การดูดซับสังกะสีไอออนออกจากน้ำทิ้งจากการชุบโลหะด้วยเยื่อกระดาษ

Zinc Ion Adsorption from Metallic Coating Wastewater on Pulp Waste

พนิดา สามพรานไพบูลย์* จารุวรรณ เหล็กเพชร และวัลย์วิสา นาคสมบูรณ์

Panida Sampranpiboon* Charuwan Lekphet and Wanwisa Naksomboon

ภาควิชาวิศวกรรมเคมีและวัสดุ วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต ถนนพหลโยธิน ตำบลหลักหก อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี 12000

**Corresponding author, E-mail: panida.s@rsu.ac.th*

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมชุบโลหะ ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมที่ความสำคัญต่อภาคเศรษฐกิจของประเทศในขณะเดียวกันก็เป็นอุตสาหกรรมที่อาจสร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและมีปัจจัยเสี่ยงต่อความปลอดภัยและอุบัติเหตุอุบัติภัยจากการทำงาน ในเรื่องอุตสาหกรรมชุบโลหะทำให้เกิดมลภาวะของสิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติโดยการปนเปื้อนของโลหะหนัก งานวิจัยนี้ได้ศึกษาความสามารถในการกำจัดสังกะสีไอออนในน้ำยาชุบโลหะโดยใช้ตัวดูดซับเป็นเยื่อกระดาษปริมาณ 1 กรัม, 3 กรัม และ5 กรัม ต่อความเข้มข้นของสังกะสีในน้ำยาชุบโลหะ ที่ความเข้มข้น 217 มก./ลิตร, 552 มก./ลิตร, 773 มก./ลิตร และ1,123 มก./ลิตรปริมาตร 100 มล. ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าสารละลายที่ความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจะทำให้ความสามารถในการดูดซับสังกะสีไอออนของเยื่อกระดาษเพิ่มขึ้น โดยความเข้มข้นที่เยื่อกระดาษสามารถดูดซับสังกะสีไอออนได้มากสุด คือ 1,123 มก./ลิตร ปริมาณเยื่อกระดาษ 1 กรัม ที่เวลา 120 นาที การดูดซับสอดคล้องกับไอโซ เทอร์มของฟรุนดลิช โดยค่าคงที่การดูดซับสังกะสี $K_{F,}$ เท่ากับ 0.670 มก./กรัม ค่าคงที่ของไอโซเทอร์มของฟรุนดลิช (n_F) เท่ากับ 1.338 มก./ลิตร และค่า Correlation coefficient (R^2) เท่ากับ 0.9956

คำสำคัญ: *การดูดซับ เยื่อกระดาษ สังกะสีไอออน*

Abstract

This research studies zinc ion removal from metallic coating wastewater using pulp waste as an adsorbent. The amounts of adsorbent were 1 g, 3 g and 5 g in a volume of 100 mL of wastewater, with concentrations of zinc ion of 217, 552, 773 and 1,123 mg/L, respectively. From the experimental results, an increase of initial concentration of zinc ion could increase the adsorption ability of wasted pulp adsorbent. The maximum adsorption was obtained, when 1 g of wasted pulp adsorbent was mixed with wastewater with a concentration of zinc at 1,123 mg/L in

equilibrium for120 min. The adsorption obeyed the Freundlich isotherm equation. The constant adsorption of zinc ions, K_F, n_F were 0.670 mg/g and 1.338 mg/L, respectively and the correlation coefficient (R^2) was 0.9956.

Keywords: *adsorption, pulp waste, zinc ion*

1. บทนำ

อุตสาหกรรมชุบโลหะทำให้เกิดมลภาวะของสิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติโดยการปนเปื้อนของโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว ปรอท โครเมียม สังกะสี และเกลือของปรอท ที่ส่งผลให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมเป็นปัญหาที่สำคัญ เนื่องจากโลหะหนักสามารถสะสมผ่านทางห่วงโซ่อาหารในระบบนิเวศน์ อันส่งผลกระทบและก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต และสุขภาพของมนุษย์ (Tao et al., 2006 ; Yujing et al., 2005)

วิธีบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนโลหะหนักจำพวกสังกะสีที่ใช้กันในปัจจุบันมีหลายวิธีด้วยกัน ได้แก่ กระบวนการตกตะกอนผลึกทางเคมี (Chemical precipitation) กระบวนการแยกโดยใช้เยื่อแผ่น (Membrane process) กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange) และกระบวนการดูดซับด้วยถ่ายกัมมันต์ (Activated carbon adsorption) เป็นต้น (Rittmann, 2010 ; Can and Jianlong, 2010) เมื่อพิจารณาจะพบว่า กระบวนดูดซับเป็นกระบวนการที่มีความเหมาะสมสำหรับนำมาใช้ในการกำจัดโลหะ เนื่องจากไม่ต้องมีการเติมสารเคมีลงไปในน้ำเสีย ประหยัดค่าใช้จ่าย สามารถดำเนินการได้ที่อุณหภูมิห้อง

ในกระบวนการผลิตกระดาษชำระ จะต้องมีการล้างเยื่อจึงทำให้เยื่อบางส่วนหลุดออกมาแล้วจะต้องมีการกรองและนำกลับไปใช้ จนกระทั่งสุดท้ายไม่สามารถกรองกลับไปใช้ใหม่ได้ และต้องกำจัดทิ้งออกจากกระบวนการผลิต โดยปกติเยื่อที่จะถูกกำจัดทิ้งจะมีลักษณะเป็นเส้นใยสั้นมาก แต่พื้นผิวสูงซึ่งเหมาะสำหรับนำมาดูดซับโลหะหนัก(Sampranpiboon and Charnkeitkong, 2010) อีกทั้งเป็นการใช้ของเหลือทิ้งให้เกิดประโยชน์อีกด้วย

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการดูดซับสังกะสีไอออนด้วยเยื่อกระดาษซึ่งเป็นของเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตกระดาษ โดยศึกษาผลของความเข้มข้นของน้ำทิ้งจากการชุบโลหะ เวลาที่เหมาะสมในการดูดซับและปริมาณตัวดูดซับที่เหมาะสมในการดูดซับสังกะสีไอออน

2. วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้เพื่อ ศึกษาผลของเวลา ความเข้มข้น และปริมาณตัวดูดซับที่มีต่อความสามารถในการกำจัดสังกะสีไอออน และไอโซเทอร์มในการดูดซับ

3. อุปกรณ์และวิธีการ

เยื่อกระดาษที่นำมาเป็นตัวดูดซับได้มาจากกระบวนการผลิตกระดาษชำระเป็นส่วนของเยื่อกระดาษที่หลุดออกไปกับน้ำล้างเป็นกากตะกอนซึ่งมีเส้นใยเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบ โดยนำมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำสะอาดจนกระทั่งน้ำล้างใส หลังจากนั้นนำไปอบในตู้อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 2 วัน แล้วเก็บใส่ขวดดูดความชื้นแล้ว

นำมาใช้ดูดซับสังกะสีไอออน ซึ่งมีวิธีการทดลองดังนี้คือ

1. น้ำทิ้งจากกระบวนการชุบโลหะ จะมีความเข้มข้นของสังกะสีไอออนสูงมาก ในการทดลองต้องทำการเจือจางด้วยน้ำกลั่นที่อัตราส่วนน้ำเสียต่อน้ำกลั่น 1:4 (25%), 1:1 (50%), 3:4 (75%) และน้ำเสียจริง (100%) เมื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีไอออนได้เท่ากับ 217, 552, 773 และ 1,123 มก./ลิตร ตามลำดับ

2. ใส่เยื่อกระดาษที่เตรียมไว้ปริมาณ 1 กรัม ลงในสารละลายตามความเข้มข้นที่เตรียมไว้ปริมาตร 100 มล.

