (3)$$

$$q_e = k_F C_e^{1/n_F} \quad (4)$$

เมื่อ  $q_e$  คือ ปริมาณการดูดซับที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัม ต่อกรัม)  $C_e$  คือ ความเข้มข้นของสารละลายที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อกรัม)  $q_m$  คือ ปริมาณการดูดซับสูงสุด (มิลลิกรัม ต่อกรัม)  $k_L$  คือ ค่าคงที่สมดุลของการดูดซับ (ลิตรต่อมิลลิกรัม)



$k_F$  คือ ค่าคงที่สัมพันธ์กับความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับ (ลิตรต่อกรัม) และ  $n_F$  คือ ค่าคงที่สัมพันธ์กับพลังงานของการดูดซับ

### 3. ผลการทดลอง

#### 3.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางกายภาพของถ่านกัมมันต์จากเมล็ดสละพันธุ์สุมาลีที่เตรียมได้

ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากเมล็ดสละพันธุ์สุมาลีโดยการเผาและกระตุ้นในขั้นตอนเดียว มีขนาด 180 ไมครอนในการใช้ความร้อนในการเผาและการกระตุ้นเมล็ดสละพันธุ์สุมาลีเพื่อให้เป็นถ่านกัมมันต์ จะทำให้องค์ประกอบต่างๆ และคาร์บอนบางส่วน รวมถึงสารระเหยง่ายและน้ำ ถูกกำจัดออกจากโครงสร้างของเมล็ดสละพันธุ์สุมาลี ส่งผลให้ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้มีโครงสร้างของรูพรุน และมีปริมาณคาร์บอนคงตัวเพิ่มมากขึ้น จึงได้ร้อยละผลผลิตของถ่านกัมมันต์ต่ำอยู่ที่ร้อยละ 36.20 โดยมีปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณสารระเหย และปริมาณคาร์บอนคงตัว แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ลักษณะสมบัติทางกายภาพของถ่านกัมมันต์จากเมล็ดสละพันธุ์สุมาลี

| ลักษณะสมบัติของถ่านกัมมันต์ | ผลการวิเคราะห์ |
|-----------------------------|----------------|
| ผลผลิตถ่านกัมมันต์ (%)      | 36.20          |
| ปริมาณความชื้น (%)          | 9.39 ±0.86     |
| ปริมาณเถ้า (%)              | 4.53 ±0.09     |
| ปริมาณสารระเหย (%)          | 27.86 ±0.86    |
| ปริมาณคาร์บอนคงตัว (%)      | 59.22          |

จากการวิเคราะห์ร้อยละปริมาณความชื้นของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้พบว่า ถ่านกัมมันต์มีปริมาณความชื้นเท่ากับร้อยละ 9.39 ±0.86 ซึ่งมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานกำหนดของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม [16] ที่กำหนดให้ถ่านกัมมันต์ควรมีปริมาณความชื้นไม่เกินร้อยละ 8 เนื่องจากปริมาณความชื้นของถ่านกัมมันต์ที่มีค่าสูงจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับให้น้อยลง ร้อยละปริมาณเถ้า

มีค่าเท่ากับ 4.53 ±0.09 ซึ่งปริมาณเถ้าที่มีค่าสูงจะส่งผลต่อการดูดซับของรูพรุนทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับลดน้อยลงเช่นกัน และปริมาณสารระเหย มีค่าเท่ากับ 27.86 ±0.86 ซึ่งสามารถบอกปริมาณของสารอินทรีย์ของถ่านกัมมันต์ได้ ถ้าวัยละปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า และปริมาณสารระเหยมีค่าสูงจะส่งผลให้ปริมาณร้อยละคาร์บอนคงตัวมีค่าน้อย จากผลการวิเคราะห์ของปริมาณร้อยละคาร์บอนคงตัวของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ เท่ากับร้อยละ 59.22 บ่งบอกถึงปริมาณคาร์บอนที่เหลืออยู่จากการเตรียมตัวอย่างจนได้ผลิตภัณฑ์ ซึ่งเมล็ดสละพันธุ์สุมาลีมีความเหมาะสมในการนำมาทำถ่านกัมมันต์ เนื่องจากมีปริมาณคาร์บอนสูงกว่าร้อยละ 45 [2]

