

**การปรับปรุงสมบัติของตัวดูดซับ
โลหะหนักด้วยวัสดุในท้องถิ่น**

Improvement Properties
of Adsorbent Heavy Metals with
the Local Materials

- ดร.กิตติชัย ไสพันนา
- ธนากร อุทัยดา



การปรับปรุงสมบัติของตัวดูดซับโลหะหนัก ด้วยวัสดุในท้องถิ่น

Improvement Properties of Adsorbent Heavy Metals with the Local Materials

• ดร.กิตติชัย โสพนันนา¹

• ธนากร อุทัยดา²

บทคัดย่อ

การศึกษาประสิทธิภาพของตัวดูดซับจากขี้เลื่อยไม้จามจุรี กะลามะพร้าว และขังข้าวโพด ในการกำจัดโลหะหนักเหล็กและตะกั่ว ทดลองโดยนำวัสดุทั้งสามชนิดมากระตุ้นด้วยโซเดียมคลอไรด์ แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 400-900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง บดและคัดขนาดอนุภาค 0.840-0.500 มิลลิเมตร (20-40 เมช) จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด(SEM) เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟกชัน(XRD) ไอโอตินัมเบอร์ ไอโซเทอมการดูดติดผิวและประสิทธิภาพการดูดซับ จากผลการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เหมาะสมในการเตรียมตัวดูดซับมากที่สุด เนื่องจากให้ค่าไอโอตินัมเบอร์ของขี้เลื่อยไม้จามจุรี กะลามะพร้าว และ ขังข้าวโพดสูงสุดเท่ากับ 1236.46, 921.15 และ 932.75 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งมีความสอดคล้องกับผล SEM ส่วนผล XRD แสดงโครงสร้างของตัวดูดซับเป็นคาร์บอนอสัณฐาน สำหรับไอโซเทอมของการดูดติดผิวมีความสอดคล้องกับแบบฟรุนดลิช จากการทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับ พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับเหล็กของขี้เลื่อยไม้จามจุรี กะลามะพร้าว และขังข้าวโพดเท่ากับ 99.63, 99.82 และ 99.77 ตามลำดับ ประสิทธิภาพของการดูดซับตะกั่วของขี้เลื่อยไม้จามจุรี กะลามะพร้าวและขังข้าวโพด มีประสิทธิภาพในการดูดซับคิดเป็นร้อยละ 99.07, 98.54 และ 99.19 ตามลำดับ นอกจากนี้ตัวดูดซับแบบผสมยังแสดงประสิทธิภาพที่ดีในการดูดซับเหล็กและตะกั่วอีกด้วย

Abstract

The adsorbent efficiency from rain tree wood sawdust, corn cob and coconut shell were studied removal of heavy metals lead and iron. The materials were activated with sodium chloride at a temperature range of 400- 900 oC for 2 hours. They were ground and separated a size range 0.840 - 0.500 mm (20-40 mesh). And then, the adsorbents were characterized by

¹ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

² โรงเรียนธาดุนารายณ์วิทยา



SEM, XRD, Iodine number, adsorption isotherm and the efficiency of adsorption. It was found that the appropriate temperature for preparation adsorbent at 800 oC. Because of the maximum iodine number of rain tree wood sawdust, coconut shell and corn cobs were 1,236.46, 921.15 and 932.75 mg/g, respectively. SEM found that the corresponding with value of iodine number. XRD patterns shown amorphous carbon. The adsorption isotherms had the corresponding with the Freundlich. The efficiency absorption of iron from rain tree wood sawdust, coconut shell and corn cobs were 99.63, 99.82 and 99.77 percentages, respectively. The efficiency absorption of lead from rain tree wood sawdust, coconut shell and corn cobs were 99.07, 98.54 and 99.19 percentages, respectively. Besides, the mixture adsorbents showed fine efficiency absorption of iron and lead, as well.

บทนำ

น้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างยิ่งต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์และสิ่งมีชีวิต ปัจจุบันน้ำในธรรมชาติมีสิ่งเจือปนอยู่หลายชนิด สิ่งเจือปนเหล่านี้ส่งผลต่อคุณภาพของน้ำ ผลกระทบจากการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ ความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ทำให้มีการปล่อยของเสียลงสู่แหล่งน้ำ หนึ่งในผลกระทบนั้นคือการปนเปื้อนของโลหะหนักในแหล่งน้ำซึ่งเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต โลหะหนักเป็นสารที่คงตัวไม่สลายตัวในกระบวนการทางธรรมชาติ จึงมีบางส่วนตกตะกอนสะสมอยู่ในดิน ในน้ำ รวมถึงการสะสมอยู่ในสัตว์น้ำ ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและมนุษย์โดยผ่านทางกระบวนการบริโภคที่มีสารเหล่านี้ปนเปื้อน โลหะหนักที่ตรวจพบโดยส่วนใหญ่ ได้แก่ปรอท (Mercury-Hg) เหล็ก (Iron-Fe) ตะกั่ว (Lead-Pb) และแคดเมียม (Cadmium-Cd) เป็นต้น

ในปัจจุบันกระบวนการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากโรงงานอุตสาหกรรม มีหลากหลายวิธี เช่น การตกตะกอนทางเคมี กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน ตลอดจนการใช้เทคโนโลยีขั้นสูงในการจัดการ วิธีเหล่านี้สามารถกำจัดโลหะหนักได้ดี แต่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายอย่างมาก ดังนั้น หากสามารถนำวัสดุเหลือใช้ที่มีอยู่ในท้องถิ่นที่มีสมบัติในการดูดซับโลหะหนักได้ เช่น กะลามะพร้าว ฟักตบขวา เปลือกไม้ ขี้เลื่อยแกลบ ชานอ้อย ชังข้าวโพด จะทำให้สามารถลดค่าใช้จ่าย และยังเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมอีกด้วย ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาในประเด็นเหล่านี้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

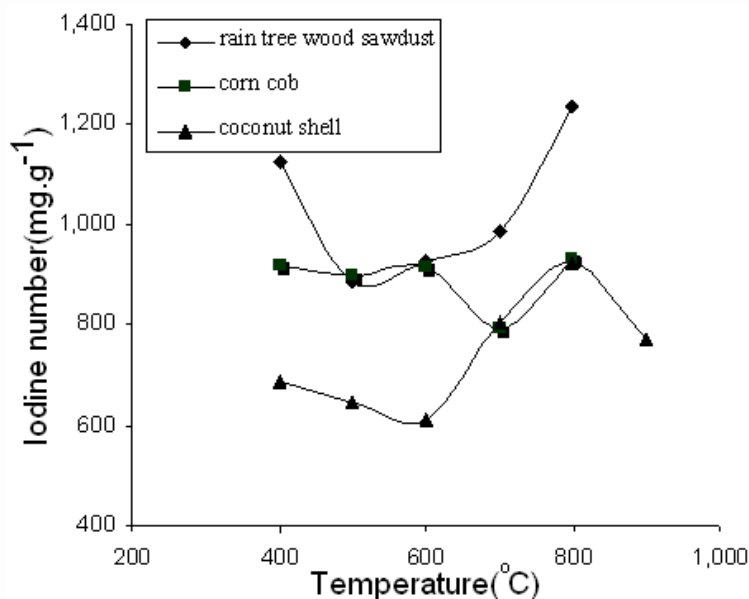
1. เพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการเตรียมตัวดูดซับ
2. เพื่อศึกษาลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคและเคมีของตัวดูดซับ
3. เพื่อศึกษาความสามารถในการดูดติดผิว
4. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของตัวดูดซับและตัวดูดซับผสม

วิธีดำเนินการวิจัย

นำขี้เลื่อยไม้จามจุรี กะลามะพร้าว และซังข้าวโพด มาล้าง ด้วยน้ำสะอาดหลาย ๆ ครั้ง เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกที่ติดอยู่ที่ผิวของวัตถุดิบ และนำไปตากแดดให้แห้ง นำวัตถุดิบที่แห้งแล้วมาบดให้มีขนาดเล็กพอสมควร จากนั้นนำไปแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 24 ชั่วโมง กรองด้วยตะแกรง แล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำวัสดุที่ได้ไปเผาที่อุณหภูมิ 400-900 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นภายในเตาเผา หลังจากนั้นนำตัวดูดซับที่ได้ (ถ่านกัมมันต์) มาล้างด้วยน้ำเดือดหลาย ๆ ครั้ง และแช่ไว้ 1 คืน โดยดูจากค่าพีเอชของน้ำล้างตัวดูดซับ ซึ่งจะมีค่าคงที่จากการวัดในน้ำล้างหลาย ๆ ครั้ง นำตัวดูดซับที่ได้มาบดและคัดขนาดให้มีขนาดระหว่าง 0.841-0.500 มิลลิเมตร ด้วยตะแกรงเบอร์ 20 และ 35 เมช แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เสร็จแล้วเก็บไว้ในโถป้องกันความชื้น (Desicator) เพื่อรอการวิเคราะห์หาค่าไอโอดีนนัมเบอร์ ตามวิธีการของ American society for testing and material ถ่ายภาพด้วย SEM วิเคราะห์โครงสร้างด้วย XRD ทดสอบความสามารถในการดูดติดผิวและทดสอบประสิทธิภาพของตัวดูดซับแบบคอลัมน์

