

พฤติกรรม การดูดซับโลหะหนักของเถ้าชานอ้อย

Adsorption Behaviors of Heavy Metals on Bagasse Ash

สุภาภรณ์ ศรีจันทร์ฮอด,¹ นพปฎล เสงี่ยมศักดิ์^{2*}

Supaporn Srichanhod,¹ Noppadol Sangiamsak^{2*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีแนวคิดในการนำเถ้าชานอ้อยซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งมาใช้ในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย โดยทำการศึกษาพฤติกรรม การดูดซับโลหะหนัก 2 ชนิด คือ ทองแดงและสังกะสี ของเถ้าชานอ้อยที่ได้จากโรงงานผลิตน้ำตาลทั้งแบบบดและแบบไม่บด การทดสอบการดูดซับจะใช้วิธีแบบกะ เพื่อหาความสามารถในการดูดซับโลหะหนักของเถ้าชานอ้อย ไอโซเทอมการดูดซับ ผลกระทบของระยะเวลาดูดซับ ค่า pH และความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายที่มีต่อการดูดซับ ตลอดจนการสร้างแบบจำลอง การดูดซับของแลงเมียร์และแบบจำลองการดูดซับของฟรอนด์ลิช ผลการศึกษาพบว่า การดูดซับเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วในช่วง 40 นาทีแรก และเข้าสู่สมดุลภายใน 60 นาที ประสิทธิภาพการดูดซับมีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายเพิ่มขึ้น การดูดซับเกิดขึ้นได้สูงสุดที่ค่า pH ประมาณ 9 เถ้าชานอ้อยแบบบดและแบบไม่บดมีความสามารถในการดูดซับทองแดงและสังกะสีใกล้เคียงกัน คือ เถ้าชานอ้อยแบบบดมีความสามารถดูดซับทองแดงและสังกะสีได้สูงสุดเท่ากับ 8.02 และ 6.56 มิลลิกรัม ต่อกรัม ตามลำดับ ส่วนเถ้าชานอ้อยแบบไม่บดมีความสามารถดูดซับทองแดงและสังกะสีได้สูงสุดเท่ากับ 9.04 และ 5.93 มิลลิกรัม ต่อกรัม ตามลำดับ แบบจำลองของแลงเมียร์และแบบจำลองของฟรอนด์ลิชสามารถอธิบายการดูดซับทองแดงและสังกะสีได้ดี จากการศึกษาถือว่าได้ว่าเถ้าชานอ้อยมีความสามารถดูดซับทองแดงและสังกะสีซึ่งเป็นสารปนเปื้อนในน้ำเสียได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ: เถ้าชานอ้อย โลหะหนัก การดูดซับ

Abstract

This research aims to apply bagasse ash for removing heavy metals from waste water. The adsorption ability of Cu and Zn on bagasse ash collected from a sugar cane mill (both original and crushed) were investigated. The Batch Method was used to determine adsorption ability, adsorption isotherm, effects of contact time, pH, and initial concentration of the solution on the adsorption. The experimental results indicated that the adsorption occurred rapidly in the period of 40 minutes and reached to equilibrium within 60 minutes. Adsorption ability was reduced when the initial concentration of the solution increased. The maximum adsorption occurred when pH was about 9. The original and the crushed bagasse ash showed similar adsorption ability. The maximum amount adsorbed of Cu on the original and the crushed bagasse ash were 9.04 and 8.02 mg/g, respectively. The maximum amount adsorbed of Zn on the original and the crushed bagasse ash were 5.93 and 6.56 mg/g, respectively. Langmuir model and Freundlich model could satisfactorily describe the adsorption of Cu and Zn. It can be concluded that the bagasse ash can adsorb copper and zinc, which are contaminants in the waste water, as well.

Keywords: Bagasse Ash, Heavy Metal, Adsorption

¹ นิสิตปริญญาโท, ² อาจารย์, สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อําเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

¹ Graduate students, ² Lecturer, Civil Engineering, Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham 44150, Thailand.

* Corresponding author: Noppadol Sangiamsak, Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham 44150, Thailand. E-mail:noppadol3922@gmail.com.