#### 3.2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีของถ่านกัมมันต์จากเมล็ดสละพันธุ์สุมาลีที่เตรียมได้

การวิเคราะห์การดูดซับไอโอดีนสามารถบ่งบอกถึงประสิทธิภาพ และขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์ได้ เนื่องจากไอโอดีนมีโมเลกุลขนาดเล็ก ผลการวิเคราะห์การดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ก่อน และหลังการปรับปรุงลักษณะสมบัติมีค่าเท่ากับ 755.11 ±4.37 และ 619.28 ±3.21 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งถ่านกัมมันต์หลังการปรับปรุงลักษณะสมบัติมีค่าการดูดซับไอโอดีนน้อยกว่าถ่านกัมมันต์ก่อนการปรับปรุงลักษณะสมบัติ เนื่องจากอนุภาคของแคลเซียมออกไซด์เข้าไปกีดกันรูพรุนของถ่านกัมมันต์จึงทำให้ความสามารถในการดูดซับไอโอดีนลดลง อย่างไรก็ตามค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์มีค่ามากกว่าเกณฑ์มาตรฐานกำหนดของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม [16] ที่กำหนดให้ถ่านกัมมันต์ควรมีค่าการดูดซับไอโอดีนไม่น้อยกว่า 600 มิลลิกรัมต่อกรัม แสดงว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้มาตรฐานการดูดซับไอโอดีน

ส่วนการวิเคราะห์การดูดซับเมทิลีนบลูสามารถบ่งบอกถึงขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์ได้เช่นกัน เนื่องจากเมทิลีนบลูเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ ผลการวิเคราะห์การดูดซับเมทิลีนบลูของถ่านกัมมันต์ก่อน และหลังการ

ปรับปรุงลักษณะสมบัติมีค่าเท่ากับ  $1.22 \pm 0.03$  และ  $1.24 \pm 0.00$  มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ เนื่องจากอนุภาคเมทิลีนบลูมีขนาดใหญ่กว่าไอโอดีนที่มีขนาดเล็กกว่า 1.5 นาโนเมตร [17] ซึ่งถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้มีการดูดซับเมทิลีนบลูน้อยกว่าค่าการดูดซับไอโอดีน แสดงว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้มีขนาดรูพรุนขนาดเล็ก

### 3.3 ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุนรวม ขนาดรูพรุนเฉลี่ยของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้

ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิว ปริมาตร รูพรุนรวม และขนาดรูพรุนเฉลี่ยของถ่านกัมมันต์จากเมล็ดสละพันธุ์สุมาลีก่อนและหลังการปรับปรุงลักษณะสมบัติ แสดงดังตารางที่ 2

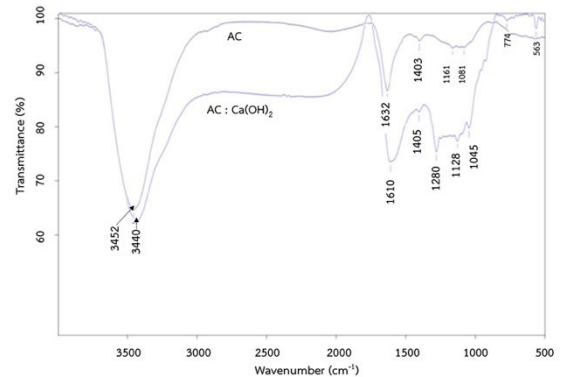
ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากเมล็ดสละพันธุ์สุมาลีก่อน และหลังการปรับปรุงลักษณะสมบัติ

| ลักษณะสมบัติของถ่านกัมมันต์   | ผลการวิเคราะห์ |              |
|-------------------------------|----------------|--------------|
|                               | ก่อนปรับปรุง   | หลังปรับปรุง |
| พื้นที่ผิว ( $m^2/g$ )        | 822.09         | 825.92       |
| ปริมาตรรูพรุนรวม ( $cm^3/g$ ) | 0.6110         | 0.5398       |
| ขนาดรูพรุนเฉลี่ย (nm)         | 1.486          | 1.307        |

จากตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าเมื่อปรับปรุงลักษณะสมบัติของถ่านกัมมันต์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับไอออนตะกั่ว (II) ในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยการนำแคลเซียมไฮดรอกไซด์เจือบนถ่านกัมมันต์พบว่า ขนาดของรูพรุนมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ซึ่งส่งผลให้มีค่าพื้นที่ผิวเพิ่มมากขึ้นเล็กน้อย โดยขนาดรูพรุนเฉลี่ยของถ่านกัมมันต์จากเมล็ดสละพันธุ์สุมาลีอยู่ในช่วงของขนาดไมโครเมตร (เส้นผ่านศูนย์กลาง  $d_p < 2$  นาโนเมตร) [18]

### 3.4 ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของถ่านกัมมันต์ก่อน และหลังการปรับปรุงลักษณะสมบัติ

การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน ทำโดยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี ในช่วงคลื่น  $4,000-5,000$   $cm^{-1}$  เพื่อศึกษาหมู่



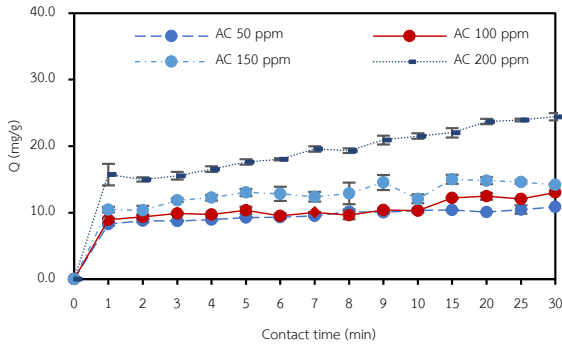
รูปที่ 1 สเปกตรัมหมู่ฟังก์ชันของถ่านกัมมันต์ก่อน (AC) และหลัง (AC : Ca(OH)<sub>2</sub>) การปรับปรุงลักษณะสมบัติ

ฟังก์ชันของถ่านกัมมันต์ก่อน และหลังการปรับปรุงลักษณะสมบัติ โดยการเจืออนุภาคของถ่านกัมมันต์ด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ให้ผลแสดงดังรูปที่ 1

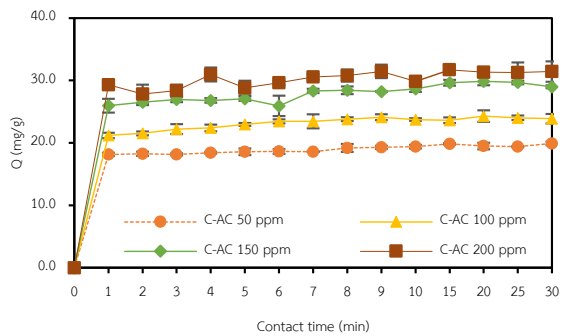
จากรูปที่ 1 สเปกตรัมของถ่านกัมมันต์ทั้งก่อน และหลังการปรับปรุงลักษณะสมบัติ ปรากฏแถบของการสั่นในช่วง  $3,600-3,300$   $cm^{-1}$  ช่วง  $1,550-1,750$   $cm^{-1}$  และช่วง  $1,200-1,050$   $cm^{-1}$  เป็นการสั่นของพันธะ O-H พันธะ C=O และพันธะ C-O ตามลำดับ ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันของ น้ำ เอสเทอร์ แอลดีไฮด์ และคีโตน ตามลำดับ [19]-[20] และพบการสั่น  $1,400$   $cm^{-1}$  เป็นการสั่นของพันธะ C=C วงอะโรมาติกที่เกิดจากหมู่ฟังก์ชันที่มีขั้วหรือเกิดจากการสั่นของพันธะ C=O ในคีโตน และแอลดีไฮด์ [20] นอกจากนี้ยังพบการสั่นในช่วง  $500-800$   $cm^{-1}$  ของถ่านกัมมันต์หลังการปรับปรุงลักษณะสมบัติ ซึ่งเป็นการสั่นของพันธะ Ca-O แสดงว่ามีการเกาะติดของแคลเซียมออกไซด์บนผิวถ่านกัมมันต์ ซึ่งเกิดจากการนำแคลเซียมไฮดรอกไซด์เผาที่อุณหภูมิมากกว่า 512 องศาเซลเซียส ทำให้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการเจือเปลี่ยนเป็นแคลเซียมออกไซด์ [21]

### 3.5 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับไอออนตะกั่ว (II) ของถ่านกัมมันต์จากเมล็ดสละพันธุ์สุมาลีที่เตรียมได้

การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับไอออนตะกั่ว (II) ในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ และหลังการ



