การทำสารดูดซับจากกระดูกหมู

Preparation of Adsorbent from Pig Bone

รื่นฤดี เบญจางคประเสริฐ

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

ในการศึกษาการทำสารดูดซับจากกระดูกหมูนี้ เตรียมถ่านกระดูกหมูโดยเผาไล่สารระเหยในบรรยากาศ ทำการกระตุ้นที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ด้วยสารละลายซิงก์คลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยใช้สารละลายซิงก์คลอไรด์ต่อกระดูกบดในอัตราส่วนโดยมวล 1:1 1.5:1 และ 2:1 ตามลำดับ เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่จะใช้ในการศึกษาถึงประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยถ่านกระดูก ทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพคือพื้นที่ผิวจำเพาะซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีบีอีที ปริมาตรจำเพาะ และขนาดของโพรงหลังการกระตุ้น พบว่าถ่านกระดูกที่กระตุ้นด้วยสารละลายซิงก์คลอไรด์ต่อกระดูกบดในอัตราส่วน 1:1 ให้ค่าพื้นที่ผิวและปริมาตรจำเพาะของโพรงมากที่สุด และมีประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วสูงที่สุด และได้ใช้อัตราส่วนนี้ในการศึกษาผลของพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีต่อการดูดซับโดยน้ำเสียสังเคราะห์ตะกั่วไนเตรทมีความเข้มข้นเริ่มต้น 50.25 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อปรับเปลี่ยนพีเอชเป็น 3 4 5 6 และ 7 เขย่าด้วยความเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 13 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่ากำจัดสารตะกั่วได้มากที่สุดเมื่อสารละลายมีพีเอช 6 คิดเป็นร้อยละ 87.73 ส่วนการศึกษาโดยใช้สมการไอโซเทอมทำนายประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ พบว่าค่า R^2 ของไอโซเทอมแบบฟรุนดลิชและแบบแลงมัวร์มีค่า 0.9599 และ 0.9276 ตามลำดับ ดังนั้นทั้งสองไอโซเทอมใช้ทำนายกลไกการดูดซับตะกั่วได้ดี แต่ไอโซเทอมแบบฟรุนดลิชสอดคล้องกับผลการทดลองมากกว่าไอโซเทอมแบบแลงมัวร์

Abstract

In preparation of adsorbent from pig bone, the volatile matter in the pig bone was volatilized in open flame. Then, the bone char was activated by zinc chloride solution with concentration of 50 % by weight. The ratios of the solution to bone char were studied at 1:1, 1.5:1, and 2:1, (w/w). The activation was done at 400 degree celcius in an oxygen-depleted atmosphere in the muffle. The specific surface area, specific volume, and pore size of bone char were analyzed by BET method. These results showed that zinc chloride solution to bone char ratio of 1:1 (w/w) gave the highest surface area. Therefore, it was the best ratio to prepare the bone char for adsorption study. In batch adsorption study, 50.25 mg/l of lead nitrate solution was used as the synthetic wastewater. The effect of pH was also studied at pH 3, 4, 5, 6 and 7 with shaking at 150

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

rpm for 13 hours at 25 degree celcius. It was found that the maximum removal efficiency of lead was at 87.73 % (w/w) using zinc chloride solution at pH 6. For studying of adsorption isotherm, the R^2 values from Freundlich and Langmuir isotherms were very close at 0.9599 and 0.9276, respectively. Therefore, it was concluded that both isotherms can well predict the adsorption mechanism in this case.

Keywords : Adsorbent, Bone char.

1. บทนำ

ถ่านกระดูกมีคุณสมบัติที่สามารถกำจัดสารที่โมเลกุลมีประจุบวกประเภทอิออนอนินทรีย์ (Inorganic ion) ได้หลายชนิด ด้วยแรงทางประจุบวกซึ่งมีความแข็งแรงมากกว่าแรงยึดเหนี่ยวบนผิวคาร์บอน [1]