บทนำ

โลหะหนัก เป็นสารอันตรายชนิดหนึ่งที่พบได้ในน้ำเสีย ทั้งน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม¹ น้ำเสียจากชุมชน นอกจากนี้ ยังพบโลหะหนักปนเปื้อนในดิน แหล่งน้ำผิวดิน น้ำใต้ดิน หรือแม้กระทั่งในฝุ่นละออง โลหะหนักมีมากมายหลายชนิด เช่น เหล็ก ทองแดง นิกเกิล แคดเมียม สังกะสี ตะกั่วปรอท เป็นต้น มีความคงตัวสูง ย่อยสลายได้ยาก ทำให้เกิดการสะสมในสิ่งแวดล้อมเพิ่มมากขึ้น

ทองแดงและสังกะสีเป็นโลหะหนักที่พบปนเปื้อนได้ทั่วไป ทองแดงพบได้ในอุตสาหกรรมเหมืองแร่ การชุบโลหะ การผลิตโลหะผสมอัลลอยด์ การผลิตถ่ายไฟฉาย เป็นต้น ส่วนมากพบทั้งในรูปไอ และเกลือของทองแดง การได้รับทองแดงเข้าสู่ร่างกายในปริมาณมากเกินไปจะทำให้อ่อนเพลีย เวียนศีรษะ ท้องร่วง น้ำหนักลด เบื่ออาหาร เกิดความผิดปกติของตับ ไต ม้าม กระดูก ระบบน้ำเหลือง ระบบสืบพันธุ์ และการมองเห็น² สังกะสีพบได้ในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมเหมืองแร่ การชุบโลหะ การฟอกย้อม เป็นต้น โดยส่วนใหญ่พบในรูปของ ZnO, ZnS และ ZnSO₄ เมื่อสังกะสีเข้าสู่ร่างกายจะทำให้มีอาการคลื่นไส้ อาเจียน ปวดบวม มีไข้ หนาวสั่น หายใจขัด ปวดเมื่อยกล้ามเนื้อ ร่างกายขาดน้ำ ปวดท้องรุนแรง เมื่อยล้า มีอาการเส้นประสาทเสื่อม การเจริญเติบโตช้า มีอาการซีด และภูมิคุ้มกันในร่างกายทำงานลดลง³

การกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียมียหลายวิธี เช่น วิธีการแยกกรองด้วยไฟฟ้า การตกตะกอน และการใช้จุลินทรีย์ เป็นต้น การดูดซับ เป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถกำจัดโลหะหนักได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีต้นทุนต่ำ วัสดุดูดที่ใช้ในการดูดซับมีมากมายหลายชนิด ซึ่งในปัจจุบันมีแนวโน้มในการนำเอาวัสดุเหลือทิ้ง เช่น วัสดุชีวมวล มาใช้เป็นตัวดูดซับ ถ้าชานอ้อย เป็นวัสดุชีวมวลชนิดหนึ่งที่มีอยู่เป็นจำนวนมาก เนื่องจากประเทศไทยมีการส่งออกน้ำตาลมากเป็นอันดับสองของโลก รองจากประเทศบราซิล โดยในปี พ.ศ. 2550 มีการส่งออกน้ำตาลสูงถึง 4 ล้านตัน⁴ ในการผลิตน้ำตาลนั้น เมื่ออ้อยผ่านกระบวนการหีบอ้อยแล้วจะกลายเป็นชานอ้อย ซึ่งชานอ้อยที่เกิดขึ้นจะถูกนำไปเผาเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าสำหรับใช้ในโรงงานน้ำตาล จากการเผาชานอ้อยจะทำให้ได้ถ้าชานอ้อย ในช่วง พ.ศ. 2550-2551 มีถ้าชานอ้อยเกิดขึ้นในประเทศไทยประมาณ 4.3 แสนตันต่อปี⁵ ในขณะที่การใช้ประโยชน์มีเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับปริมาณที่มีอยู่ ดังนั้น จึงเกิดการสะสมมากขึ้นเรื่อยๆ ก่อให้เกิดปัญหาในการหาพื้นที่รองรับ ตลอดจนปัญหาฝุ่นละออง และการชะล้างถ้าชานอ้อยไปปนเปื้อนตามแหล่งต่างๆ ในเวลาฝนตก