(ก)



(ข)

**รูปที่ 2** ประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ (ก) ก่อน และ (ข) หลังการปรับปรุงลักษณะสมบัติ ในการดูดซับ ไอออนตะกั่ว (II) ในน้ำเสียสังเคราะห์ ความเข้มข้น เริ่มต้น 50–200 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่เวลาต่าง ๆ

ปรับปรุงลักษณะสมบัติโดยเจือด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ โดยนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาคำนวณเป็นปริมาณ การดูดซับไอออนตะกั่ว (II) (มิลลิกรัม) ต่อปริมาณของ ตัวดูดซับที่ใช้ (กรัม) และสร้างกราฟระหว่างปริมาณการดูดซับ ไอออนตะกั่ว (II) ( $Q$ , มิลลิกรัมต่อกรัม) และเวลาที่ใช้ในการ ทดลอง ( $t$ , min) แสดงดังรูปที่ 2 (ก) และ (ข) ตามลำดับ

การดูดซับของถ่านกัมมันต์ก่อนและหลังการปรับปรุง ลักษณะสมบัติในสารละลายไอออนตะกั่ว (II) ในน้ำเสีย สังเคราะห์ทุกความเข้มข้นเริ่มต้นค่อย ๆ เพิ่มขึ้น เนื่องจากใน ช่วงแรกระยะเวลาที่ตัวดูดซับกับสารถูกดูดซับสัมผัสกันยังไม่ เพียงพอจึงทำให้สามารถดูดซับได้น้อย เมื่อเวลาผ่านไประยะ หนึ่งประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์มีอัตราการดูดซับเพิ่มขึ้น

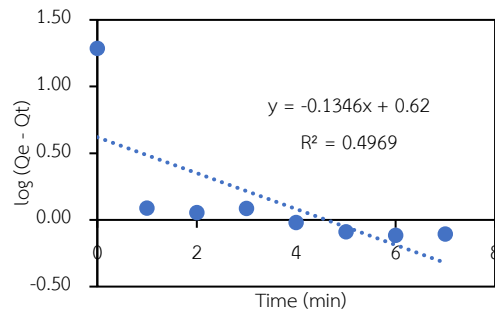
เนื่องจากตัวดูดซับและสารถูกดูดซับมีเวลาในการสัมผัสกัน มากเพียงพอ และเข้าสู่สมดุลที่เวลา 10 นาที ทุกความเข้มข้น เริ่มต้น ยกเว้นกรณีของการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ก่อนการ ปรับปรุงลักษณะสมบัติที่ความเข้มข้นของสารละลายไอออน ตะกั่ว (II) เริ่มต้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร แนวโน้มของการเข้า สู่สมดุลจะเกิดขึ้นหลังเวลา 10 นาที เนื่องจากปริมาณตัวถูก ดูดซับยังคงมีเหลืออยู่ในสารละลายมากกว่าที่ความเข้มข้น ของสารละลายไอออนตะกั่ว (II) เริ่มต้นอื่น โดยปริมาณการ ดูดซับไอออนตะกั่ว (II) ของถ่านกัมมันต์ก่อนการปรับปรุง ลักษณะสมบัติที่ความเข้มข้นของสารละลายไอออนตะกั่ว (II) เริ่มต้น 50 100 150 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเท่ากับ  $10.32 \pm 0.09$ ,  $10.30 \pm 0.77$ ,  $12.08 \pm 0.67$  และ  $21.53 \pm 0.41$  มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ และหลัง การปรับปรุงลักษณะสมบัติมีค่าเท่ากับ  $19.39 \pm 0.28$ ,  $23.75 \pm 0.21$ ,  $28.68 \pm 0.50$  และ  $29.84 \pm 0.77$  มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ

ถ่านกัมมันต์หลังการปรับปรุงลักษณะสมบัติสามารถ ดูดซับไอออนตะกั่ว (II) ในน้ำเสียสังเคราะห์ได้สูงกว่าการ ดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ก่อนปรับปรุงลักษณะสมบัติถึง ร้อยละ 137 ที่ความเข้มข้นของสารละลายไอออนตะกั่ว (II) เริ่มต้น 150 มิลลิกรัมต่อกรัม และจะสังเกตได้ว่าปริมาณ การดูดซับไอออนตะกั่ว (II) เพิ่มมากขึ้นตามความเข้มข้น ของสารละลายไอออนตะกั่ว (II) เริ่มต้น ในขณะที่ปริมาณ ของตัวดูดซับและน้ำเสียสังเคราะห์เท่าเดิม เนื่องจากเมื่อเพิ่ม ความเข้มข้น ปริมาณตัวถูกดูดซับก็จะเพิ่มขึ้น ทำให้มีโอกาส ในการสัมผัสกับตัวดูดซับมากขึ้น และเกิดการดูดซับได้มากขึ้น ตามไปด้วย