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

ค่าไอโอดีนนัมเบอร์

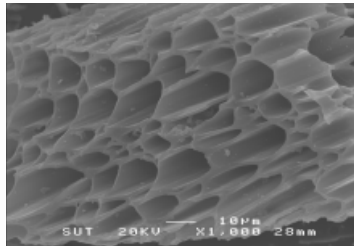


ภาพที่ 1 แสดงค่าไอโอดีนนัมเบอร์

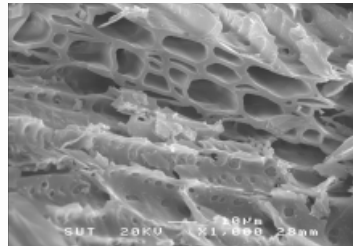


จากภาพที่ 1 ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส มีค่าไอโอดีนน้ำหนักเบอร์ดั้งเดิม โดยที่ค่าไอโอดีนของตัวดูดซับจากซีลีเนียมไม้น้ำจามจุรี ชั่งข้าวโพด และกะลามะพร้าว มีค่า 1,236.46, 932.75 และ 921.15 มิลลิกรัมต่อกกรัมตามลำดับ จึงทำให้ได้สถานะที่เหมาะสมในการเตรียมตัวดูดซับอยู่ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ส่วนสาเหตุที่ตัวดูดซับจากซีลีเนียมไม้น้ำจามจุรีมีค่าไอโอดีนน้ำหนักเบอร์ดั้งเดิมสูงกว่าตัวดูดซับชนิดอื่น เนื่องมาจากวัสดุเป็นซีลีเนียมของไม้เนื้ออ่อน เมื่อกระตุ้นด้วยโซเดียมคลอไรด์น่าจะสามารถแทรกเข้าไปยังพื้นผิวของวัสดุได้มากกว่าเมื่อเผาที่อุณหภูมิสูงจึงทำให้มีความพรุนมากกว่าตัวดูดซับที่เตรียมจากวัสดุชนิดอื่น ๆ ซึ่งสอดคล้องกับผล SEM

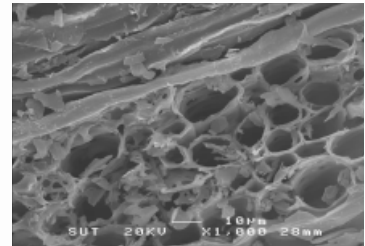
SEM จากผล SEM พบว่าโครงสร้างพื้นผิวและความพรุนของตัวดูดซับที่ไม่กระตุ้นและกระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ มีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด อาทิเช่น ซีลีเนียมไม้น้ำจามจุรีที่ไม่กระตุ้นจะมีรูพรุนน้อยมาก แต่เมื่อกระตุ้นจะเกิดรูพรุนเพิ่มขึ้นทั่วทั้งพื้นผิวของซีลีเนียมไม้น้ำจามจุรี โดยรูพรุนมีขนาดเล็กปานกลางและใหญ่กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ส่วนกะลามะพร้าวที่ไม่กระตุ้นจะมีรูพรุนเกิดขึ้นพอสมควร แต่หลังจากกระตุ้นและเผาแล้วพบว่า มีรูพรุนเพิ่มมากขึ้น ขนาดรูพรุนกระจายตัวสม่ำเสมอทั่วทั้งวัสดุ รูพรุนมีขนาดค่อนข้างเล็กแทรกอยู่ในรูพรุนขนาดกลางและขนาดใหญ่ สำหรับชั่งข้าวโพดที่ไม่ได้กระตุ้น รูพรุนเกิดขึ้นน้อยมากเมื่อเทียบกับวัสดุชนิดอื่น แต่เมื่อกระตุ้นและเผาแล้วพบว่า รูพรุนเพิ่มมากขึ้น มีการกระจายตัวสม่ำเสมอ รูพรุนมีขนาดเล็กแทรกอยู่ในรูพรุนขนาดใหญ่และขนาดกลางเช่นเดียวกัน ดังภาพที่ 2 - 4



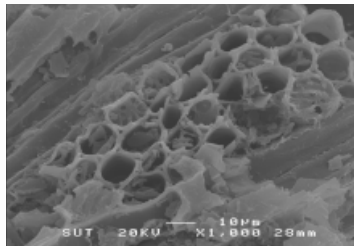
(ก)



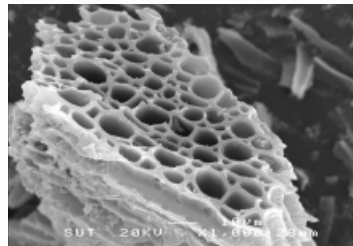
(ข)



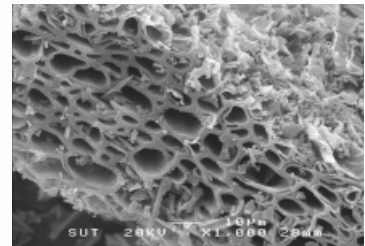
(ค)



(ง)

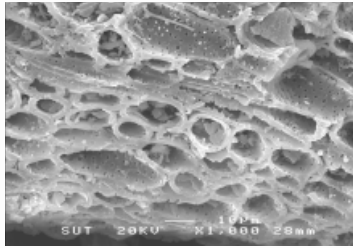


(จ)

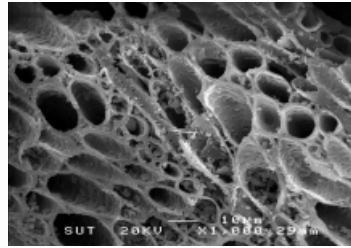


(ฉ)

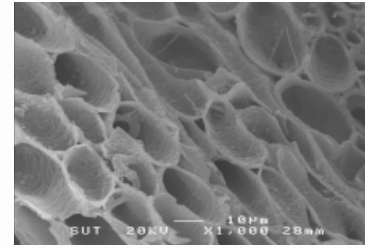
ภาพที่ 2 SEM ของซี่ล้อไม้จากจู้รีไม้กระทุ้งเผาที่ (ก) 400 และกระทุ้งด้วยโซเดียมคลอไรด์
เผาที่ (ข) 400 (ค) 500 (ง) 600 (จ) 700 และ (ฉ) 800 องศาเซลเซียส