ในอดีตที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบัน มีการศึกษาเกี่ยวกับการนำวัสดุชีวมวลมาใช้เป็นตัวดูดซับเป็นจำนวนมาก เช่น การใช้ถ้าชานอ้อยในการดูดซับแคดเมียมและนิกเกิล⁶ การใช้ชานอ้อยที่ผ่านการปรับปรุงคุณสมบัติเพื่อดูดซับทองแดงแคดเมียม ตะกั่ว⁷ หรือการใช้ถ้าชานอ้อยและถ้าแกลบดูดซับแคดเมียม นิกเกิล และสังกะสี⁸ เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ในประเทศไทย การศึกษาการดูดซับโลหะหนักของถ้าชานอ้อยยังมีอยู่น้อย โดยเฉพาะการดูดซับโลหะหนักบางชนิด เช่น ทองแดงและสังกะสี ดังนั้น งานวิจัยนี้ จึงได้ทำการศึกษาถึงความสามารถดูดซับโลหะหนัก 2 ชนิดที่พบได้ทั่วไปคือ ทองแดงและสังกะสี การศึกษาประกอบด้วยการหาความสามารถในการดูดซับโลหะหนักของถ้าชานอ้อย การหาผลกระทบของปัจจัยต่างๆ ที่มีต่อการดูดซับ ได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลาย ระยะเวลาดูดซับ และค่า pH ตลอดจนการสร้างแบบจำลองในการดูดซับ ทั้งนี้ เพื่อเป็นแนวทางในการลดต้นทุนในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย ตลอดจนเป็นการลดผลกระทบของถ้าชานอ้อยต่อสิ่งแวดล้อม

วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา

วัสดุดูดซับ

วัสดุดูดซับในงานวิจัยนี้ คือถ้าชานอ้อยจากโรงงานน้ำตาลมิตรผลภูเวียง จังหวัดขอนแก่น โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ 1) ถ้าชานอ้อยที่ไม่ผ่านการบด เตรียมได้โดยนำถ้าชานอ้อยมาอบให้แห้งสนิท แล้วร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 16 และ 2) ถ้าชานอ้อยที่ผ่านการบด เตรียมได้โดยนำถ้าชานอ้อยมาอบให้แห้งสนิท แล้วนำไปบดด้วยเครื่องบดแบบตกรกระทบ โดยใช้ลูกเหล็กขนาดน้ำหนักรวม 30 กิโลกรัม เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำไปร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ลักษณะของถ้าชานอ้อยแสดงดัง Figure 1

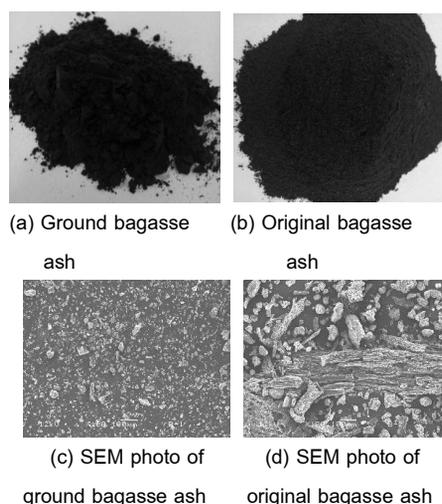


Figure 1 Ground and original bagasse ash

สารละลายโลหะหนัก

โลหะหนักที่ใช้เป็นตัวถูกดูดซับในงานวิจัยนี้มี 2 ชนิด คือ ทองแดง และสังกะสี อยู่ในรูปของสารละลาย สามารถเตรียมได้จากการนำผง Copper (II) Nitrate Hexahydrate ($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) และ Zinc(II) Nitrate Hexahydrate ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) มาละลายในน้ำกลั่นให้ได้ความเข้มข้นตามที่ต้องการ คือ 45, 88, 136, 182, 270, 475, 988 และ 45, 86, 131, 170, 295, 432, 866 มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L) ตามลำดับ ลักษณะของสารละลายทั้งสองชนิดแสดงดัง Figure 2



Figure 2 Copper and Zinc solution

วิธีการศึกษา

การหาความสามารถในการดูดซับทองแดงและสังกะสีของถ้ำชานอ้อย การหาไอโซเทอมการดูดซับ การสร้างแบบจำลองการดูดซับ ตลอดจนการหาผลกระทบของปัจจัยต่างๆ ที่มีต่อการดูดซับ ได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลาย ระยะเวลาดูดซับ และค่า pH จะใช้วิธีการทดสอบแบบกะ (Batch Method) โดยนำถ้ำชานอ้อย 2 กรัม ผสมกับสารละลายโลหะหนัก 50 มิลลิลิตร ลงในขวดพลาสติก นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 130 รอบต่อนาที จนถึงระยะเวลาที่กำหนด นำส่วนผสมออกจากเครื่องเขย่าแล้วกรองถ้ำชานอ้อยออกจากสารละลายโลหะหนักด้วยตัวกรอง (Filter) ขนาด 0.45 ไมโครเมตร จากนั้น นำสารละลายไปเจือจางด้วยกรดไนตริก (HNO_3) เข้มข้นร้อยละ 1 แล้วนำไปวิเคราะห์ความเข้มข้นด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrometer (AAS) ขั้นตอนการทดสอบแบบกะสรุปได้ดัง Figure 3