3. นำไปเข้าเครื่องเขย่าสาร Wiseshake ด้วยความเร็ว 110 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 5, 10, 15, 30, 60, 90 และ 120 นาที

4. นำมากรองด้วยกระดาษกรองแล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสีไอออนด้วยเครื่อง Atomic absorption spectroscopy

5. ทำการเปลี่ยนปริมาณตัวดูดซับจาก 1 กรัม เป็น 3 และ 5 กรัม ตามลำดับ

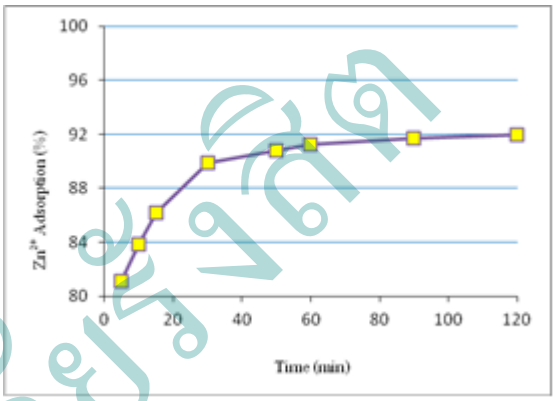
ผลการทดลองที่ได้นำไปวิเคราะห์หาผลของความเข้มข้น เวลา และปริมาณตัวดูดซับที่เหมาะสมในการดูดซับ เพื่อนำไปศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับด้วยสมการไอโซเทอร์มของแลงเมียร์ และฟรุนดลิช

4. ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ผล

น้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะเป็นส่วนของน้ำที่ใช้ในกระบวนการล้างผิวโลหะที่ผ่านกระบวนการชุบโลหะด้วยสังกะสี มีลักษณะสีขาวขุ่น เมื่อตกตะกอนจะให้สารละลายใสไม่มีสี ค่า pH เท่ากับ 11 และใช้ตัวดูดซับเป็นเยื่อกระดาษ มีพื้นที่ผิวในการดูดซับ 60 x 10^2 ตารางเซนติเมตร/กรัม ซึ่งเมื่อใส่ลงไปในสารละลายจะเป็นลักษณะยุ่ยๆ เมื่อนำไปดูดซับจะได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

4.1 ผลของเวลาในการดูดซับ

เวลาในการดูดซับสังกะสีไอออน โดยใช้น้ำยาชุบโลหะที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสังกะสีไอออน 217 มก./ลิตร ปริมาณตัวดูดซับ 1 กรัม ต่อปริมาตรสารละลาย 100 มล. แสดงดังรูปที่ 1



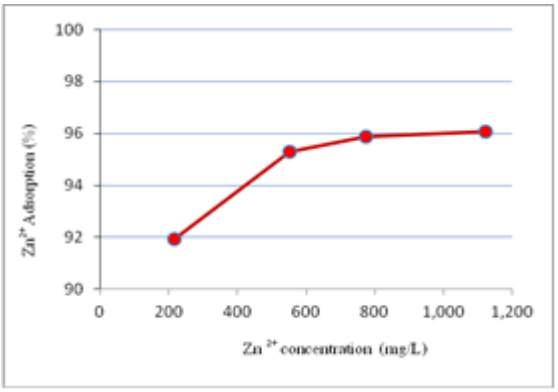
รูปที่ 1 ความสามารถในการดูดซับสังกะสีไอออนกับเวลา ที่ความเข้มข้นของน้ำยาชุบโลหะ 217 มก./ลิตร ปริมาณตัวดูดซับ 1 กรัม และอุณหภูมิ 30 ºC

ความสามารถในการดูดซับสังกะสีไอออนเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มเวลาในการสัมผัสและเริ่มเข้าสู่สภาวะสมดุลที่เวลา 60 นาที หลังจากนี้ ความสามารถในการดูดซับสังกะสีไอออนจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย สังเกตได้ว่าความสามารถในการดูดซับจะเกิดเร็วมาก ในช่วงก่อนระยะเวลา 60 นาที และหลังจาก 60 นาที จะช้าลง เป็นเพราะการดูดซับสังกะสีไอออนอาจจะเข้าสู่สมดุลของการดูดซับ เมื่อทำการทดลองไปถึง 120 นาที ก็พบว่าความสามารถในการดูดซับไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก แสดงให้เห็นว่าที่ 120 นาที การดูดซับเข้าสู่สมดุลแล้ว

4.2 ผลของความเข้มข้นในการดูดซับ

ผลของความเข้มข้นต่อการดูดซับสังกะสีไอออน โดยใช้น้ำยาชุบโลหะที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 217, 552, 773 และ1,123 มก./ลิตร ตามลำดับ โดยตัวดูดซับปริมาณ 1 กรัม ต่อปริมาตรสารละลาย 100 มล.