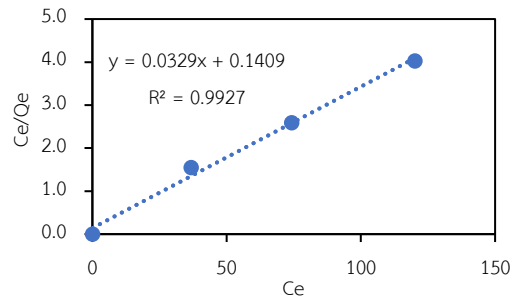
### 3.6 ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์และแบบจำลอง จลนพลศาสตร์การดูดซับ

จากการศึกษาจลนพลศาสตร์ของการดูดซับไอออน ตะกั่ว (II) ในน้ำเสียสังเคราะห์ ด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ด สลพิษพันธุ์สุมาลีหลังการปรับปรุงลักษณะสมบัติ โดยนำข้อมูล ที่ได้จากการทดลองมาสร้างกราฟตามสมการ อัตราเร็ว ปฏิกริยาอันดับหนึ่งเทียม และปฏิกริยาอันดับสองเทียม แสดง

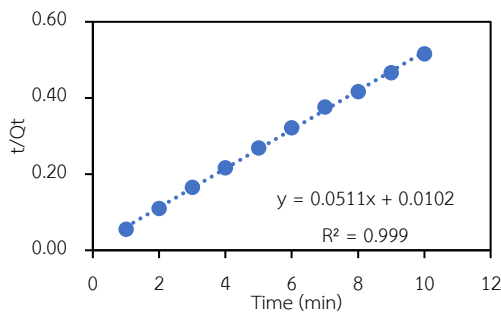




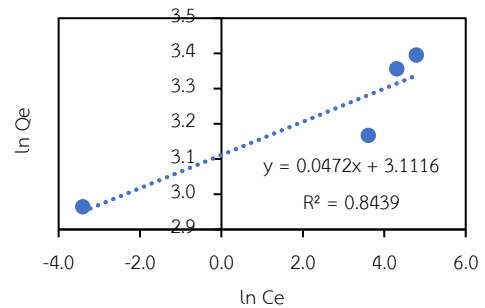
(ก)



(ก)



(ข)



(ข)

**รูปที่ 3** จลนพลศาสตร์ของการดูดซับไอออนตะกั่ว (II) ในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดสละพันธุ์สุมาลีหลังการปรับปรุงลักษณะสมบัติ (ก) ปฏิกริยาอันดับหนึ่งเทียม (ข) ปฏิกริยาอันดับสองเทียม

**รูปที่ 4** แบบจำลองสมดุลการดูดซับไอออนตะกั่ว (II) ในน้ำเสียสังเคราะห์ ด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดสละพันธุ์สุมาลีหลังการปรับปรุงลักษณะสมบัติ (ก) แบบจำลองไอโซเทอร์มการดูดซับของแลงเมียร์ (ข) แบบจำลองไอโซเทอร์มการดูดซับของฟรุนดลิช

ตั้งสมการที่(1)และ(2)ตามลำดับซึ่งเป็นสมการจลนพลศาสตร์ที่ใช้อธิบายการดูดซับที่ผิวของสารดูดซับ โดยเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) ซึ่งพบว่า จลนพลศาสตร์ปฏิกริยาอันดับหนึ่งเทียม และอันดับสองเทียม มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.4969 และ 0.999 แสดงดังรูปที่ 3 (ก) และ (ข) ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการดูดซับนั้น สอดคล้องกับปฏิกริยาอันดับสองเทียม โดยมีสมมติฐานว่า อัตราการดูดซับเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกำลังสองของพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ แสดงว่าการดูดซับบนสารดูดซับนั้นคงที่เมื่อเวลาผ่านไป ซึ่งความสามารถในการดูดซับขึ้นอยู่กับตำแหน่งของตัวดูดซับ