จากการทดสอบแบบกะ จะสามารถคำนวณหาปริมาณของโลหะหนักที่ถูกดูดซับได้ดังนี้

$$q = \frac{(C_o - C_{eq})V_{sol}}{M_s} \quad (1)$$

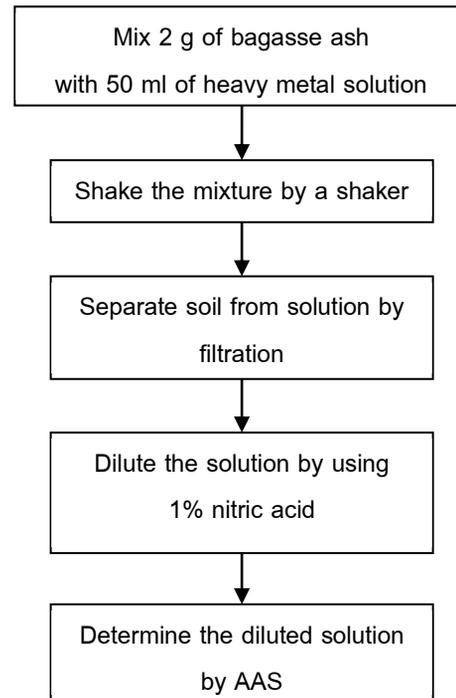


Figure 3 Batch Method procedures

เมื่อ q คือ ปริมาณของโลหะหนักที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักถ้ำชานอ้อยหนึ่งหน่วย (มิลลิกรัม/กรัม) C_o คือความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลาย (มิลลิกรัม/ลิตร) C_{eq} คือความเข้มข้นที่สภาวะสมดุลของสารละลาย (มิลลิกรัม/ลิตร) V_{sol} คือ ปริมาตรของสารละลายที่ใช้ (ลิตร) และ M_s คือ มวลของถ้ำชานอ้อย (กรัม)

เมื่อทำการทดสอบแบบกะโดยใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นหลายๆ ค่า และปล่อยให้การดูดซับเข้าสู่สภาวะสมดุล จะสามารถหาไอโซเทอมการดูดซับ (Adsorption Isotherm) ได้โดยไอโซเทอมการดูดซับเป็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของโลหะหนักที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักถ้ำชานอ้อยหนึ่งหน่วย (q) กับความเข้มข้นของสารละลายที่สภาวะสมดุล (C_{eq})

เมื่อได้ไอโซเทอมการดูดซับแล้ว จะทำการสร้างแบบจำลองการดูดซับของแลงเมียร์ (Langmuir adsorption isotherm) และแบบจำลองการดูดซับของฟรุนด์ลิช (Freundlich adsorption isotherm)

แบบจำลองของแลงเมียร์มีสมมติฐานว่าการดูดซับเกิดขึ้นเพียงชั้นเดียวบนผิวของตัวดูดซับ (Monolayer Adsorption) มีรูปแบบการดังนี้



$$q = \frac{\alpha\beta C_{eq}}{1 + \alpha C_{eq}} \quad (2)$$

เมื่อ α คือ ค่าคงที่การดูดซับของแลงเมียร์ (ลิตรต่อ มิลลิกรัม) และ β คือ ปริมาณการดูดซับโลหะหนักสูงสุดต่อ น้ำหนักของเถ้าชานอ้อยหนึ่งหน่วย (มิลลิกรัมต่อกรัม)

สำหรับแบบจำลองของฟรุนด์ลิชมีรูปสมการดังนี้

$$q = k(C_{eq})^{1/n} \quad (3)$$

เมื่อ K คือค่าคงที่ซึ่งสัมพันธ์กับการดูดซับ มีหน่วย เป็นมิลลิกรัมต่อกรัม) n คือค่าคงที่ซึ่งสัมพันธ์กับพลังงานการ ดูดซับ

