



การดูดซับทองแดงโดยถ่านกัมมันต์จากเหง้ามันสำปะหลังที่ปรับปรุงผิว  
ด้วยสารลดแรงตึงผิวชนิดไอออนลบ

Adsorption of copper by anionic surfactant-modified activated carbons  
from cassava root

ธีระ วงศ์เนตร\*

Theera Wongnate

บทคัดย่อ

การศึกษาการดูดซับทองแดงไอออนจากสารละลายบนถ่านกัมมันต์จากเหง้ามันสำปะหลังที่ไม่ได้ปรับปรุงผิว (AC) และที่ปรับปรุงผิว (MAC) ด้วยโซเดียมโดเดซิลเบนซีนซัลโฟเนต (SDBS) ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวชนิดไอออนลบ การปรับปรุงผิวถ่านกัมมันต์โดยใช้สารลดแรงตึงผิวที่มีความเข้มข้น 0.5, 1.0 และ 5.0 มิลลิโมลาร์ สอดคล้องกับค่าความเข้มข้นวิกฤตไมเซลล์ (cmc) ผลการศึกษาพบว่า MAC ที่ปรับปรุงผิวด้วย SDBS เข้มข้น 0.5 และ 1.0 มิลลิโมลาร์มีพื้นที่ผิวสูงขึ้นเมื่อเทียบกับ AC สำหรับการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับทองแดงไอออนบน AC หรือ MAC พบว่า ข้อมูลจากสมการทดลองมีความสัมพันธ์กับไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์และฟรอยด์ลิค แต่เหมาะกับไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์มากกว่าทั้ง AC และ MAC และพบว่า MAC ที่ปรับปรุงผิวด้วย SDBS ที่ความเข้มข้น 0.5 และ 1.0 มิลลิโมลาร์มีความสามารถในการดูดซับทองแดงไอออนเท่ากับ 0.40 และ 0.54 มิลลิโมลต่อกรัม ซึ่งมีความสูงกว่าเมื่อเทียบ AC ซึ่งมีความสามารถในการดูดซับเท่ากับ 0.34 มิลลิโมลต่อกรัม สำหรับ MAC ที่ปรับปรุงผิวด้วย SDBS ที่ความเข้มข้น 5 มิลลิโมลาร์ มีความสามารถในการดูดซับทองแดงไอออนต่ำ เนื่องจากเป็นความเข้มข้นที่มากกว่าจุด cmc ทำให้ SDBS ที่ผิวของถ่านกัมมันต์อยู่ในรูปที่รวมกลุ่มจับกันเองแบบมีเสถียรภาพมากจึงจับกับทองแดงไอออนได้น้อยลง จึงสรุปได้ว่า MAC ที่ปรับปรุงผิวด้วย SDBS ที่ความเข้มข้น 1.0 มิลลิโมลาร์มีความเหมาะสมเพื่อให้เกิดการดูดซับทองแดงไอออนสูงสุด

คำสำคัญ : เหง้ามัน/ ถ่านกัมมันต์ที่ปรับปรุง/ ไอโซเทอร์มการดูดซับ/ โซเดียมโดเดซิลเบนซีนซัลโฟเนต

ABSTRACT

The adsorption processes of  $\text{Cu}^{2+}$  from aqueous solution onto a activated carbon from cassava root (AC) and a modified activated carbon (MAC) with sodium dodecylbenzenesulfonate (SDBS) have been investigated. To modify activated carbon using a anionic surfactant, AC was mixed with a surfactant solution of 0.5, 1.0 and 5.0 mM with correspond with a critical micelle concentration (cmc). The results showed that the MAC with a surfactant solution of 0.5 and 1.0 mM has a higher surface area compared with the AC. Adsorption isotherm onto the AC or MAC have been investigated in a batch adsorption experiment in order to obtain the optimum conditions for the  $\text{Cu}^{2+}$  adsorption process. Experimental equilibrium data have been obtained and correlated with Langmuir and Freundlich isotherms. The results have shown that the Langmuir isotherm model better fits the experimental data compared with the Freundlich isotherm for both AC and MAC. It was found that the MAC with a surfactant solution of 0.5 and 1.0 mM SDBS has a higher  $\text{Cu}^{2+}$  adsorption capability, with 0.40 and 0.54 mmol/g respectively, compared with AC, which has a capacity of 0.34 mmol/g. A MOC with the surfactant solution of 5 mM SDBS has a lower adsorption due to above the cmc, a surfactant forms a micelle that is very stable and remains in the bulk zone. It can be conclude a MOC with 1 mM SDBS was selected to maximize the amount of  $\text{Cu}^{2+}$  adsorbed onto the activated carbon.