การศึกษาสมดุลการดูดซับของการดูดซับไอออนตะกั่ว (II) ในน้ำเสียสังเคราะห์ ด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ด

สละพันธุ์สุมาลีหลังการปรับปรุงลักษณะสมบัติ โดยศึกษาแบบจำลองไอโซเทอร์มการดูดซับของแลงเมียร์ และแบบจำลองไอโซเทอร์มการดูดซับของฟรุนดลิช โดยใช้สมการ(3) และ (4) ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4 จากการศึกษาสมดุลการดูดซับพบว่า แบบจำลองไอโซเทอร์มการดูดซับของแลงเมียร์มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.9927 แสดงดังรูปที่ 4 (ก) และ แบบจำลองไอโซเทอร์มการดูดซับของฟรุนดลิช มีสมมติฐานของการดูดซับที่ว่าพื้นที่ผิวของตัวดูดซับไม่เป็นเนื้อเดียวกันตลอดหรือพื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีลักษณะขรุขระ พื้นที่ผิวและพลังงานมีการกระจายตัวเป็นเลขชี้กำลังจากการศึกษาสมดุลการดูดซับพบว่า แบบจำลองไอโซเทอร์มการดูดซับของฟรุนดลิช มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.8439 แสดงดังรูปที่ 4 (ข) ดังนั้น การดูดซับไอออนตะกั่ว (II)



ในน้ำเสียสังเคราะห์ ด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดสละพันธุ์สุมาลีหลังการปรับปรุงลักษณะสมบัติในงานวิจัยนี้ จึงสอดคล้องกับแบบจำลองไอโซเทอร์มการดูดซับของแลงเมียร์ เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ใกล้เคียง 1 มากกว่า

#### 4. สรุป

จากการศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากเมล็ดสละพันธุ์สุมาลี ทั้งก่อนและหลังปรับปรุงลักษณะสมบัติด้วยการเจืออนุภาคถ่านกัมมันต์ด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้มีรูพรุนขนาดเล็ก เมื่อนำไปศึกษาการดูดซับไอออนตะกั่ว (II) ในน้ำเสียสังเคราะห์พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นปริมาณตัวถูกดูดซับเพิ่มขึ้น ทำให้มีโอกาสในการสัมผัสกับตัวดูดซับมากขึ้น และเกิดการดูดซับได้มากขึ้นตามไปด้วย ถ่านกัมมันต์หลังการปรับปรุงลักษณะสมบัติด้วยแคลเซียมออกไซด์สามารถดูดซับไอออนตะกั่ว (II) ในน้ำเสียได้เพิ่มขึ้น โดยปริมาณการดูดซับไอออนตะกั่ว (II) ของถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับไอออนตะกั่ว (II) ในน้ำเสียสังเคราะห์ได้สูงถึง  $28.68 \pm 0.50$  มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งสูงกว่าการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ก่อนปรับปรุงลักษณะสมบัติถึงร้อยละ 137 ที่ความเข้มข้นของสารละลายไอออนตะกั่ว (II) เริ่มต้น 150 มิลลิกรัมต่อกรัม โดยตารางที่ 3 แสดงปริมาณการดูดซับไอออนตะกั่ว (II) จากถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากวัสดุทางธรรมชาติพบว่า ค่าการดูดซับจะแตกต่างกันออกไปขึ้นกับชนิดของวัสดุที่นำมาเตรียมเป็นถ่านกัมมันต์ โดยมีจลนพลศาสตร์ของการดูดซับสอดคล้องกับปฏิกิริยาอันดับสองเทียม ( $R^2 = 0.999$ ) และสอดคล้องกับแบบจำลองไอโซเทอร์มการดูดซับของแลงเมียร์ ( $R^2 = 0.9927$ ) ซึ่งการดูดซับมีลักษณะเป็นแบบชั้นเดียว และเมื่อเกิดการดูดซับแล้วไอออนหรือโมเลกุลจะไม่ซ้อนทับกัน ซึ่งเป็นการดูดซับทางเคมี [9] ส่งผลให้การดูดซับไอออนตะกั่ว (II) ในน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านกัมมันต์หลังการปรับปรุงลักษณะสมบัติเป็นการดูดซับทางเคมีควบคู่กับทางกายภาพ โดยลักษณะการดูดซับทางเคมีจะอาศัยคุณสมบัติการแลกเปลี่ยนประจุไอออนบนผิวของถ่านกัมมันต์กับไอออนตะกั่ว (II) ในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยไอออนตะกั่ว (II) เข้าไปแทนที่ของไอออน