ผลการทดลอง

ผลกระทบของระยะเวลาดูดซับ

การหาผลกระทบของระยะเวลาที่มีต่อการดูดซับจะ ทำการทดสอบที่ระยะเวลาต่างๆ ได้แก่ 10, 20, 30, 40, 60 และ 180 นาที โดยใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลาย ทองแดงและสังกะสีเท่ากับ 50 มิลลิกรัม/ลิตร ผลการทดสอบ แสดงดัง Figure 4 และ Figure 5 ซึ่งจะเห็นว่าการดูดซับจะ เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วในช่วง 40-60 นาทีแรก จากนั้น จะ ค่อยๆ ลดลงจนเข้าสู่สภาวะสมดุล ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า ใน ช่วงแรกๆ พื้นที่ผิวของเถ้าชานอ้อยมีเป็นจำนวนมาก จึงดูด ซับโลหะหนักได้อย่างสะดวก รวดเร็ว แต่เมื่อเวลาผ่านไป พื้นที่ ผิวถูกปกคลุมด้วยโลหะหนักมากขึ้น จึงทำให้เกิดการดูดซับ ได้ช้าลง⁹ จะเห็นได้ว่า ความรวดเร็วในการดูดซับทองแดง สังกะสีของเถ้าชานอ้อยแบบบดและไม่บดไม่แตกต่างกัน โดย มีระยะเวลาดูดซับสมดุล (Equilibrium Time) อยู่ที่ประมาณ 1 ชั่วโมง

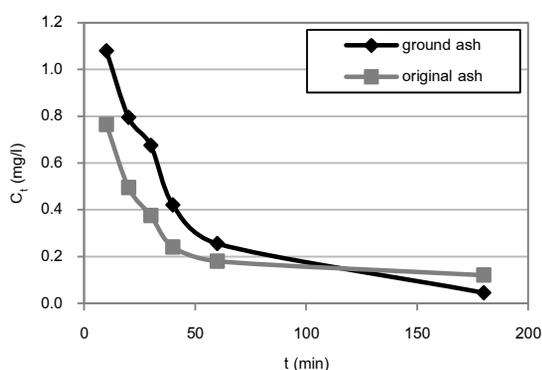


Figure 4 Effect of contact time on Cu adsorption by the bagasse ash

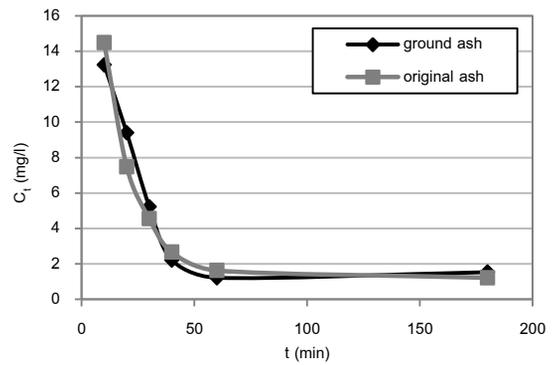


Figure 5 Effect of contact time on Zn adsorption by the bagasse ash

ผลกระทบของความเข้มข้นเริ่มต้น

ในการหาผลกระทบของความเข้มข้นเริ่มต้นของ สารละลาย จะทำการทดสอบโดยใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นของ สารละลายทองแดงและสังกะสี เท่ากับ 45, 88, 136, 182, 270, 475, 988 และ 45, 86, 131, 170, 295, 432, 866 มิลลิกรัม ต่อลิตร ตามลำดับ และปล่อยให้เกิดการดูดซับจนเข้าสู่สภาวะ สมดุล จากนั้น ทำการคำนวณหาร้อยละการดูดซับ (% Ad-sorption) ดังสมการ

$$\text{ร้อยละการดูดซับ} = \frac{C_0 - C_{eq}}{C_0} \times 100 \quad (4)$$

เมื่อ C_0 คือความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลาย C_{eq} คือ ความเข้มข้นของสารละลายที่สภาวะสมดุล

เมื่อทำการเขียนกราฟระหว่างความเข้มข้นเริ่มต้น กับร้อยละการดูดซับ จะได้ดัง Figure 6 และ Figure 7 ซึ่งพบ ว่า ร้อยละการดูดซับซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถดูด ซับมีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ เนื่องจาก ในช่วงความเข้มข้นต่ำๆ พื้นที่ในการดูดซับมีมากเมื่อเทียบกับ ปริมาณของโลหะหนัก ทำให้เถ้าชานอ้อยสามารถดูดซับโลหะ หนักได้เกือบทั้งหมด แต่เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ปริมาณของ โลหะหนักมีมากขึ้นเมื่อเทียบกับพื้นที่ผิว ทำให้โลหะหนักที่ เหลืออยู่ (ไม่ถูกดูดซับ)¹⁰ มีปริมาณมากขึ้น ดังนั้น ความสามารถ ดูดซับจึงมีค่าลดลง