จากการทดลองพบว่าเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ความสามารถในการดูดซับก็สูงขึ้น แสดงดังรูปที่ 2



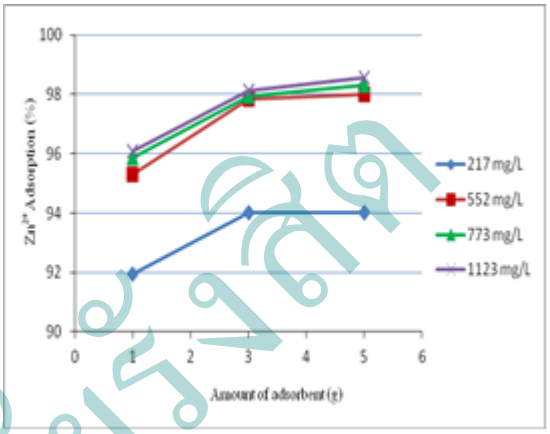
รูปที่ 2 ความสามารถในการดูดซับสังกะสีไอออนกับความเข้มข้นของน้ำยาชุบโลหะที่ความเข้มข้นต่างๆ ปริมาณตัวดูดซับ 1 กรัม อุณหภูมิ 30 ºC

ความสามารถในการดูดซับสังกะสีไอออนจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายขึ้น เพราะความเข้มข้นของไอออนของสังกะสีจะมีผลต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลไอออนในน้ำยาชุบโลหะ เนื่องจากมีจำนวนของไอออนบวกที่สามารถเข้าไปทำปฏิกิริยากับพื้นที่ผิวของตัวดูดซับได้มากขึ้น ซึ่งทำให้ง่ายต่อการเข้าทำปฏิกิริยากับพื้นที่ผิวดูดซับ ส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับสังกะสีไอออนมากขึ้น (Li et al., 2011)

4.3 ผลของปริมาณตัวดูดซับ

ผลของปริมาณตัวดูดซับสังกะสี โดยใช้น้ำยาชุบโลหะที่ความเข้มข้นต่างๆ โดยใช้ ปริมาณตัวดูดซับ 1, 3 และ 5 กรัม ตามลำดับ ใส่ลงในสารละลายปริมาตร 100 มล. แสดงดังรูปที่ 3

ความสามารถในการดูดซับสังกะสีไอออนจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับ ซึ่งการเพิ่มปริมาณสารดูดซับจะเป็นการเพิ่มอัตราการถ่ายเทมวลจากสังกะสีที่อยู่ใน bulk liquid มาสู่พื้นที่ผิวของสารดูดซับได้ง่ายขึ้นซึ่งทำให้การดูดซับมากขึ้น หรือกล่าวได้ว่าตัวดูดซับจะมีพื้นที่สัมผัสในการทำปฏิกิริยากับสารละลายได้มากขึ้น



รูปที่ 3 ความสามารถในการดูดซับสังกะสีไอออนกับปริมาณตัวดูดซับที่ความเข้มข้นต่างๆ และอุณหภูมิ 30 ºC

จึงส่งผลต่อความสามารถในการดูดซับสังกะสีไอออนให้มากขึ้นได้ด้วย เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้นนั้นหมายถึงจำนวนสังกะสีไอออนเพิ่มขึ้นก็จะถูกดูดซับกับพื้นที่ผิวที่เพิ่มขึ้น จากการเพิ่มอัตราการถ่ายเทมวล (Li et al., 2011)

4.4 การศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับ

ไอโซเทอร์มของการดูดซับสังกะสีบนเยื่อกระดาษอธิบายด้วยไอโซเทอร์มของฟรุนดิชและแลงเมียร์ โดยที่เวลาในการดูดซับเท่ากับ 120 นาที เพื่อให้การดูดซับถึงสมดุลของปฏิกิริยา และทดสอบที่อุณหภูมิ 30 ºC

4.4.1 ไอโซเทอร์มของฟรุนดลิช(Freundlich isotherm)

ไอโซเทอร์มนี้มีสมมติฐานการดูดซับที่ว่าพื้นผิวของตัวดูดซับไม่เป็นเนื้อเดียวกันตลอด (พื้นผิวของตัวดูดซับมีลักษณะขรุขระ) พื้นผิวและพลังงานมีการกระจายตัวเป็นแบบเลขชี้กำลังเป็นไอโซเทอร์มที่นิยม