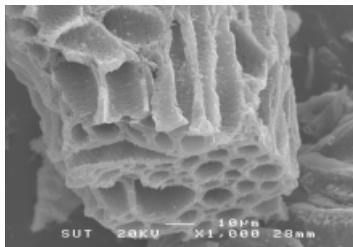
(ก)



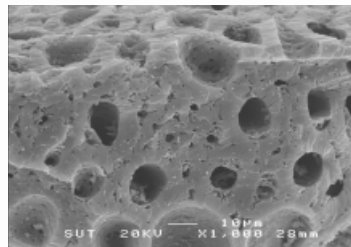
(ข)



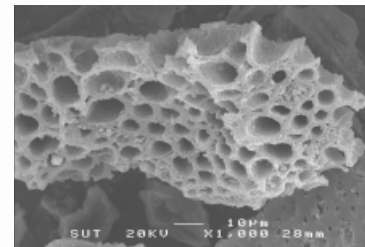
(ค)



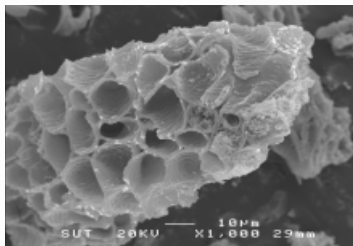
(ง)



(จ)

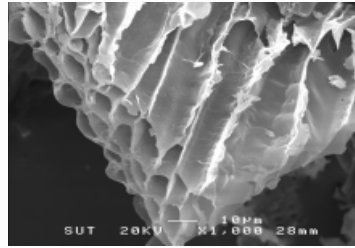


(ฉ)

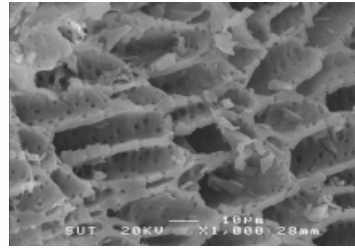


(ช)

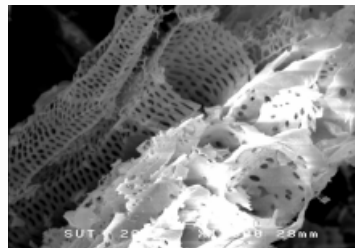
ภาพที่ 3 SEM ของกระลามะพร้าวไม้กระตุนเผาที่ (ก) 400 และกระตุนด้วยโซเดียมคลอไรด์เผาที่ (ข) 400 (ค) 500 (ง) 600 (จ) 700 (ฉ) 800 และ (ช) 900 องศาเซลเซียส



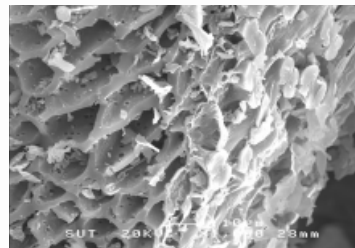
(ก)



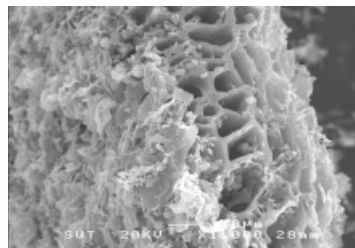
(ข)



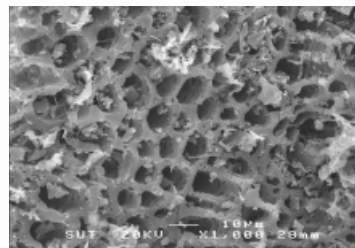
(ค)



(ง)



(จ)

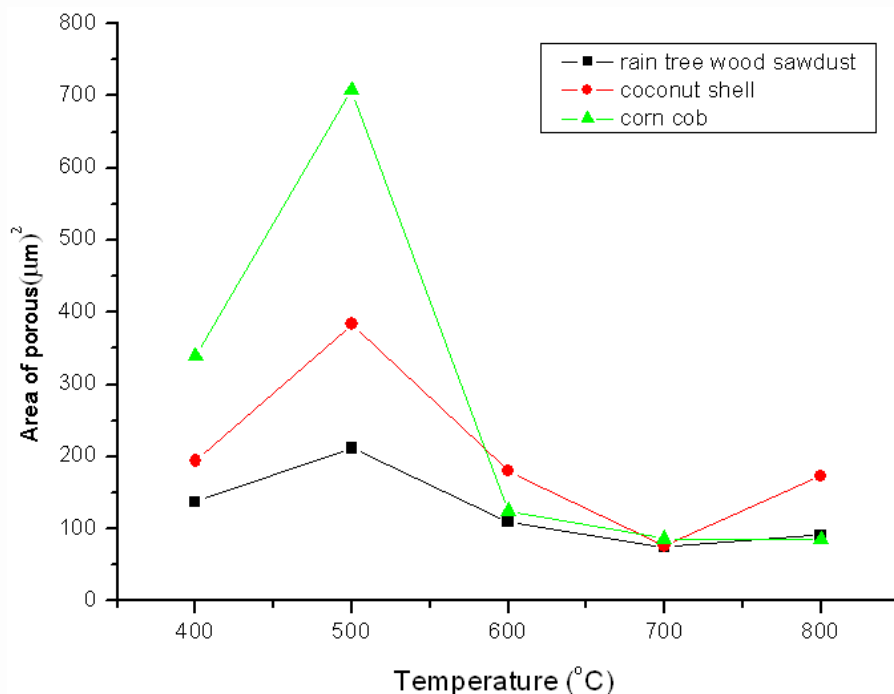


(ฉ)