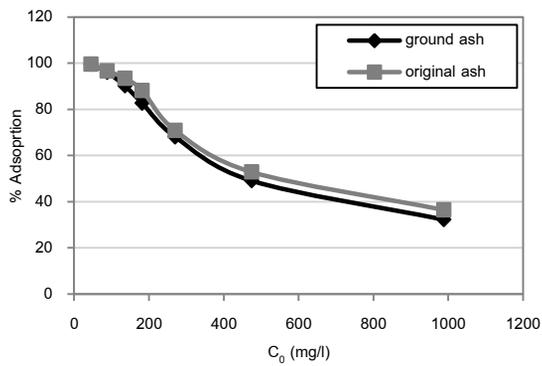


Figure 6 Effect of initial concentration on Cu adsorption by the bagasse ash

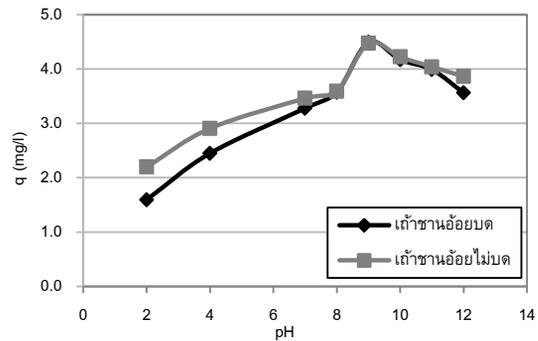


Figure 8 Effect of pH on Cu adsorption by the bagasse ash

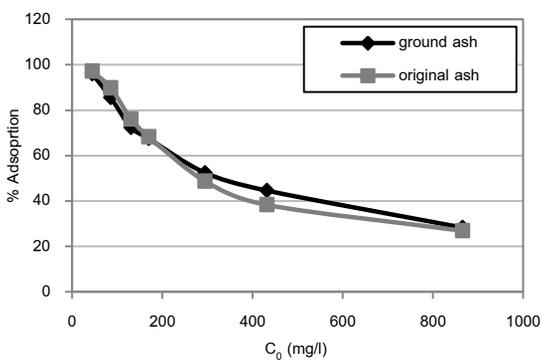


Figure 7 Effect of initial concentration on Zn adsorption by the bagasse ash

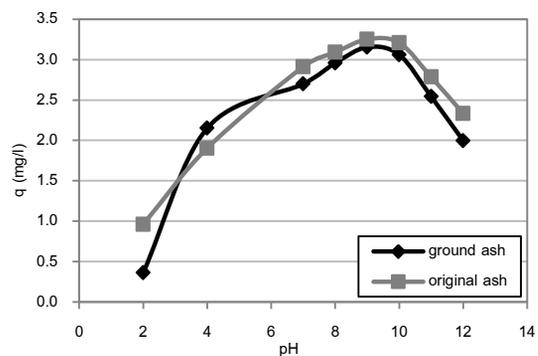


Figure 9 Effect of pH on Zn adsorption by the bagasse ash

ผลกระทบของความเป็นกรด-ด่าง

จากการทดสอบการดูดซับที่ค่า pH เท่ากับ 2, 4, 7, 8, 9, 10, 11 และ 12 พบว่า (Figure 8 และ 9 ประกอบ) ในช่วง pH ต่ำกว่า 9 ปริมาณการดูดซับจะเพิ่มขึ้นตามค่า pH แต่ในช่วง pH สูงกว่า 9 ปริมาณการดูดซับจะลดลงเมื่อ pH เพิ่มขึ้น จะเห็นได้ว่าการดูดซับเกิดขึ้นได้ดีในสภาวะที่เป็นกลางจนถึงสภาพที่เป็นเบสอ่อนๆ โดยเกิดการดูดซับได้สูงที่สุดที่ค่า pH ประมาณ 9 โดยอิทธิพลของค่า pH ที่มีต่อการดูดซับจะเหมือนกันทั้งในทองแดงและสังกะสี ผลที่เกิดขึ้นนี้มีความคล้ายคลึงกับการดูดซับแคดเมียมและนิกเกิลของเถ้าชานอ้อย¹¹ ซึ่งการดูดซับเกิดขึ้นได้ดีที่ค่า pH ประมาณ 7