**Keywords :** Cassava Root / Modified Activated Carbon / Adsorption Isotherm / Sodium Dodecylbenzenesulfonate

**ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา**

ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) เป็นตัวดูดซับที่มีรูพรุน มีพื้นที่ผิวขนาดใหญ่ที่มีความพรุนสูง (Mahaninia et al., 2015) จึงมีความสามารถในการดูดซับสูง ถ่านกัมมันต์แบ่งออกเป็นชนิดผงและชนิดเม็ด ได้มีการนำถ่านกัมมันต์ชนิดผงมาใช้ในกระบวนการต่างๆ (Hong et al., 2009) ได้แก่ การบำบัดน้ำเสีย การตกตะกอนทางเคมี การแลกเปลี่ยนไอออน หรือนำไปใช้ในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับสารละลายหรือของเหลว เช่น ฟอกสีและดูดกลิ่นในอุตสาหกรรมน้ำตาล ฟอกสีและแต่งรสในอุตสาหกรรมน้ำมันพืช ฟอกสีและดูดกลิ่นในอุตสาหกรรมอาหาร ดูดกลิ่นและทำให้รสชาติดีขึ้นในอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม การทำน้ำให้บริสุทธิ์ในอุตสาหกรรมน้ำดื่ม เป็นต้น ส่วนชนิดเม็ดหรือเกล็ดจะใช้ในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการทำแก๊สให้บริสุทธิ์ เช่น ดูดแก๊สในอุตสาหกรรมเครื่องกรองอากาศ ดูดซับแก๊สพิษและไอพิษในอุตสาหกรรมเครื่องกันแก๊สพิษ ดูดซับโลหะหนักในการบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ (Lo et al., 2012) ปัจจุบันการใช้งานถ่านกัมมันต์เป็นไปอย่างกว้างขวาง และมีแนวโน้มการใช้งานขยายตัวเพิ่มขึ้นทั้งในประเทศและต่างประเทศ

จากการที่ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตจังหวัดกำแพงเพชร มีการปลูกมันสำปะหลังเป็นพื้นที่ส่วนใหญ่ของจังหวัด ซึ่งหลังจากการเก็บเกี่ยวจะมีวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่เกษตรกรชาวไร่มันไม่ต้องการและทิ้งไว้ตามหัวไร่ปลายนา คือ เหง้ามันสำปะหลัง จำนวนมาก ดังนั้นเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด คณะผู้วิจัยจึงร่วมกันคิดที่จะนำเหง้ามันสำปะหลัง ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาพัฒนา

และสร้างมูลค่าเพิ่ม ด้วยการศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากเหง้ามันสำปะหลังโดยวิธีการกระตุ้นด้วยสารเคมี และวิธีการกระตุ้นทางกายภาพ จากนั้นศึกษาคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ โดยใช้ค่าการดูดซับไอโอดีนหรือค่าเลขไอโอดีน และค่าการดูดซับสารละลายเมทิลีนบลู โดยวิเคราะห์ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของถ่านกัมมันต์ที่ได้ พบว่าค่าพื้นที่ผิวยังมีค่าต่ำและเมื่อทดสอบความสามารถในการดูดซับโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำเสียสังเคราะห์ยังคงต่ำเมื่อเทียบกับถ่านกัมมันต์มาตรฐาน (ธีระ วงศ์เนตร และปรีชา ปัญญา, 2555)

ไอออนทองแดง ( $Cu^{2+}$ ) เป็นสารมลพิษที่เป็นอันตรายที่พบในน้ำเสีย และมักจะถูกปล่อยออกจากโรงงานโลหะ ปุ๋ย และอุตสาหกรรมอื่นๆ ที่มีปริมาณส่วนเกินของ  $Cu^{2+}$  อาจทำให้เกิดอันตรายเป็นพิษต่อร่างกายมนุษย์ โดยเฉพาะตับ จึงได้มีการควบคุมการกำจัดโลหะทองแดงจากการปนเปื้อนในน้ำเสียด้วยวิธีการต่างๆ ได้แก่ การกรอง การแลกเปลี่ยนไอออน และการดูดซับ เป็นต้น (Ghaedi et al., 2015) โดยเฉพาะเทคโนโลยีการดูดซับโดยใช้คาร์บอนได้เป็นที่นิยมใช้กันมากเนื่องจาก คาร์บอนหรือถ่านที่ใช้ถ่านเป็นคาร์บอนกัมมันต์ หรือถ่านกัมมันต์จะมีโครงสร้างพื้นผิวที่มีรูพรุนสูงและมีประสิทธิภาพกว่าถ่านธรรมดา และไม่เป็นอันตรายกับสภาพแวดล้อม (Swiatkowski et al., 2004) เนื่องจากกระบวนการดูดซับใช้ต้นทุนต่ำ แต่การที่จะได้ถ่านที่มีประสิทธิภาพราคาไม่แพงและทำหน้าที่เป็นตัวดูดซับที่ดี เพื่อเอาโลหะหนักออกมาจากของเสียในสถานะของเหลว จึงได้มีการเพิ่มความจุของถ่านกัมมันต์ที่ใช้เป็นสารดูดซับ โดยใช้วิธีการปรับเปลี่ยนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์โดยใช้สารต่างๆ และการปรับเปลี่ยนโดยการใช้ลดแรงดึงผิวเป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถเพิ่มความจุในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ได้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำหน้าที่ดูดซับได้มากขึ้น (Hong et al., 2009)