ใช้กันมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งใช้กับสารละลายที่ค่อนข้างเจือจางและมีความเข้มข้นค่อนข้างต่ำหาค่าได้จากสมการที่ (1)

$$\log q = \log K_F + \frac{1}{n_F}\log C \qquad (1)$$

โดยที่

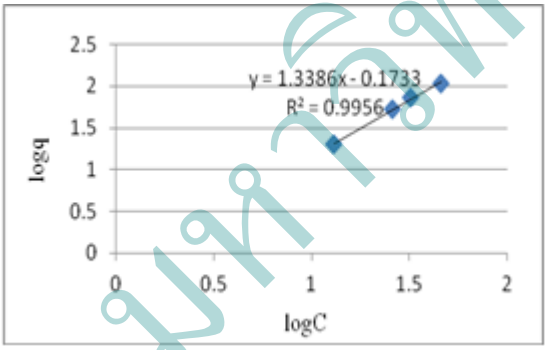
q_e = ปริมาณของสารที่ถูกดูดซับต่อปริมาณของสารดูดซับ (มก./กรัม)

C = ความเข้มข้นของสารละลาย (มก./ลิตร)

K_F = ค่าคงที่ของฟรุนดิชแสดงถึงความสามารถในการดูดซับ (มก./กรัม)

n_F = ค่าคงที่ของฟรุนดิชที่แสดงถึงความเข้มข้นของการดูดซับ (มก./ลิตร)

นำผลการทดลองที่ได้มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง log (C) กับ log (q) ตามความสัมพันธ์ของฟรุนดลิช แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่าง log C กับ log q ปริมาณตัวดูดซับจำนวน 1 กรัม เวลาในการดูดซับ 120 นาที ณ อุณหภูมิ 30 °C

4.4.2 ไอโซเทอร์มของแลงเมียร์ (Langmuir isotherm)

ไอโซเทอร์มของแลงเมียร์มีสมมติฐานว่าเป็นการดูดซับที่คิดเฉพาะผิวชั้นเดียวและโมเลกุลของสารถูกดูดซับไม่มีการเคลื่อนที่อิสระบนผิว สมการแลงเมียร์เป็นสมการง่ายๆแบบจำลองเป็นพื้นฐานทางกายภาพและสามารถนำมาใช้งานได้ในช่วงที่กว้างในขณะที่สมการแลงเมียร์มีข้อจำกัดในการใช้งานคือพลังงานของการดูดซับเป็นอิสระจากระดับการควบคุมแรงที่ใช้ในการดึงดูดเป็นแรงอ่อนๆที่สามารถผันกลับได้และใช้ได้ในกรณีที่ผิวของตัวดูดซับเกิดขึ้นแบบชั้นเดียวเท่านั้นสมการแลงเมียร์ แสดงดังสมการที่ (2)

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{q_m} + \left(\frac{1}{K_A q_m}\right)\frac{1}{C} \qquad (2)$$

โดยที่

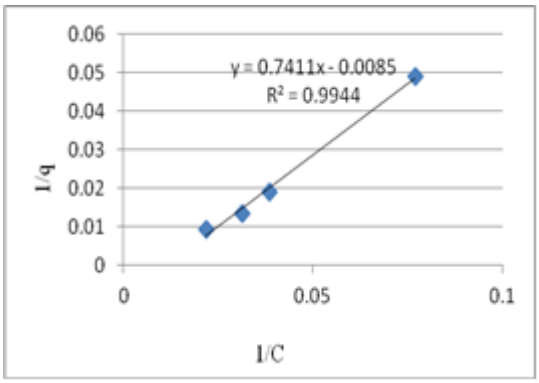
q = ปริมาณของสังกะสีที่ถูกดูดซับ / ปริมาณของสารดูดซับ (มก./กรัม)

C = ความเข้มข้นของสารละลาย , มก./ลิตร

K_A = ค่าคงที่ของการดูดซับ (Lของสารที่ถูกดูดซับ)/มก. ของสารดูดซับ

q_m = ปริมาณของสารที่ถูกดูดซับ / ปริมาณของสารดูดซับ ณ สภาวะสมดุล

นำผลการทดลองที่ได้มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง 1/C กับ 1/q แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่าง 1/q กับ 1/C ปริมาณตัวดูดซับจำนวน 1 กรัม เวลาในการดูดซับ 120 นาที ณ อุณหภูมิ 30 °C