Al-Asheh และคณะ [2] ได้ศึกษาการดูดซับทองแดงและนิเกิลในสารละลายด้วยถ่านกระดูก พบว่าความเข้มข้นเริ่มต้นและพีเอชของสารละลายเป็นปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการดูดซับ และข้อมูลที่ได้สามารถเข้าได้ดีกับโมเดลไอโซเทอมของฟรุนดลิช จากการวิจัยของ Choy และคณะ [3] เกี่ยวกับการดูดซับอิออนโลหะแคดเมียม ทองแดง และสังกะสีด้วยถ่านกระดูก โดยมีตัวแปรคือความเข้มข้นของสารละลายและปริมาณถ่านกระดูก ซึ่งอธิบายการดูดซับได้ด้วยโมเดลการแพร่ของ Crank นอกจากนี้ Wilson และคณะ [4] ได้ศึกษาถึงการดูดซับโลหะทองแดงและสังกะสี ซึ่งปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียด้วยถ่านกระดูก ข้อมูลการดูดซับสามารถอธิบายได้ด้วยไอโซเทอมของแลงเมียร์

Ayllon และคณะ [5] ศึกษาถึงอิทธิพลของอุณหภูมิสุดท้ายและอัตราการให้ความร้อนที่มีต่อการไพโรไลซิสเนื้อและกระดูกสัตว์ในช่วงอุณหภูมิ 300-900 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 2-14 องศาเซลเซียสต่อนาที พบว่าอุณหภูมิสุดท้ายเท่านั้นที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ถ่าน ทาร์ และก๊าซ

Kim และคณะ [6] ได้ใช้ถ่านจากกระดูกหมูเหลือทิ้งเพื่อดูดซับอิออนของโลหะทองแดงออกจากสารละลายที่เป็นน้ำ โดยตัวแปรที่ศึกษาคืออุณหภูมิในการเตรียมถ่านกระดูก พีเอชเริ่มต้นของสารละลายและเวลาที่ใช้ในการดูดซับ ไอโซเทอมที่อธิบายผลการทดลองได้ดีคือไอโซเทอมของฟรุนดลิช

ตะกั่วเป็นสารที่ใช้มากในอุตสาหกรรมหลายชนิด เช่น โรงงานแบตเตอรี ในสารเติมแต่งน้ำมันเชื้อเพลิง ตะกั่วจะออกมาสู่สิ่งแวดล้อมในรูปของไอและออกมากับน้ำเสีย ซึ่งตะกั่วเป็นโลหะหนักที่มีอันตรายต่อมนุษย์สามารถเข้าสู่ร่างกายได้ทั้งจากการรับประทานและจากการหายใจเอาฝุ่นและควันเข้าไป หากรับเข้าไปเป็นเวลานานตะกั่วจะทำลายทั้งสมองและไต [7]

ในบทวิจัยนี้ได้เสนอการทำสารดูดซับจากกระดูกหมู โดยศึกษาถึงความ สามารถของถ่านกระดูกที่เตรียมขึ้นในการดูดซับอิออน ของตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์ ปัจจัยที่เป็นตัวแปรในการศึกษา คือ อัตราส่วนของสารกระตุ้นต่อกระดูก พีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ ปริมาณของถ่านกระดูก และไอโซเทอมการดูดซับที่เข้าได้กับข้อมูลการทดลอง

2. ทฤษฎี

ไอโซเทอมการดูดซับ (Adsorption Isotherm) [8] เป็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารที่ถูกดูดซับที่สมดุลกับความเข้มข้นของสารละลายที่สมดุล

2.1 ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิช (Freundlich Adsorption Isotherm) มีรูปแบบสมการ คือ

$$\frac{x}{m} = K_f . C_e^{\frac{1}{n}} \quad (1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ $\frac{x}{m}$ คือ ปริมาณโดยน้ำหนักของสารที่ถูกดูดซับต่อสารดูดซับ

C_e คือ ความเข้มข้นของสารถูกดูดซับในสารละลายที่สมดุล

K_f, n คือ ค่าคงที่เอ็มไพริกัล หรือค่าคงที่จากการทดลอง

ค่าคงที่ในฟรุนดลิชไอโซเทอมสามารถหาได้โดยการกำหนดจุดบนกราฟระหว่างค่า $\log\left(\frac{x}{m}\right)$ กับค่า $\log C_e$ ที่ $C_e = 1$ จะได้ค่า K_f และค่า $\frac{1}{n}$ เท่ากับค่าความชันของเส้นกราฟ สามารถเขียนสมการใหม่ที่ใช้หาค่าคงที่จากการทดลองได้เป็น

$$\log\left(\frac{x}{m}\right) = \log K_f + \left(\frac{1}{n}\right)\log C_e \qquad (2)$$