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้ จึงเป็นการปรับปรุงพื้นผิวถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากเหง้ามันสำปะหลังด้วยโซเดียมโดเดซิลเบนซีนซัลโฟเนต (SDBS) ซึ่งเป็นสารลดแรงดึงผิวชนิดไอออนลบ ที่ความเข้มข้นที่สอดคล้องกับค่าความเข้มข้นวิกฤตของไมเซลล์ จากนั้นศึกษาสมบัติทางกายภาพของถ่านกัมมันต์จากเหง้ามันสำปะหลังที่ไม่ได้ปรับปรุงผิวและที่ปรับปรุงผิวด้วย SDBS ได้แก่ พื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุนรวม และขนาดรูพรุนเฉลี่ยของถ่านกัมมันต์ และทดสอบการใช้งานโดยการดูดซับโลหะทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 1 สารที่ใช้ในการทดลอง

สารละลายไอออนโลหะทองแดงที่ใช้ในการทดลอง Cupric nitrate 99% (Merck) เกรดวิเคราะห์ (A.R) สารลดแรงดึงผิว ได้แก่ Sodium dodecylbenzene sulphonate, SDBS 99% MW=348.48 g/mol (Sigma Aldrich) โดยทดลองหาค่าความเข้มข้นวิกฤตของไมเซลล์ (critical micelle concentration, cmc) ของ SDBS เท่ากับ 2.0 mM โดยวิธี conductometric method ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการรายงานของ Weise et al. (2006) ที่ระบุว่า cmc ของ SDBS เท่ากับ 2.3 mM สำหรับเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ความเข้มข้นของสารละลายโลหะทองแดง ได้แก่ เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrophotometer, AAS) รุ่น 3110 serial No.311N 5082103 ยี่ห้อ Perkin Elmer ประเทศสหรัฐอเมริกา

#### 2 การเตรียมถ่านกัมมันต์ (AC) และถ่านกัมมันต์ที่ปรับปรุงผิว (MAC)

นำถ่านกัมมันต์จากเหง้ามันสำปะหลังเตรียมได้จากผลการวิจัยครั้งที่ผ่านมา (ธีระ วงศ์เนตร และปรีชา ปัญญา, 2554) โดยวิธีการกระตุ้นทางเคมีโดยใช้ซิงค์คลอไรด์เป็นสารกระตุ้นที่อุณหภูมิการคาร์โบไนซ์เท่ากับ 500 องศาเซลเซียส ที่เวลาของการกระตุ้นเท่ากับ 30 นาที และที่อัตราส่วนถ่านต่อซิงค์คลอไรด์เท่ากับ 1 ต่อ 2 แล้วนำถ่านกัมมันต์ที่ได้มาปรับปรุงผิวด้วยสารลดแรงดึงผิว SDBS ที่ความเข้มข้น 0.50, 1.0 และ 5.0 มิลลิโมลาร์

สำหรับวิธีการเตรียมถ่านกัมมันต์ที่ปรับปรุงผิว ทำได้โดย 1) เตรียมสารละลาย SDBS เข้มข้น 0.50, 1.0 และ 5 มิลลิโมลาร์ ความเข้มข้นละ 100 mL ในขวด Polyethylene 2) ซั่งถ่านกัมมันต์จากเหง้ามันสำปะหลัง 5 กรัม ใส่ลงในแต่ละขวด Polyethylene ที่ค่าพีเอชเท่ากับ 5 เขย่าด้วย shaker ด้วยความเร็ว 150 rpm ที่ 25 °C เวลา 12 ชั่วโมง โดยทุก ๆ ครึ่งชั่วโมงให้ปรับค่าพีเอชแต่ละขวดให้ได้เท่ากับ 5 โดยใช้ 0.1 โมลาร์ HCl หรือ 0.1 โมลาร์ NaOH จนกระทั่งค่าพีเอชคงที่ 3) กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No. 42 4) อบที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมงหรือจนน้ำหนักคงที่ เก็บไว้ในเดซิเคเตอร์ นำไปศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของถ่านกัมมันต์ต่อไป

3. การศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับโลหะทองแดงโดยใช้ถ่านกัมมันต์ (AC) และถ่านกัมมันต์ที่ปรับปรุงผิว (MAC)