แคลเซียม และจับกับไอออนออกไซด์ (Oxide Ion;  $O_2^-$ ) ของแคลเซียมออกไซด์ เกิดเป็นเลด (II) ออกไซด์ (Lead (II) Oxide; PbO) ส่งผลให้เกิดการดูดซับไอออนตะกั่ว (II) ในน้ำเสียสังเคราะห์ได้เพิ่มขึ้น แสดงว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้มีประสิทธิภาพในการดูดซับไอออนตะกั่ว (II) จากน้ำเสียงานวิจัยนี้จะช่วยลดปริมาณขยะ และเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งให้เกิดประโยชน์ได้ โดยสามารถเป็นแนวทางในการนำไปใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนัก รวมถึงการดูดซับกลิ่นและแก๊สต่าง ๆ

**ตารางที่ 3** แสดงปริมาณการดูดซับไอออนตะกั่ว (II) จากถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากวัสดุทางธรรมชาติ

| ถ่านกัมมันต์จากวัสดุธรรมชาติ | ปริมาณการดูดซับไอออนตะกั่ว (II) สูงสุด (mg/g) | อ้างอิง     |
|------------------------------|---|-------------|
| 1. เมล็ดฝรั่ง                | 96  |             |
| 2. เปลือกอัลมอนต์เขตร้อน     | 112   | [22]        |
| 3. หิน Dindé                 | 50  |             |
| 4. กระดุกวัว                 | 50.10   | [23]        |
| 5. เมล็ดสละ                  | 28.68   | งานวิจัยนี้ |
| 6. ลูกสน                     | 27.53   | [24]        |
| 7. กะลามะพร้าว               | 26.50   | [25]        |
| 8. ไม้มะขาม                  | 19.06   | [7]         |
| 9. มูลโค                     | 4.28  | [26]        |

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณร้านคุณหนูสละลอยแก้ว ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์เมล็ดสละพันธุ์สุมาลีที่เหลือทิ้งจากการแปรรูปสละลอยแก้ว เพื่อใช้ในงานวิจัยนี้ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ที่อำนวยความสะดวกสำหรับสถานที่ทำการวิจัยนี้ จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

#### เอกสารอ้างอิง

- [1] Environment and pollution control office 13 (Chonburi). (2023, May 12). Protect yourself from lead. [Online] (in Thai). Available: <https://>