2.2 ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์ (Langmuir Adsorption Isotherm) มีรูปแบบสมการ คือ

$$\frac{x}{m} = \frac{abC_e}{1+bC_e} \qquad (3)$$

เมื่อ $\frac{x}{m}$ คือ ปริมาณโดยน้ำหนักของสารที่ถูกดูดซับต่อสารดูดซับ

a, b คือ ค่าคงที่เอ็มไพริกัล

C_e คือ ความเข้มข้นของสารถูกดูดซับในสารละลายที่สมดุล

ค่าคงที่ในแลงมัวร์ไอโซเทอม สามารถหาได้โดยการกำหนดจุดบนกราฟระหว่าง $\frac{C_e}{(x/m)}$ กับค่า C_e หาค่า a ได้จากค่าความชันของเส้นกราฟ ซึ่งมีค่าเท่ากับ $\frac{1}{a}$ และหาค่า b ได้จากค่าของจุดตัดแกน Y ซึ่งมีค่าเท่ากับ $\frac{1}{ab}$ สามารถเขียนสมการใหม่เป็น

$$\frac{C_e}{(x/m)} = \frac{1}{ab} + \frac{1}{a}.C_e \qquad (4)$$

3. วิธีทดลอง

3.1 การศึกษาอัตราส่วนของถ่านกระดูกต่อสารละลายซิงก์คลอไรด์

เผากระดูกนิ่งที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อไล่สารที่ระเหยได้และเพื่อบดง่ายขึ้น จากนั้นบดและคัดให้มีขนาดระหว่างเมช 60-100 U.S.sieve นำไปแช่ในสารละลายซิงก์คลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ใช้อัตราส่วนของสารละลายต่อกระดูกบดเป็น 1:1 1.5:1 และ 2:1 ตามลำดับ แล้วอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสจนแห้ง ใส่ในครูซิเบิลเพื่อเผาในเตาเผาอับอากาศที่มีอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเตา นำออกมาล้างด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่งน้ำที่ล้างได้เป็นกลาง อบให้แห้งอีกครั้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เก็บถ่านกระดูกไว้ในโถดูดความชื้น แล้วบดให้มีขนาดเล็กกว่า 45 ไมโครเมตร หรือเมช 325 เพื่อนำไปศึกษาลักษณะทางกายภาพและโครงสร้าง โดยวิเคราะห์ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะบีอีที ปริมาตรจำเพาะของโพรง และขนาดของโพรง เพื่อเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมจากการเปรียบเทียบข้อมูล

3.2 การหาเวลาการดูดซับที่เหมาะสม

เติมถ่านกระดูกที่เตรียมได้ 0.5 กรัมลงในน้ำเสียสังเคราะห์เลดไนเตรท($Pb(NO_3)_2$) ความเข้มข้น 50.25 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 250 มิลลิลิตร ปรับพีเอชให้เป็น 6 ในขวดรูปชมพู่ ใช้จุกยางปิดขวดให้แน่นก่อนนำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จากนั้นเก็บสารตัวอย่าง 10 ลูกบาศก์เซนติเมตรที่เวลาต่าง ๆ จนถึง 13 ชั่วโมง นำไปกรองผ่านกระดาษกรอง แล้ววิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วที่เหลือในสารละลายด้วยวิธีการไทเทรตกับสารละลายอีดีทีเอเกิดเป็นสารเชิงซ้อน โดยเติมสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 10 จำนวน 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร หยดสารละลายอินดิเคเตอร์เอริโอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครมแบลคที 2 ถึง 3 หยด เขย่าสารละลายให้เข้ากัน นำไปไทเทรตสารละลายที่ได้กับสารละลายมาตรฐานอีดีทีเอเข้มข้น 0.01 M ที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนเพื่อหาจุดยุติ ทำการทดลองซ้ำเพื่อหาค่าเฉลี่ย สมการการเกิดสารเชิงซ้อนระหว่างอิออนของตะกั่วกับอีดีทีเอ คือ

$$Pb^{+2} + H_2Y^{-2} \text{ -----> } PbY^{-2} + 2H^{+}$$

3.3 การหาพีเอชที่เหมาะสม

เติมถ่านกระดูกที่ได้จากสภาวะการเตรียมที่เหมาะสมใน ขั้นที่ 3.1 ใส่ลงในน้ำเสียสังเคราะห์ 5 ชุดที่มีพีเอช 3 4 5 6 และ 7 ตามลำดับ ใช้เวลาที่เหมาะสมซึ่งได้จากการทดลองขั้นที่ 3.2 แล้วทำซ้ำตามวิธีการในขั้นที่ 3.2 เพื่อเลือกพีเอชจากชุดที่ตะกั่วถูกดูดซับมากที่สุดมาใช้ในการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับต่อไป