ภาพที่ 4 SEM ของซังข้าวโพดไมโครทุ่นแพทรี (ก) 400 และกระตุนด้วยโซเดียมคลอไรด์แพทรี (ข) 400 (ค) 500 (ง) 600 (จ) 700 และ (ฉ) 800 องศาเซลเซียส



ขนาดรูพรุน



ภาพที่ 5 ขนาดพื้นที่หน้าตัดของรูพรุน

จากภาพที่ 5 พบว่าขนาดพื้นที่ผิวรูพรุนของตัวดูดซับจากขี้เลื่อยไม้จามจุรี มีค่าอยู่ระหว่าง 74.92-211.73 ตารางไมโครเมตร ตัวดูดซับจากกะลามะพร้าว มีค่าอยู่ระหว่าง 76.76-383.84 ตารางไมโครเมตร และขนาดพื้นที่ผิวรูพรุนของตัวดูดซับจากขังข้าวโพดมีค่าอยู่ระหว่าง 85.41-707.47 ตารางไมโครเมตร ที่ 500 °C มีขนาดของรูพรุนใหญ่ที่สุด และที่อุณหภูมิ 700 °C มีขนาดของรูพรุนเล็กที่สุด

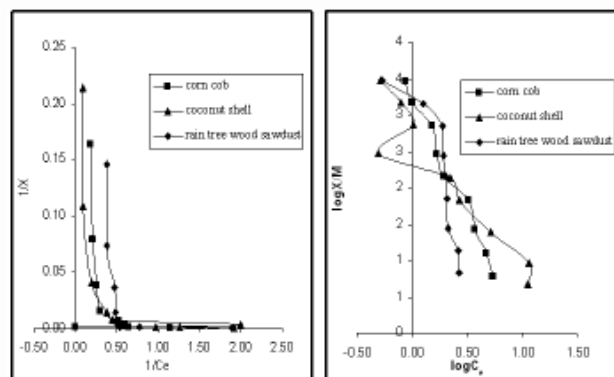
XRD ผลการวิเคราะห์ XRD (Model D 5005) พบองค์ประกอบของธาตุในตัวดูดซับจากขี้เลื่อยไม้จามจุรี กะลามะพร้าว และ ขังข้าวโพด ดังนี้คือ ซิลิคอนออกไซด์ (SiO₂) โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) แคลเซียมคาร์บอเนต และ C-Amorphous ในวัสดุดูดซับแต่ละชนิด ซิลิคอนออกไซด์จะเป็นส่วนประกอบที่พบในโครงสร้างของพืชที่มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบ โซเดียมคลอไรด์เป็นสารตกค้างที่เหลือจากการล้างตัวดูดซับเพื่อกำจัดสารกระตุ้นออกไม่หมดจึงปรากฏให้เห็น และแคลเซียมคาร์บอเนต น่าจะเป็นสารที่ตกค้างและปะปนในตัวดูดซับที่เกิดจากการเผาวัสดุในถ้วยกระเบื้อง ดังตาราง 1



ตาราง 1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของตัวดูดซับด้วย XRD

ชนิดตัวดูดซับ	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	สารประกอบ
ขี้เลื่อยไม้จามจุรี	600	SiO ₂ , NaCl, C-Amorphous
	700	SiO ₂ , CaCO ₃ , C-Amorphous
	800	SiO ₂ , C-Amorphous
กะลามะพร้าว	600	C-Amorphous
	700	C-Amorphous
	800	C-Amorphous
	900	NaCl, C-Amorphous
ขังข้าวโพด	600	SiO ₂ , NaCl, CaCO ₃ , C-Amorphous
	700	SiO ₂ , C-Amorphous
	800	SiO ₂ , CaCO ₃ , C-Amorphous

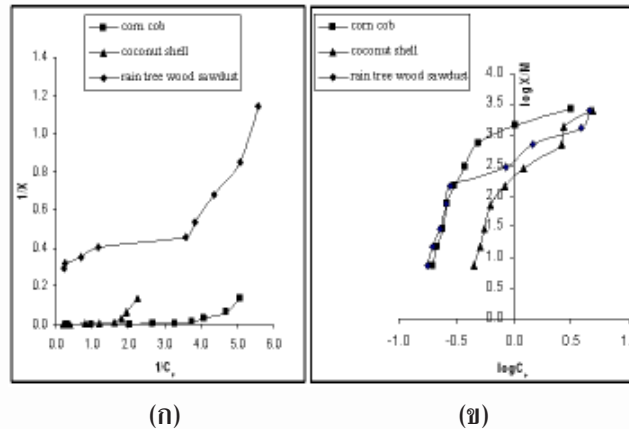
ผลการทดสอบความสามารถในการดูดซับ ทำการทดลองแบบแบชท์ (Batch) โดยทดลองที่พีเอชและความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุด คือ พีเอช 7 และความเข้มข้นของน้ำตัวอย่างที่ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร ณ อุณหภูมิห้อง นำผลการวิเคราะห์หาปริมาณหลักและตะกั่วที่ได้ ไปเขียนกราฟไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์และ ฟรุนดลิช (Langmuir and Freundlich Adsorption Isotherm) ดังภาพที่ 6-7