ไอโซเทอมการดูดซับ

จากการหาไอโซเทอมการดูดซับโดยใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นสารละลายทองแดงและสังกะสี เท่ากับ 45, 88, 136, 182, 270, 475, 988 และ 45, 86, 131, 170, 295, 432, 866 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และปล่อยให้การดูดซับเข้าสู่สภาวะสมดุลที่อุณหภูมิควบคุม 25 องศาเซลเซียส ได้ผลดัง Figure 10 และ 11 ซึ่งพบว่า ไอโซเทอมการดูดซับของทองแดงและสังกะสีเป็นแบบตัวแอล (L-curve Langmuir isotherm) โดยปริมาณการดูดซับ (q) มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นที่สภาวะสมดุล (C_{eq}) เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ สามารถอธิบายได้ว่าการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายจะทำให้เกิดแรงขับ (Driving Force)¹² ให้อนุภาคของโลหะหนักไปติดอยู่ที่ผิวของเถ้าชานอ้อยได้มากขึ้น อย่างไรก็ตาม การเพิ่มขึ้นของปริมาณการดูดซับมีอัตราที่ลดลงเรื่อยๆ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การดูดซับจะเข้าสู่จุดอิ่มเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย

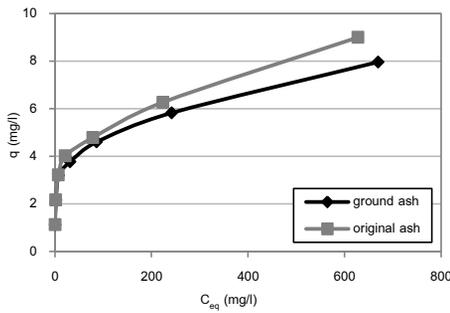


Figure 10 Adsorption isotherms of Cu

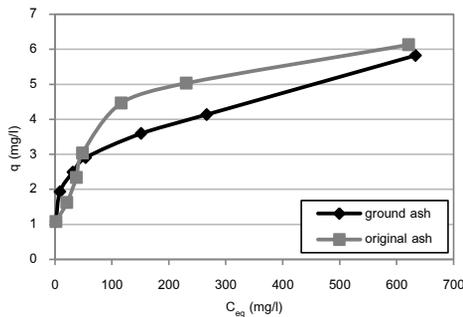


Figure 11 Adsorption isotherms of Zn

จากไอโซเทอมการดูดซับ เมื่อทำการสร้างแบบจำลองการดูดซับของแลงเมียร์และแบบจำลองการดูดซับของฟรุนด์ลิช จะได้พารามิเตอร์ต่างๆ ดังแสดงใน Table 1 ซึ่งค่า β ในแบบจำลองของแลงเมียร์นี้ คือปริมาณการดูดซับโลหะหนักที่เถ้าชานอ้อยสามารถดูดซับได้สูงสุดซึ่งชานอ้อยแบบบดมีความสามารถดูดซับทองแดงและสังกะสีได้สูงสุดเท่ากับ 8.02 และ 6.56 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ส่วนเถ้าชานอ้อยแบบไม่บดมีความสามารถดูดซับทองแดงและสังกะสีได้สูงสุดเท่ากับ 9.04 และ 5.93 มิลลิกรัมต่อกรัม จะเห็นว่า เถ้าชานอ้อยแบบบดกับเถ้าชานอ้อยแบบไม่บด มีความสามารถดูดซับโลหะหนักได้ใกล้เคียงกัน ทั้งนี้ เถ้าชานอ้อยมีความพรุนสูงโดยโพรงของเถ้าชานอ้อยมีลักษณะเป็นโพรงเปิด กล่าวคือ รูพรุนมีความต่อเนื่องมาจนถึงผิวภายนอก ดังนั้น การบดเถ้าชานอ้อยจะไม่ทำขนาดของพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นมากเท่าใดนัก จากการพิจารณาค่า R^2 ในการดูดซับทองแดงและสังกะสี พบว่าทั้งแบบจำลองของฟรุนด์ลิชแบบจำลองของแลงเมียร์มีค่า R^2 สูง ดังนั้น การดูดซับทองแดงและสังกะสีมีความสอดคล้องกับแบบจำลองทั้งสองเป็นอย่างดี

Table 1 Parameters of Langmuir and Freundlich

Bagasse ash	Heavy metal	Parameter of Freundlich			Parameter of Langmuir		
		K	1/n	R^2	β	α	R^2
Ground ash	Cu	1.66	4.17	0.98	8.02	0.03	0.98
	Zn	0.79	3.10	0.94	6.56	0.02	0.99
Original ash	Cu	1.75	4	0.98	9.04	0.03	0.97
	Zn	0.98	3.79	0.99	5.93	0.02	0.97