3.4 การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับในการกำจัดตะกั่ว

ชั่งถ่านกระดูกที่สภาวะการเตรียมที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองขั้นที่ 3.1 ให้แต่ละชุดมีถ่านกระดูก 0.3 0.4 0.5 0.6 และ 0.7 กรัมต่อลิตรน้ำเสียสังเคราะห์ แล้วทำตามขั้นที่ 3.2 โดยใช้เวลาที่เหมาะสมซึ่งได้จากการทดลองขั้นที่ 3.2 อุณหภูมิคงที่ 25 องศาเซลเซียส ปรับพีเอชที่เหมาะสมตามที่ได้จากการทดลอง 3.3

4. ผลการทดลองและอภิปราย

4.1 การศึกษาอัตราส่วนของถ่านกระดูกต่อสารละลายซิงก์คลอไรด์

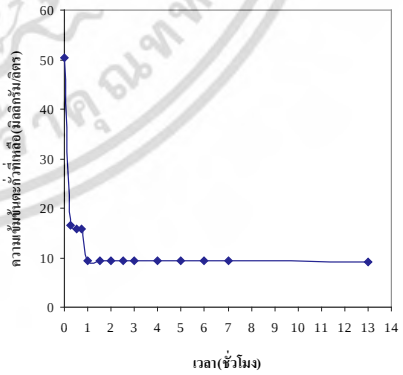
จากการศึกษาในขั้นที่ 3.1 เมื่อนำถ่านกระดูกจาก 3 สภาวะข้างต้นไปวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะด้วยวิธีบีอีที ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 1 พบว่าอัตราส่วนของซิงก์คลอไรด์ต่อกระดูกบด 1:1 ให้พื้นที่ผิวจำเพาะมากที่สุด เมื่อสัดส่วนซิงก์คลอไรด์ต่อกระดูกบดมากขึ้นทำให้พื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรโพรงลดลง ซึ่งทั้งสองค่านี้มีความสำคัญต่อกลไกการกำจัดสารถูกดูดซับ เมื่อใช้อุณหภูมิในการเผา 400 องศาเซลเซียส ซิงก์คลอไรด์ซึ่งหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 275 องศาเซลเซียส จะแทรกไปตามรูพรุนหรือช่องว่างที่เกิดขึ้น แต่ซิงก์คลอไรด์เป็นเกลือที่มีจุดเดือด 756 องศาเซลเซียส จึงมีความคงทนต่อการสลายตัวสูง ดังนั้นปริมาณซิงก์คลอไรด์ที่มากเกินไปอาจทำให้สิ่งเจือปนในกระดูกไม่สามารถที่จะหลุดไปได้อย่างสะดวก จึงติดค้างอยู่ในรูพรุน และเมื่ออัตราส่วนของซิงก์คลอไรด์มากขึ้น แม้สัดส่วนขนาดโพรงจะมีแนวโน้มลดลง แต่ก็ยังมีขนาดใหญ่มากเมื่อเทียบกับขนาดอิออนของซิงก์

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะบีอีที ปริมาตรจำเพาะของโพรง และขนาดโพรง ที่สภาวะการเตรียมสัดส่วนของซิงก์คลอไรด์ต่อกระดูกบดที่ต่างกัน

ตัวอย่าง	ซิงก์คลอไรด์: กระดูกบด	พื้นที่ผิวจำเพาะ (BET) (m^2/g)	ปริมาตรจำเพาะของโพรง (cm^3/g)	ขนาดของโพรง(A°)
1	1 : 1	57.49	0.03995	29.44
2	1.5 : 1	49.67	0.03409	29.07
3	2 : 1	43.60	0.03478	26.21