เตรียมถ่านกัมมันต์จากจากเหง้ามันสำปะหลังมา 0.2 กรัม ลงในขวดโพลีเอทิลีน เติมสารละลายไอออนโลหะทองแดง ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ลงไป 20.00 มิลลิลิตร ปรับค่าพีเอชให้เท่ากับ 5 (เป็นค่า pH ที่เหมาะสมที่ได้จากผลการวิจัยครั้งที่ผ่านมา (ธีระ วงศ์เนตร และปรีชา ปัญญา, 2555) เขย่าสารละลายด้วยเครื่องเขย่าที่ปรับความเร็วประมาณ 150 rpm เป็นเวลา 2 ชั่วโมง กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.42 นำสารละลายที่ได้จากการกรอง ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง AAS เพื่อหาความเข้มข้นของสารละลายไอออนโลหะทองแดงที่สมดุลโดยเทคนิคกราฟมาตรฐาน

ปริมาณการดูดซับ สามารถคำนวณโดยใช้สมการ

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{M} \quad (1)$$

เมื่อ  $q_e$  คือปริมาณการดูดซับที่สมดุล (โมลต่อกรัม)

$C_0$  คือ ความเข้มข้นของทองแดงเริ่มต้น

$C_e$  คือ ความเข้มข้นของโลหะทองแดงที่สมดุล

$V$  คือ ปริมาตรที่ใช้ในการดูดซับ

$M$  คือ มวลของตัวดูดซับ (ถ่านกัมมันต์)

สำหรับไอโซเทอร์มการดูดซับ ใช้สมการแบบแลงเมียร์ ดังสมการ (2)

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m K_L} + \frac{C_e}{q_m} \quad (2)$$

และสมการแบบฟรอยด์ลิก ดังสมการ (3)

$$q_e = K_F \cdot C_e^{1/n}$$

$$\text{Log} q_e = \text{Log} K_F + \frac{1}{n} \text{Log} C_e \quad (3)$$

เมื่อ  $q_m$  คือ ปริมาณการดูดซับสูงสุดตามสมการแลงเมียร์ (โมลต่อกรัม)

$K_L$  คือ ค่าคงที่การดูดซับของแลงเมียร์

$K_F$  คือ ค่าคงที่การดูดซับของฟรอยด์ลิก

$n$  คือ ค่าคงที่

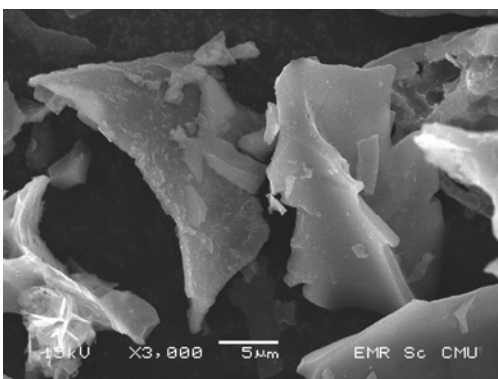
**ผลการวิจัย**

1. สมบัติทางกายภาพของถ่านกัมมันต์จากเหง้ามันสำปะหลังที่ไม่ได้ปรับปรุงผิวและที่ปรับปรุงผิวด้วย SDBS แสดงดังตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์หาพื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุนรวม และขนาดรูพรุนเฉลี่ยของถ่านกัมมันต์จากเหง้ามันสำปะหลัง พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ปรับปรุงผิวด้วย SDBS ที่ความเข้มข้น 0.5 และ 1.0 มิลลิโมลาร์ มีพื้นที่ผิวสูงขึ้นเมื่อเทียบกับถ่านกัมมันต์ที่ไม่ได้ปรับปรุงผิว (AC) ยกเว้น MAC ที่ปรับปรุงผิวด้วย SDBS ที่ความเข้มข้น 5 มิลลิโมลาร์ พบว่ามีพื้นที่ผิว และปริมาตรรูพรุนลดต่ำลง แต่ขนาดรูพรุนเฉลี่ยเพิ่มมากขึ้น

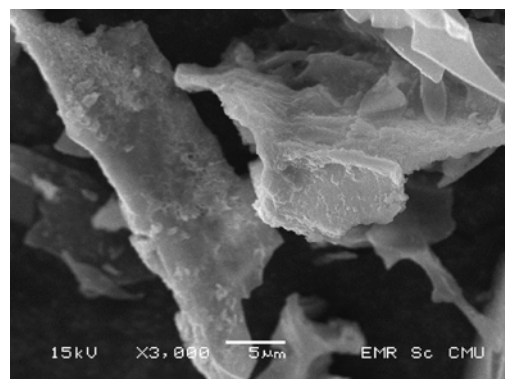
รูปที่ 1 ผลการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ของถ่านกัมมันต์จากเหง้ามันสำปะหลัง พบว่า การปรับปรุงผิวด้วยสารลดแรงตึงผิวที่ความเข้มข้น 0.50 และ 1.0 มิลลิโมลาร์ ทำให้โครงสร้างถ่านกัมมันต์มีความสามารถในการจัดระเบียบให้มีพื้นผิวที่เป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้นกว่าถ่านที่ไม่ได้ปรับปรุงผิว ส่วนการปรับปรุงผิวด้วยสารลดแรงตึงผิวที่ความเข้มข้น 5.0 มิลลิโมลาร์ เนื่องจากเป็นความเข้มข้นที่สูงกว่าจุด cmc ทำให้ SDBS ที่ผิวของถ่านกัมมันต์อยู่ในรูปแบบที่จับกันแบบมีเสถียรภาพมากและยังคงอยู่ในโซนเป็นกลุ่มรวมกัน