- www.mnre.go.th/reo13/th/news/detail/9355
- [2] R. Supattra, S. Ruengwit, K. Artit, S. Surachok, P. Jatupong, S. Chadaporn and S. Monthira, "Preparation of activated carbon from Salak seed by chemical activation," in *Proceeding of GPE-6th International Congress on Green Process Engineering*, Toulouse, France, 2018.
- [3] S. Suwancharoen, T. Kasemsuk, N. Moonrungsee, U. Kurewan, S. Makprayoon, J. Oebsapap, and A. Boonmee, "Antioxidant activity of salak and soap product development", *The Journal of KMUTNB*, vol. 32, no. 4, pp. 1033–1043, 2022 (in Thai).
- [4] J. Guo, and A. C. Lua, "Kinetic study on pyrolysis process of oil-palm stone using two-step consecutive reaction model," *Biomass and Bioenergy*, vol. 20, pp. 223–233, 2001.
- [5] S. Timur, I. Cem Kantarli, E. Ikizoglu, and J. Yanik, "Preparation of a carbons from Oreganum stalks by chemical activation," *Energy and Fuels*, vol. 20, no. 6, pp. 2636–2641, 2006.
- [6] S. Wirungrong, "Adsorption of methyl red dye by activated carbon from egg shell and ark shell by chemical activation method," *Science and Technology Nakhon Sawan Rajabhat University Journal*, vol. 7, no. 7, pp. 97–110, 2015 (in Thai).
- [7] P. Theeradit and U. Piyatida, "The removal of lead in industrial wastewater by using activated carbon from tamarind wood via  $H_3PO_4$  activation," *Thai Science and Technology Journal*, vol. 25, no. 2, pp. 191–209, 2017 (in Thai).
- [8] H. Khanitta, T. Sombat, K. Jakrapong, and K. Boonmee, "Application of titanium dioxide ( $TiO_2$ ) coated on activated carbon in trough for textile industry wastewater treatment," *EAU Heritage Journal, Science and Technology*, vol. 11, no. 1, pp. 87–100, 2017 (in Thai).
- [9] R. G. Jalu, T. A. Chamada, and R. Kasirajan, "Calcium oxide nanoparticles synthesis from hen eggshells for removal of lead (Pb(II)) from aqueous solution," *Environmental Challenges*, vol. 4, 2021.
- [10] Standard test methods for *moisture in activated carbon*, ASTM-D2867-17, 2023.
- [11] *Standard test methods for total ash content of activated carbon*, ASTM-D2866-11, 2018.
- [12] *Standard test methods for volatile matter content of activated carbon samples*, ASTM-D5832-98, 2021.
- [13] Standard test methods for determination of iodine number of activated carbon, ASTM-D4607-14, 2021.
- [14] Test methods for activated carbon, JIS K1474:1991, 2022.
- [15] C. Rattanet, J. T. N. Knijnenburg, and Y. Ngernyen, "Kinetics and isotherm studies of methylene blue adsorption on activated carbon derived from Chrysanthemum: solid waste of beverage industry," *Journal of the Japan Institute of Energy*, vol. 101, pp. 122-131, 2022.
- [16] *Thai Industrial Standard*, TISI Standard 900-2547, 2004 (in Thai).
- [17] E. F. Jaguaribe, L. L. Medeiros, M. C. S. Barreto and L. P. Araujo, "The performance of activated carbons from sugarcane bagasse, babassu, and coconut shells in removing residual chlorine,"



- Brazilian Journal of Chemical Engineering*, vol. 22, no. 1, pp. 41-47, 2005.
- [18] A. Pornsawan, N. Phonchai, and M. Amornrat, "Chemical activation effect on activated carbon prepared from pineapple leaves," *Rattanakosin Journal of Science and Technology*, vol. 3, no. 2, pp. 36-44, 2021 (in Thai).
- [19] B. Aeesoh, W. Sunee, and H. Wankassama, "Preparation and characterization of activated carbon from velvet tamarind shell," M.S. thesis, Science Technology and Agriculture, Yala Rajabhat University, Thailand, 2018 (in Thai).
- [20] C. Lakana, S. Panita, and K. Panita, "Preparation, characterization and application for lead adsorption of Dendrocalamus Asper Backer bamboo activated carbon," *Thaksin Journal*, vol. 19, no. 2, pp. 43-51, 2016 (in Thai).
- [21] Pattarakan corporation Co., Ltd. (2021, September 14). Calcium oxide. [Online]. Available: <https://pattarakan.com> (in Thai).
- [22] L. Largitte, T. Brudey, T. Tant, P. Couespel Dumesnil, and P. Lodewyckx, "Comparison of the adsorption of lead by activated carbons from three lignocellulosic precursors," *Microporous and Mesoporous Materials*, vol. 219, no. 1, pp. 265-275, 2016.
- [23] M. A. P. Cechinel, S. M. A. G. Ulson de Souza, and A. A. Ulson de Souza, "Study of lead (II) adsorption onto activated carbon originating from cow bone," *Journal of Cleaner Production*, vol. 65, no. 15, pp. 342-349, 2014.
- [24] M. Momčilović, M. Purenović, A. Bojić, A. Zarubica, and M. Ranđelović, "Removal of lead(II) ions from aqueous solutions by adsorption onto pine cone activated carbon," *Desalination*, vol. 276, no. 1-3, pp. 53-59, 2011.
- [25] M. Sekar, V. Sakthi, and S. Rengaraj, "Kinetics and equilibrium adsorption study of lead(II) onto activated carbon prepared from coconut shell," *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 279, no. 2, pp. 307-313, 2014.
- [26] T. Bualoi, W. Sanongraj, and S. Sanongraj, "Adsorption of lead in synthetic wastewater using cow dung activated carbon," *Thai Environmental Engineering Journal*, vol. 23, no. 3, pp. 53-61, 2009 (in Thai).