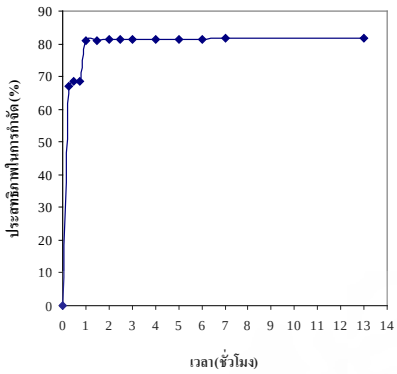
4.2 การศึกษาพีเอชที่เหมาะสม

จากการศึกษาในขั้นที่ 3.3 พบว่าถ่านกระดูกมีประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วสูงมากที่พีเอช 6 ความเข้มข้นตะกั่วลดลงจาก 50.25 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือเพียง 15.87 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละในการกำจัดสูงถึง 68.42 ภายในเวลาเพียง 45 นาทีแรก และกำจัดได้ร้อยละ 81.64 ภายในเวลา 1 ชั่วโมง ดังผลการทดลองในรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 ตามลำดับ



รูปที่ 4.1 ความเข้มข้นของตะกั่วที่เหลือในน้ำเสียสังเคราะห์(ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ 50.25 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 6 ปริมาณถ่านกระดูก 0.6 กรัมต่อลิตรน้ำเสียสังเคราะห์)

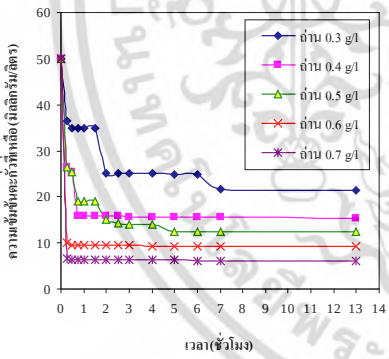
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์(ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ 50.25 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 6 ปริมาณถ่านกระดูก 0.6 กรัมต่อลิตรน้ำเสียสังเคราะห์)

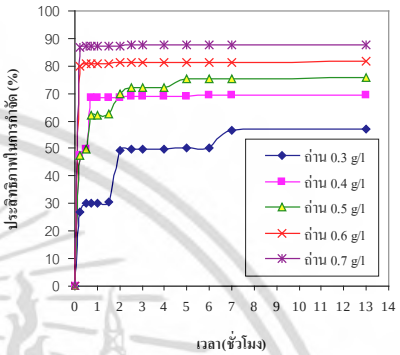
4.3 การหาสมการไอโซเทอมสำหรับการดูดซับตะกั่ว

จากการศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับ ข้อมูลความเข้มข้นตะกั่วที่เหลือในสารละลายหลังการดูดซับ ณ เวลาต่าง ๆ เมื่อใช้ปริมาณถ่านต่างกันแสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ความเข้มข้นตะกั่วที่เหลือในน้ำเสียสังเคราะห์จากการกำจัดด้วยถ่านกระดูกปริมาณที่ต่างกัน

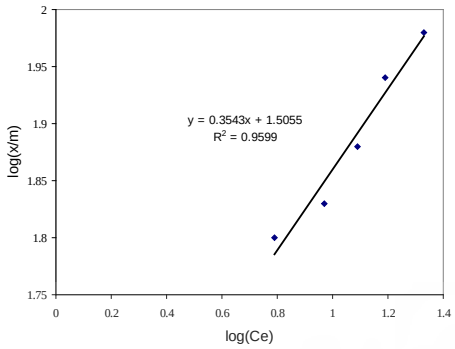
ระบบที่ศึกษานี้เข้าสู่สมดุลเร็วที่สุดเมื่อใช้ถ่าน 0.7 กรัมต่อลิตรน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้เวลา 45 นาที เมื่อใช้ถ่าน 0.6 0.5 0.4 และ 0.3 กรัมต่อลิตรน้ำเสียสังเคราะห์ ระบบเข้าสู่สมดุลภายใน 1 2 3 และ 7 ชั่วโมง ตามลำดับ จากรูปที่ 4.4 พบว่าร้อยละการกำจัดจะเพิ่มขึ้นตามเวลา และค่าร้อยละในการกำจัดตะกั่วทั้งหมดที่สมดุลเมื่อใช้ถ่าน 0.3 0.4 0.5 0.6 และ 0.7 กรัมต่อลิตรน้ำเสียสังเคราะห์ มีค่า 56.93 69.48 75.62 81.54 และ 87.73 ตามลำดับ นั่นคือระบบเข้าสู่สมดุลเร็วขึ้นและร้อยละการกำจัดเพิ่มตามปริมาณถ่านซึ่งเป็นสารดูดซับที่เพิ่มขึ้น