(ก)

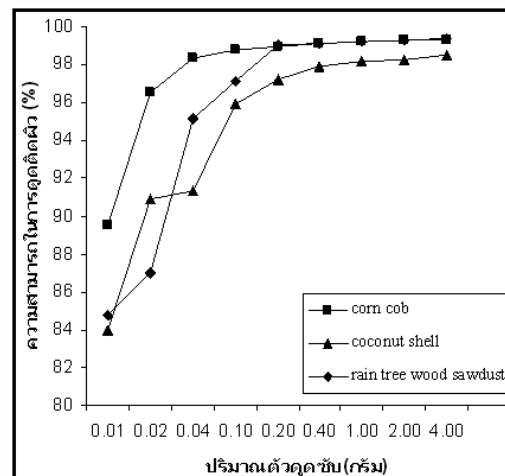
(ข)

ภาพที่ 6 ไอโซเทอมของการดูดซับของเหล็ก (ก) แบบแลงเมียร์ และ (ข) ฟรุนดลิช

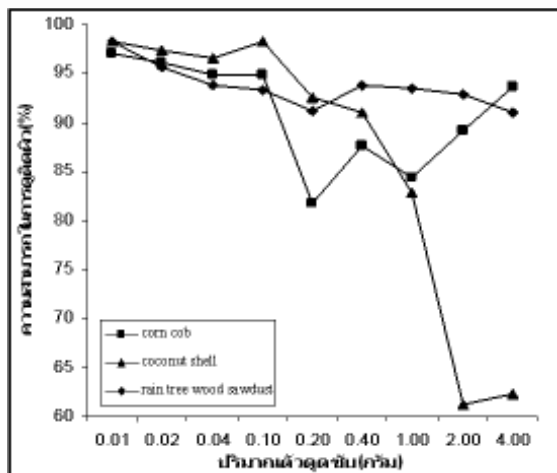


ภาพที่ 7 ไอโซเทอมของการดูดซับของตะกั่ว (ก) แบบแลงเมียร์ และ (ข) ฟรอนด์ลิช

จากภาพที่ 7 ถ้าพิจารณาค่า R-square ของไอโซเทอมทั้ง 2 แบบ พบว่า ค่า R-square ของไอโซเทอมแบบฟรอนด์ลิชมีค่าสูงกว่าแบบแลงเมียร์อย่างมาก ดังนั้นการทดสอบความสามารถในการดูดซับผิวหลักของตัวดูดซับจึงสอดคล้องกับไอโซเทอมแบบฟรอนด์ลิช ในทำนองเดียวกัน จากภาพที่ 7 เมื่อพิจารณาค่า R-square ของไอโซเทอมแบบฟรอนด์ลิชมีค่าสูงกว่าแบบแลงเมียร์เล็กน้อย ดังนั้นการทดสอบความสามารถในการดูดซับผิวตะกั่วของตัวดูดซับให้ผลสอดคล้องกับไอโซเทอมแบบแลงเมียร์และฟรอนด์ลิช