**ตารางที่ 1** ผลของความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ปรับปรุงผิวที่มีต่อพื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุนรวม และขนาดรูพรุนเฉลี่ย ของถ่านกัมมันต์จากเหง้ามันสำปะหลัง

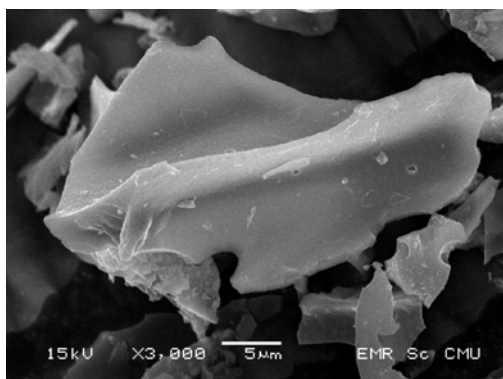
Sample	Name	Surface Area (m <sup>2</sup> /g)	Properties	
			Total Pore Volume cc/g	Average Pore Diameter (µm)
1	Unmodified AC	74.23	0.08632	46.51
2	SDBS 0.50 mM modified with AC	172.8	0.1466	33.92
3	SDBS 1.00 mM modified with AC	145.3	0.1298	35.73
4	SDBS 5.0 mM modified with AC	28.21	0.04614	65.43



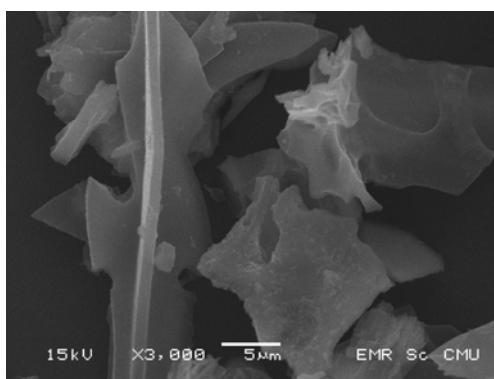
(a)



(b)



(c)



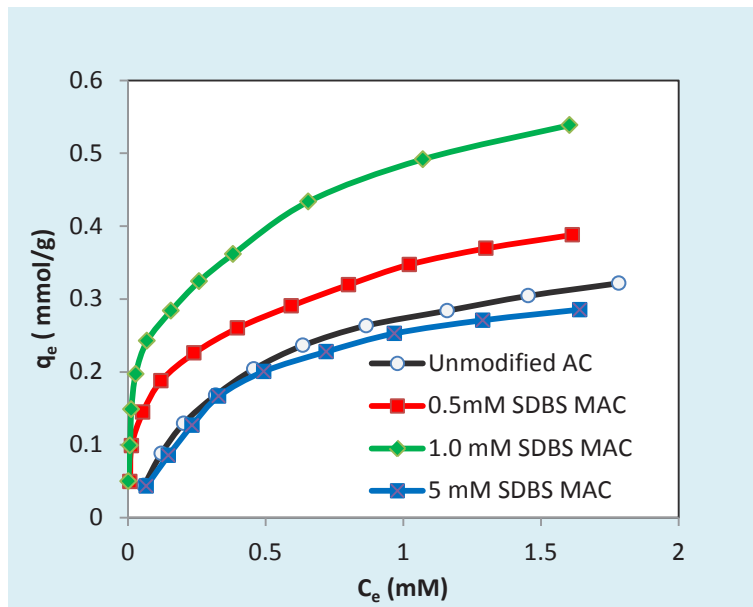
(d)

รูปที่ 1 ผลการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของถ่านกัมมันต์จากเหง้ามันสำปะหลังที่ไม่ได้ปรับปรุงผิว (a) และที่ปรับปรุงผิวด้วย 0.50 มิลลิโมลาร์ SDBS (b) 1.0 มิลลิโมลาร์ SDBS (c) และ 5 มิลลิโมลาร์ SDBS (d)

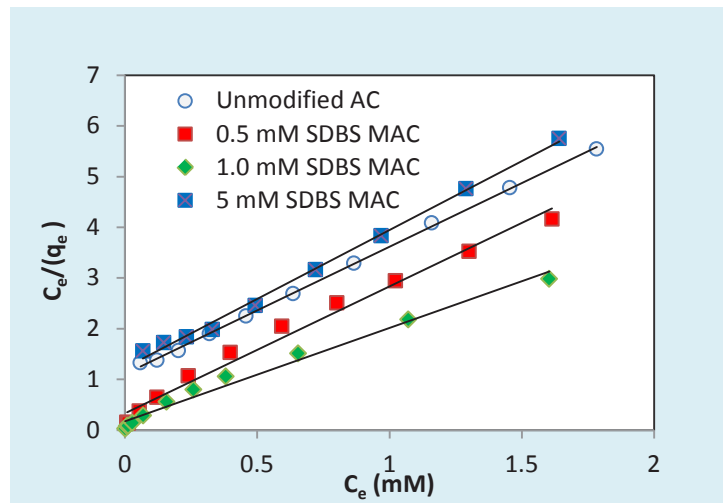
## 2. ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับ

รูปที่ 2 แสดงผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับของแฉงไอออนบน AC และ MAC พบว่าถ่านกัมมันต์ MAC ที่ปรับปรุงผิวด้วย SDBS ที่ความเข้มข้น 0.5 และ 1.0 มิลลิโมลาร์มีความสามารถในการดูดซับของแฉงไอออนเท่ากับ 0.40 และ 0.54 มิลลิโมลต่อกรัมตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าเมื่อเทียบกับถ่านกัมมันต์ที่ไม่ได้ปรับปรุงผิว ซึ่งมีความสามารถในการดูดซับเท่ากับ 0.34 มิลลิโมลต่อกรัม

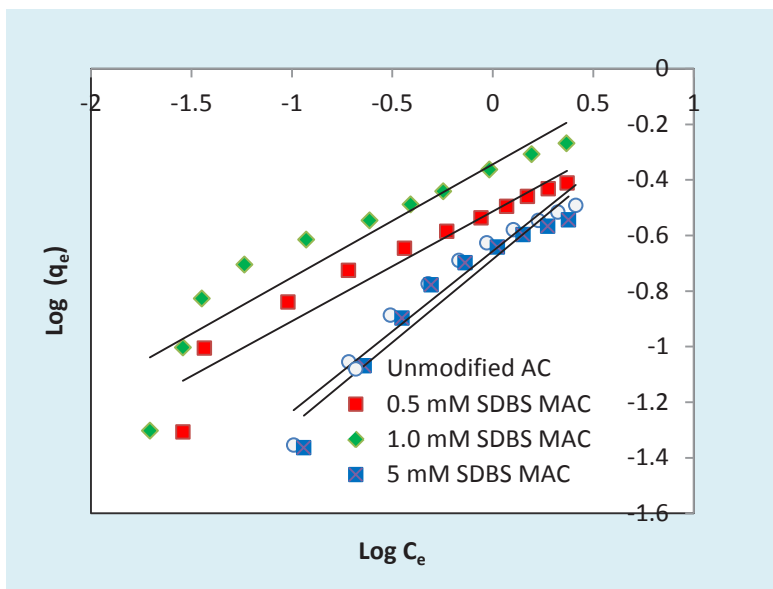
รูปที่ 3 แสดงผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับของแฉงไอออนบน AC หรือ MAC พบว่า ข้อมูลจากสมการการทดลองมีความสัมพันธ์กับไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์มากกว่าแบบฟรอยด์ลิก (รูปที่ 4) โดยดูจาก  $r^2$  จะเห็นว่า การดูดซับเหมาะกับไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์มากกว่า โดยมีค่าคงที่จากไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์และแบบฟรอยด์ลิกของการดูดซับสารละลายโลหะของแฉงบนถ่านกัมมันต์จากเหง้ามันสำปะหลังที่ไม่ได้ปรับปรุงผิว และที่ปรับปรุงผิวด้วย SDBS แสดงดังตารางที่ 2



รูปที่ 2 ไอโซเทอร์มการดูดซับสารละลายโลหะทองแดงบนถ่านกัมมันต์จากเหง้ามันสำปะหลังที่ไม่ได้ปรับปรุงผิวและที่ปรับปรุงผิวด้วย SDBS



รูปที่ 3 แลงเมียร์ไอโซเทอร์มของการดูดซับสารละลายโลหะทองแดงบนถ่านกัมมันต์จากเหง้ามันสำปะหลังที่ไม่ได้ปรับปรุงผิวและที่ปรับปรุงผิวด้วย SDBS



รูปที่ 4 ฟรอยด์ลิกไอโซเทอร์มของการดูดซับสารละลายโลหะทองแดงบนถ่านกัมมันต์จากเหง้ามันสำปะหลังที่ไม่ได้ปรับปรุงผิวและที่ปรับปรุงผิวด้วย SDBS

ตารางที่ 2 ค่าคงที่จากไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์และแบบฟรอยด์ลิกของการดูดซับสารละลายโลหะทองแดงบนถ่านกัมมันต์จากเหง้ามันสำปะหลังที่ไม่ได้ปรับปรุงผิวและที่ปรับปรุงผิวด้วย SDBS