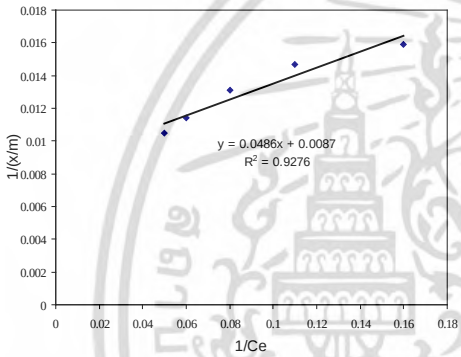
รูปที่ 4.4 ร้อยละการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้ถ่านกระดูกปริมาณที่ต่างกัน

เมื่อพิจารณาผลการทดลองโดยอธิบายด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ คือไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิชและแบบแลงมัวร์ของถ่านกระดูกที่เตรียมจากซิงก์คลอไรด์ต่อกระดูกบด ในอัตราส่วน 1:1 ปริมาณ 0.3 0.4 0.5 0.6 และ 0.7 กรัมต่อลิตรน้ำเสียสังเคราะห์ พีเอช 6 และความเข้มข้นตะกั่วเริ่มต้น 50.25 มิลลิกรัมต่อลิตร อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ จากรูปจะเห็นได้ว่าค่า R^2 ของสมการไอโซเทอมแบบฟรุนดลิชและแบบแลงมัวร์มีค่าเท่ากับ 0.9599 และ 0.9276 ตามลำดับ โดยสมการไอโซเทอมแบบฟรุนดลิช คือ $\log(x/m) = 0.3543\log C_e + 1.5055$ และสมการไอโซเทอมแบบแลงมัวร์ คือ $1/(x/m) = 0.0486(1/C_e) + 0.0087$ จากผลการวิเคราะห์ค่า R^2 ของสมการไอโซเทอม สรุปได้ว่าทั้งสองไอโซเทอมใช้ทำนายการดูดซับตะกั่วได้ดี แต่ไอโซเทอมแบบฟรุนดลิชสอดคล้องกับผลการทดลองมากกว่าไอโซเทอมแบบแลงมัวร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิช



รูปที่ 4.6 ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์

5. วิเคราะห์และสรุปผล

จากการกระตุ้นถ่านกระดูกด้วยซิงก์คลอไรด์ในอัตราส่วน 1:1 1.5:1 และ 2:1 ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าอัตราส่วน 1:1 เหมาะสมในการเตรียมถ่านกระดูก ส่วนในการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยถ่านกระดูก พบว่าสารละลายมีพีเอช 6 สามารถกำจัดตะกั่วได้คิดเป็นร้อยละ 87.73 ภายในเวลา 45 นาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิชมีความเหมาะสมมากกว่าไอโซเทอมแบบแลงมัวร์ในการทำนายกลไกการกำจัดตะกั่ว

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณในความช่วยเหลือของ คุณจิตรลดา เลิศกิตติกุล และคุณฤาชุตา รัศมีโชติ

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Ebonex Coporation, "Bone char", [Online] Available : http://www.ebonox.com/bapp.htm#water.

[2] S. Al-Asheh, F. Banat and F. Mohai, "Sorption of copper and nickel by spent animal bones", **Chemosphere**, vol. 39, no. 12, pp. 2087-2096, Nov. 1999.

[3] K. K. H. Choy and G. Mckay, "Sorption of metal ions from aqueous solution using bone char", **Environment International**, vol. 31, pp. 845-854, 2005.

[4] J. A. Wilson, I.. D. Pulford and S. Thomas, "Sorption of CU and Zn by bone charcoal", **Environmental Geochemistry and Health**, vol. 25, no. 1, pp. 51-56, March 2003.

[5] M. Ayllon, M. Aznar, J. L. Sanchez, G. Gea and J. Arauzo, "Influence of temperature and heating rate on the fixed bed pyrolysis of meat and bone meal", **Chemical Engineering Journal**, vol. 121, issues 2-3, pp. 85-96, Aug. 2006.

[6] E. J. Kim, J. H. Park, J. S. Kim, H. C. Yu, B. S. Lee, M. H. Kawk, S. H. Woo, and S. C. Park, "Sorption of copper by spent bone", http://depri.donga.ac.kr.

[7] G. Tchnobanoglous and F. L. Burton, **Wastewater Engineering : Treatment and Reuse,** 4th ed., McGraw-Hill, 2003.

[8] G. Tchnobanoglous and F. L. Burton, **Wastewater Engineering : Treatment, Disposal and Reuse,** 3rd ed., McGraw-Hill, 1991.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้