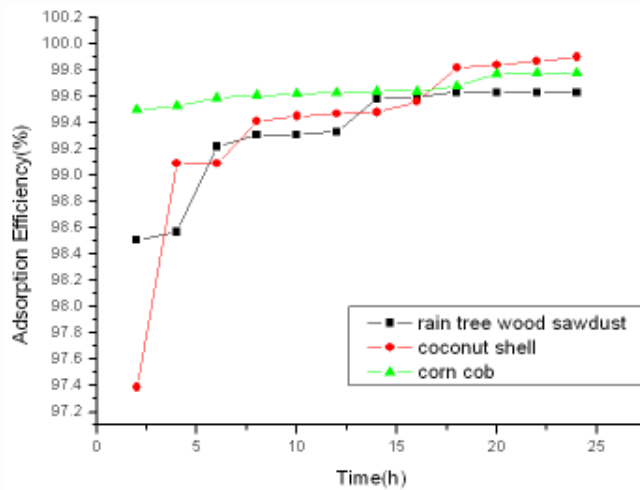
ภาพที่ 8 ความสามารถในการดูดซับของตะกั่ว



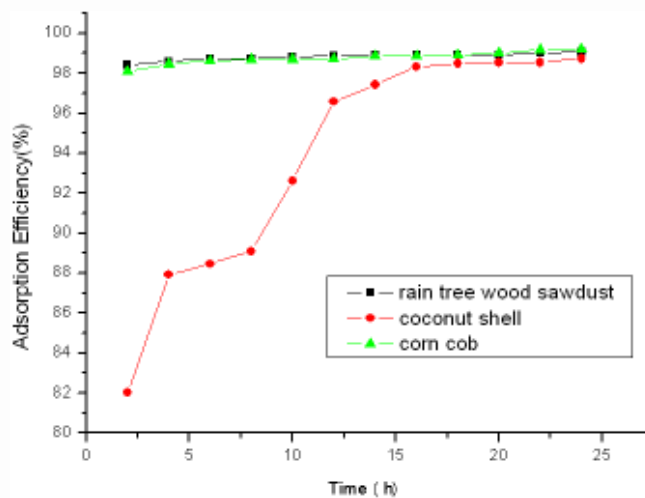
ภาพที่ 9 ความสามารถในการดูดซับน้ำของเหล็ก

จากภาพที่ 8 เมื่อพิจารณาผลการดูดซับโลหะหนักตะกั่ว พบว่า ถ้าใช้ปริมาณตัวดูดซับเพิ่มขึ้นจะทำให้ความสามารถในการดูดซับตะกั่วเพิ่มขึ้น และจากภาพที่ 9 เมื่อพิจารณาผลการดูดซับของเหล็ก พบว่า เมื่อใช้ปริมาณตัวดูดซับเพิ่มขึ้นจะทำให้ความสามารถในการดูดซับเหล็กลดลง

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของตัวดูดซับแบบถักดูดซับคอลัมน์ จากภาพประกอบ 10 พบว่า ประสิทธิภาพการดูดซับเหล็กของซีลี้อยไม้จามจรี กะลามะพร้าว และซังข้าวโพด มีค่าเท่ากับ 99.63, 99.82 และ 99.77 ตามลำดับ โดยซีลี้อยไม้จามจรี กะลามะพร้าว และซังข้าวโพด จะเริ่มมีประสิทธิผลการดูดซับคงที่ประมาณชั่วโมงที่ 15, 17 และ 3 ตามลำดับ สำหรับประสิทธิภาพของการดูดซับตะกั่วของซีลี้อยไม้จามจรี กะลามะพร้าวและซังข้าวโพด จากภาพประกอบ 11 มีประสิทธิภาพในการดูดซับคิดเป็นร้อยละ 99.07, 98.54 และ 99.19 ตามลำดับ และจะเริ่มมีประสิทธิผลการดูดซับคงที่ประมาณชั่วโมงที่ 2, 15 และ 2 ตามลำดับ



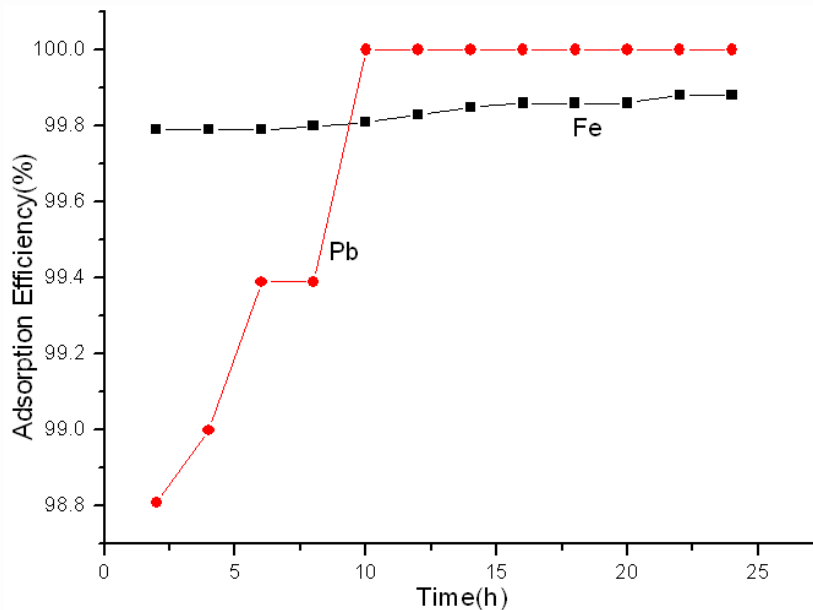
ภาพที่ 10 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับเหล็ก



ภาพที่ 11 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่ว



ผลการทดสอบประสิทธิภาพของตัวดูดซับผสมแบบกึ่งดูดซับคอสมิก



ภาพที่ 12 ประสิทธิภาพการดูดซับเหล็กและตะกั่วของวัสดุดูดซับแบบผสม

จากภาพที่ 12 เป็นผลการทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักเหล็กและตะกั่วของตัวดูดซับแบบผสม ประสิทธิภาพในการดูดซับเหล็กของตัวดูดซับแบบผสมคิดเป็นร้อยละ 99.85 ส่วนประสิทธิภาพของการดูดซับโลหะหนักตะกั่วคิดเป็นร้อยละ 99.39

ข้อเสนอแนะ:

1. ศึกษาการใช้ตัวดูดซับที่เตรียมจากขี้เถ้าแอมโมเนีย กะลามะพร้าว และขี้เถ้าข้าวโพด ในการกำจัดโลหะหนักชนิดอื่น ๆ เช่น ปรอท แคดเมียม สังกะสี เป็นต้น
2. ศึกษาการนำน้ำเสียจริงมาทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักของตัวดูดซับจากขี้เถ้าแอมโมเนีย กะลามะพร้าว และขี้เถ้าข้าวโพด



เอกสารอ้างอิง

- จรรยา คงฤทธิ์. (2546). **การกำจัดโลหะหนัก ฟีนอล และสีย้อมผ้าออกจากน้ำเสียด้วยซีเถ้าแกลบดำ**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. (อัครา).
- จุไรวัลย์ รัตนพิสิฐ และคณะ. (2549). **สภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตถ่านกัมมันต์จากซีเถ้าแกลบดำ**. สงขลา: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ชัยวัฒน์ อาจแก้ว. (2548). **การดูดซับสารหนูโดยใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร**. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. (อัครา).
- ฉานเกษม เจริญผล. (2545). **การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับและการลดปริมาณอาร์เซนิกในน้ำโดยใช้ถ่านกัมมันต์**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. (อัครา).
- ธีระชัย วัฒนสกุลเอก. (2546). **การนำถ่านลอยขานอ้อยไปใช้ดูดซับกำจัดโครเมียมแล้วนำไปทำให้เป็นก้อนแข็ง**. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (อัครา).
- พิณพิมล สิงขรวงศ์. (2537). **การผลิตถ่านกัมมันต์จากขานอ้อย**. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. (อัครา).
- ภาณุพงษ์ สถิตวัฒนาพร. (2546). **การนำถ่านลอยขานอ้อยไปใช้ดูดซับตะกั่วแล้วนำไปทำให้เป็นก้อนแข็ง**. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (อัครา).
- ภาณุวัตรจิตพุทธิ. (2543). **การกำจัดโครเมียม(VI)ด้วยถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. (อัครา).
- มานพ ติระรัตนสมโภช. (2545). **การกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยถ่านกัมมันต์จากซีเถ้า**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (อัครา).
- วีรุฒิ แพร่พาณิชกุล. (2549). **การกำจัดตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์ ด้วยกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวและขี้ข้าวโพด**. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (อัครา).
- สุจณีย์ คู่เสียม. (2544). **การกำจัดตะกั่วและปรอทจากน้ำทิ้งอุตสาหกรรมสิ่งทอโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มและกะลามะพร้าว**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (อัครา).
- อุบลรัตน์ วาริชวัฒนะ. (2544). **การกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียโดยใช้ถ่านกระดุก**. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (อัครา).
- Abia, A. A. and Asuquo, E. D., (2006). Lead (II) and nickel (II) adsorption kinetics from aqueous metal solutions using chemically modified and unmodified agricultural adsorbents. *African Journal of Biotechnology*. 5(16), 1475-1482, retrieved August 17, 2006. from <http://www.academicjournals.org/AJB>



- Akporhonor, E. E.1 and Egwaikhide, P. A. (2007). Removal of selected metal ions from aqueous solution by adsorption onto chemically modified maize cobs. **Scientific Research and Essay**. 2 (4), 132-134, retrieved April, 2007. from <http://www.academicjournals.org/SRE> ISSN 1992-2248
- American Standard of Testing Material. (1999). Standard Test Method for Determination of Iodine Number of Activated Carbon. **Annual book of ASTM**. 15(4), D4607-94.
- Chiang, Y., Chiang, P., Huang, C. (2001). Effects of pure structure and temperature on VOC adsorption on activated Carbon. **Carbon**. : 39:523-534.
- Diana C.S. Azevedo and other. (2007). Microporous activated carbon prepared from coconut shells using chemical activation with zinc chloride. **Journal Microporous and Mesoporous Materials**. 100(1-3), 361-364.
- JCPDS-ICDD PDF-2. (2001). **Computer Software: JCPDS - International Centre for Diffraction Data**. (CD- ROM)
- Mine G., Artok L. (2006). Preparation and characterization of activated carbons by one-step steam pyrolysis/activation from apricot stones. **Journal Microporous and Mesoporous Materials**. 88, 126-134.
- M. Youssef, Th. El-Nabarawy and S. E. Samra. (2004). Sorption properties of chemically activated carbons. **Journal Colloids and Surfaces: A Physicochemical and Engineering Aspects**. 235(1-3), 153-163 Powder Diffract. (2001). File: JCPDS Internet. Centre Diffract. Data, PA 19073-3273, U.S.A.
- Najua Delaila Tumin and other. (2008). Adsorption of copper from aqueous solution by elais guineensis kernel activated carbon. **Journal of Engineering Science and Technology**. 3(2), 180 - 189.
- Philips Analytical B. (2001). V.: **X'Pert HighScore, Computer Software, Koninklijke Philips Electronics N. V.** (CD-ROM)
- Xue Song Wang and other. (2009). Removal of chromium (VI) from aqueous solution using walnut hull. **Journal of Environmental Management**. 90(2) 721-729. Received 5 June 2007; revised 30 October 2007; accepted 12 January 2008. Available online 17 March 2008.