สรุป

จากการศึกษาความสามารถดูดซับทองแดงและสังกะสีของเถ้าชานอ้อยที่ได้จากโรงงานผลิตน้ำตาล พบว่า การดูดซับเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วในช่วง 40 นาทีแรก และค่อยๆ ซ้ำลงจนกระทั่งเข้าสู่สมดุลภายใน 60 นาที การเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับลดลง การดูดซับเกิดขึ้นได้ดีในช่วงที่สารละลายมีสภาพเป็นกลางจนถึงเบสอ่อนโดยดูดซับได้สูงสุดเมื่อ pH มีค่าประมาณ 9 ความสามารถในการดูดซับทองแดงและสังกะสีของเถ้าชานอ้อยแบบบดและแบบไม่บดมีค่าใกล้เคียงกัน โดย เถ้าชานอ้อยแบบบดมีความสามารถดูดซับทองแดงและสังกะสีได้สูงสุดเท่ากับ 8.02 และ 6.56 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ และเถ้าชานอ้อยแบบไม่บดมีความสามารถดูดซับทองแดงและสังกะสีได้สูงสุดเท่ากับ 9.04 และ 5.93 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ แบบจำลองของแลงเมียร์และแบบจำลองของฟรุนด์ลิชสามารถอธิบายการดูดซับทองแดงและสังกะสีของเถ้าชานอ้อยได้เป็นอย่างดี

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยสำหรับนิสิตระดับบัณฑิตศึกษา (ปริญญาโท) มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

อ้างอิง

- Demirbas A. (2008). Heavy metal adsorption onto agro-based waste materials: A review. *Journal of Hazardous Materials*; 157: 220-229.
- ศศิธร นามโคตร. (2551). การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับสารละลายโลหะหนักด้วยเปลือกถั่วเหลืองดัดแปลง. *วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต วิศวกรรมเคมี*, 5.
- สกุรัตน์ อุษณาวรงค์. สังกะสี (Zinc) กับภาวะความดันโลหิตสูง. *ศูนย์บริการวิชาการ*. 2549 เม.ย – มิ.ย. 14 (2): 24(23-28)



4. กรมโรงงานอุตสาหกรรม คู่มือการกำกับดูแลอุตสาหกรรม
น้ำตาลทราย http://www2.diw.go.th/l_Standard/Web/pane_files/Industry14.asp. 2558.
5. รัฐพล สมนาม และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล. (2554). การใช้
เถ้าขานอ้อยบดละเอียดเพื่อปรับปรุงกำลังอัด การซึมผ่าน
น้ำ และความต้านทานคลอไรด์ของคอนกรีตที่ใช้มวลรวม
หยาบจากการย่อยเศษคอนกรีตเก่า. วารสารวิจัยและ
พัฒนา มจร. 34(4): 369-381.
6. Srivastava V.C.; Mall I.D.; & Mishra I.M. (2006).
Equilibrium modelling of single and binary adsorption
of cadmium and nickel onto bagasse fly ash. Chem-
ical Engineering Journal. 117: 79-91.
7. Leandro V.A.G.; Rossimiriam P.F.; & Laurent F.G.
(2008). Adsorption of Cu(II), Cd(II), and Pb(II) from
aqueous single metal solutions by sugarcane ba-
gasse and mercerized sugarcane bagasse chemi-
cally modified with succinic anhydride. Carbohydrate
Polymer. 74: 922-929.
8. Vimal C.S.; Indra D.M.; & Indra M.M. (2007). Adsorp-
tion thermodynamics and isosteric heat of adsorption
of toxic metal ions onto bagasse fly ash (BFA) and
rice husk ash (RHA). Chemical Engineering Journal.
132: 267-278.
9. Repo E.; Warchol J.K.; Bhatnagar A., & Sillanpaa M.
(2011). Heavy metals adsorption by novel EDTA-
modified chitosan-silica hybrid materials. Journal of
Colloid and Interface Science. 358: 261-267.
10. Noppadol S.; & Pongsakorn P. (2014). Behaviors of
Ni and Zn Adsorption on Different Soils Found in the
Northeastern Thailand. Advanced Materials
Research. 931-932: 681-686.
11. Vinod K.; Gupta, C.K.; Jainb, Imran Alib, M.
Sharmaa,; & V.K. Saini. (2003). Removal of cadmium
and nickel from wastewater using bagasse fly
ash-a sugar industry waste. Water Research. 37:
4038-4044.
12. Jiang M.; Jin X., Lu X.Q.; & Chen Z. (2010). Adsorp-
tion of Pb(II), Cd(II), Ni(II) and Cu(II) onto natural
kaolinite clay. Desalination.252: 33-39.