ชนิดของถ่านกัมมันต์จาก เหง้ามันสำปะหลัง	ค่าคงที่แบบแลงเมียร์			ค่าคงที่แบบฟรอยด์ลิก		
	$q_m$ (mmol/g)	$K_L$ (L/mmol)	$r^2$	$K_F$	$n$	$r^2$
Unmodified AC	0.3980	2.2717	0.9992	0.2208	1.7307	0.9427
SDBS 0.50 mM modified with AC	0.3993	7.5793	0.9853	0.3067	2.5304	0.9283
SDBS 1.00 mM modified with AC	0.5418	10.9531	0.9836	0.4527	2.4576	0.8768
SDBS 5.0 mM modified with AC	0.3675	2.2183	0.9961	0.2065	1.6678	0.9328

### สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของถ่านกัมมันต์จากเหง้ามันสำปะหลัง พบว่า การปรับปรุงผิวด้วยสารลดแรงตึงผิว SDBS ที่ความเข้มข้น 0.50 และ 1.0 มิลลิโมลาร์ ทำให้พื้นที่ผิว และปริมาตรรูพรุนรวมของถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการรายงานของ Nadeem et al. (2009) ที่สรุปไว้ว่าการปรับปรุงผิวถ่านกัมมันต์ด้วยสารลดแรงตึงผิวเป็นการเพิ่มพื้นที่โมเลกุลผิว มีความสามารถในการเป็ยกผิวดีขึ้น มีความสามารถในการจัดระเบียบให้มีพื้นที่ผิวที่เป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น และการจัดระเบียบโครงสร้างที่มีรูพรุนได้ดีกว่า นอกจากนี้ Nadeem et al. (2009) ยังสรุปไว้ว่าขนาดรูพรุนเฉลี่ยลดลงเนื่องมาจากโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (SDS) โมเลกุลเดี่ยว (monomer) ไปจับที่ผิวถ่านกัมมันต์ทำให้บับขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับ



ผลการวิจัยในครั้งนี้ และเนื่องจาก SDBS มีโครงสร้างโมเลกุลที่ใหญ่กว่า SDS จึงทำให้ขนาดรูพรุนลดลงได้มากขึ้น

ส่วนการปรับปรุงผิวด้วยสารลดแรงตึงผิว SDBS ที่ความเข้มข้น 5.0 mM เนื่องจากเป็นความเข้มข้นที่สูงกว่าจุด cmc ทำให้ SDBS ที่ผิวของถ่านกัมมันต์อยู่ในรูปแบบที่จับกันแบบมีเสถียรภาพมากและยังคงอยู่ในโซนเป็นกลุ่มรวมกัน สอดคล้องกับการรายงานของ Doc Choia et al. (2009) ดังแสดงจากหลักฐานด้วยเทคนิค SEM ในรูปที่ 1 เป็นผลทำให้พื้นที่ผิว และความเป็นรูพรุนของถ่านกัมมันต์ลดลง แต่ขนาดรูพรุนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นอาจเนื่องมาจากการจับกันเองของโมเลกุล SDBS ที่เป็นไมเซลล์ขนาดใหญ่กว่าโมเลกุลเดี่ยว ทำให้เพิ่มขนาดของรูพรุนได้

สำหรับการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับของแดงโอออนบน AC หรือ MAC ดังรูปที่ 2 พบว่า ข้อมูลจากสมดุลการทดลองมีความสัมพันธ์กับไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์ (รูปที่ 3) และแบบฟรอยด์ลิค (รูปที่ 4) แต่จากค่า  $r^2$  จะเห็นว่าการดูดซับเหมาะกับไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์มากกว่าทั้ง AC และ MAC และพบว่า MAC ที่ปรับปรุงผิวด้วย SDBS ที่ความเข้มข้น 0.5 และ 1.0 มิลลิโมลาร์มีความสามารถในการดูดซับของแดงโอออนเท่ากับ 0.40 และ 0.54 มิลลิโมลต่อกรัม ซึ่งมีค่าสูงกว่าเมื่อเทียบ AC ซึ่งมีความสามารถในการดูดซับเท่ากับ 0.34 มิลลิโมลต่อกรัม สอดคล้องกับผลการทดลองการปรับปรุงผิวด้วยสารลดแรงตึงผิว SDBS ที่ความเข้มข้น 0.50 และ 1.0 มิลลิโมลาร์ ทำให้พื้นที่ผิว และปริมาตรรูพรุนรวมของถ่านกัมมันต์สูงกว่าถ่านกัมมันต์ที่ไม่ได้ปรับปรุง ทำให้ดูดซับโลหะทองแดงโอออนได้สูงกว่า