ไอโซเทอร์มการดูดซับสังกะสีของตัวดูดซับที่จุดสมดุล พบว่าไอโซเทอร์มของฟรุนดลิช สามารถอธิบายผลการทดลองการดูดซับสังกะสีได้ดีกว่าไอโซ

เทอร์มของแลงเมียร์เล็กน้อย เนื่องจากมีค่า R^2 ใกล้เคียง 1 มากกว่า โดยจากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้ตัวดูดซับ ปริมาณ 1 กรัม ได้ค่า K_F เท่ากับ 0.670 มก./กรัม ค่า n_F เท่ากับ 1.338 มก./ลิตร และค่า Correlation coefficient (R^2) เท่ากับ 0.995

สำหรับไอโซเทอร์มของแลงเมียร์ ด้วยตัวดูดซับปริมาณ 1 กรัม ได้ค่า K_A เท่ากับ 0.0115 ลิตร/มก. และ ค่า q_m (มก./กรัม) เท่ากับ 117.8 มก./กรัม และค่า Correlation coefficient (R^2) เท่ากับ 0.994 จากผลของศึกษาไอโซ เทอร์ม แสดงให้เห็นได้ว่าการดูดซับสังกะสีบนพื้นผิวของตัวดูดซับส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นแบบการดูดซับ หลายชั้น (Multilayer) หรือที่ผิวไม่สม่ำเสมอ (rough surface)

5. สรุปผลการทดลอง

ผลของเวลาในการดูดซับสังกะสีไอออนต่อความสามารถในการดูดซับสังกะสีไอออนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มเวลาในการสัมผัส และเข้าสู่ภาวะสมดุลที่ 120 นาที

ผลของความเข้มข้นในการดูดซับ ความสามารถในการดูดซับสังกะสีไอออนจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายขึ้น

ผลของปริมาณตัวดูดซับสังกะสีไอออนต่อความสามารถในการดูดซับสังกะสีไอออน เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับ

กลไกการดูดซับเป็นไปตามไอโซเทอร์มของฟรุนดลิช โดยใช้ตัวดูดซับ 1 กรัม โดยค่าคงที่การดูดซับสังกะสี K_F เท่ากับ 0.670 มก./กรัม ค่าคงที่ของไอโซเทอร์มของฟรุนดลิช (n_F) เท่ากับ 1.338 มก./ลิตร และค่า Correlation coefficient (R^2) เท่ากับ 0.9956

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ บริษัท สยาม เอ็นเทรด จำกัด ที่อนุเคราะห์น้ำทิ้งจากล้างชิ้นงานในการชุบโลหะ และบริษัท Berli Jucker Public Co. Ltd. (Thailand) ที่อนุเคราะห์เยื่อกระดาษ

7. เอกสารอ้างอิง

Can C. and Jianlong W. (2010). Removal of Heavy Metal Ions by Waste Biomass of Saccharomyces Cerevisiae, J. Environ Eng. 136(1): 95-10.

Li D., Wang X., Wan D., Duan S., Liu C. Zhang K., and Fang B. (2011). Adsorption of $Cu2^+$ Cations from Aqueous Solution by S-doped TiO_2. Sep. Sci. Techno. 46(2):2539-2548.

Rittmann B. E. (2010). Environmental Biotechnology in Water and Wastewater Treatment. J. Environ. Eng 136 (4): 348-353.

Sampranpiboon P. and Charnkeitkong P. (2010). Equilibrium Isotherm, Thermodynamic and Kinetic Studies of Lead adsorption onto pineapple and paper waste sludges. Inter. J. Energ. Environ. 4(3):88-98.

Tao S., Simon J., W. H. John, and M. Sheila. (2006). Culture of skin cells in 3D rather than 2D improves their ability to survive exposure to cytotoxic agents. J. Biotech. 122 (3): 372-381.

Yujing C., Yong G. Z., H. Yizhong, Q. Yi, and L. Jianzhong. (2005). Exposure to metal mixtures and human health impacts in a contaminated area in Nanning China. Environ. Inter. 31(6): 784-790.