สำหรับ MAC ที่ปรับปรุงผิวด้วย SDBS ที่ความเข้มข้น 5 มิลลิโมลาร์ มีความสามารถในการดูดซับของแดงโอออนต่ำ และสอดคล้องกับผลการทดลองการปรับปรุงผิวด้วยสารลดแรงตึงผิว SDBS ที่ความเข้มข้น 5.0 มิลลิโมลาร์ทำให้พื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนรวมของถ่านกัมมันต์ต่ำกว่าถ่านกัมมันต์ที่ไม่ได้ปรับปรุง ทำให้ดูดซับโลหะทองแดงโอออนได้น้อยกว่า เนื่องจากเป็นความเข้มข้นที่สูงกว่าจุด cmc ทำให้ SDBS ที่ผิวของถ่านกัมมันต์อยู่ในรูปที่รวมกลุ่มจับกันเองแบบมีเสถียรภาพมากจึงจับกับทองแดงโอออนได้น้อยลง

จึงสรุปได้ว่า MAC ที่ปรับปรุงผิวด้วย SDBS ที่ความเข้มข้น 1.0 มิลลิโมลาร์มีความเหมาะสมที่สุดใน การเตรียมถ่านกัมมันต์ปรับปรุงผิวเพื่อให้เกิดการดูดซับของแดงโอออนสูงสุด ไอออนโลหะทองแดงจะถูกกำจัดออกจากสารละลายในน้ำเสียสังเคราะห์โดยเกิดอันตรกิริยากับหมู่ฟังก์ชันลบของถ่านกัมมันต์ (Ahn et al.,2009) ดังนั้น การเพิ่มประจุลบที่ผิวของถ่านกัมมันต์โดยโมเลกุลของ SDBS ทำให้สามารถดูดซับของแดงโอออนได้เพิ่มขึ้นกว่าถ่านกัมมันต์ที่ไม่ได้ปรับปรุงผิวด้วย SDBS

#### เอกสารอ้างอิง

- ธีระ วงศ์เนตร และปรีชา ปัญญา. (2555). การศึกษาการดูดซับสารปนเปื้อนในสถานะสารละลายและสถานะแก๊สด้วยถ่านกัมมันต์จากเหง้ามันสำปะหลัง. กำแพงเพชร : มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร. \_\_\_\_\_ . (2554, มกราคม-มิถุนายน). การผลิตถ่านกัมมันต์จากเหง้ามันสำปะหลัง. สักทอง : วารสารการวิจัย, 17(1),13-20.
- ธีระ วงศ์เนตร และปรีชา ปัญญา. (2553). การผลิตถ่านกัมมันต์จากเหง้ามันสำปะหลัง. กำแพงเพชร : มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร.
- Ahn, C.K., Park, D., Woo, S.H., & Park, J.M. (2009).Removal of cationic heavy metal from aqueous solution by activated carbon impregnated with anionic surfactants. *Journal of Hazardous Materials*, 164, 1130-1136.

- Doc Choia, H., Jung, W.S., Choa, J.M., Ryua, B.G., Yangc, J.S., & Baeka, K., (2009). Adsorption of Cr(VI) onto cationic surfactant-modified activated carbon. **Journal of Hazardous Materials**, **166**, 642-646.
- Ghaedi, A.M., Ghaedi, M., Vafaei A, Iravani, N., Keshavarz, M., Rad, M., Tyagi, I., Agarwal, S., & Gupta, V.K. (2015). Adsorption of copper (II) using modified activated carbon prepared from Pomegranate wood : Optimization by bee algorithm and response surface methodology. **Journal of Molecular Liquids**, **206**, 195-206.
- Hong, H.J., Kim, H., Lee, U.J., & Yang, J.W. (2009). Removal of anionic contaminants by surfactant modified powdered activated carbon (SM-PAC) combined with ultrafiltration. **Journal of Hazardous Materials**, **170**. 1242-1246
- Huang, C.C., Su, Y.J., (2010). Removal of copper ions from wastewater by adsorption/ electrosorption on modified activated carbon cloths. **Journal of Hazardous Materials**, **175**, 477-483.
- Lo, S.F., Wang, S.Y. , Tsai, M.J., & Lin, L.D. (2012). Adsorption capacity and removal efficiency of heavy metal ions by Moso and Ma bamboo activated carbons. **Chemical Engineering Research and Design**, **90**, 1397-1406.
- Mahaninia, M., Rahimian, P., & Kaghazchi, T. (2015). Modified activated carbons with amino groups and their copper adsorption properties in aqueous solution **Chinese Journal of Chemical Engineering**, **23**, 50-56.
- Nadeem, M., Shabbir, M., Abdullah, M,A., Shah, .S. & McKay, G. (2009), Sorption of cadmium From aqueous solution by surfactant-modified carbon adsorbents. **Chemical Engineering Journal**, **148**, 365-370.
- Swiatkowski, A., Pakula, M., Biniak, S., & Walczyk, M., (2004). Influence of the surface chemistry of modified activated carbon on its electrochemical behaviour in the presence of lead(II) ions. **Carbon**, **42**, 3057-3069.
- Weiss, E., Groenen-Serrano, K., & Savall, A., (2006). Electrochemical Degradation of Sodium Dodecylbenzene Sulfonate on Boron Doped Diamond and Lead Dioxide Anodes. **Journal of New Materials for Electrochemical Systems**, **9**, 249-256.