

บทความวิจัย

การดูดซับไอร์ออน (II) ไอออนในสารละลาย ด้วยผักตบชวาและสะเดา

ธิดารัตน์ ศิริสกุลไพศาล^{1*} นิพนธ์ ตั้งคณาภิรักษ์¹ และ พิลาณี ไกลนอมสัจด์²

บทคัดย่อ

ไอร์ออน (II) ไอออนที่เหลือจากการดูดซับจากผงผักตบชวาและสะเดาถูกตรวจวัดในรูปแบบ tris (1,10-phenanthroline) iron (II) ด้วยวิธีสเปกโทรโฟโตเมตรีที่มีความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร และได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ ได้แก่ พีเอช (6-10) ระยะเวลาปั่นกววน ระยะเวลาสัมผัส ความเข้มข้นเริ่มต้นของไอร์ออน (II) ไอออน (25-200 มิลลิกรัมต่อลิตร) และปริมาณของตัวดูดซับ (10-100 กรัมต่อลิตร) ไอโซเทอร์มของแลงเมียร์และฟรุนดิชถูกนำมาใช้หาความสัมพันธ์ของการดูดซับ ณ ภาวะสมดุลของไอร์ออน (II) ไอออน และพบว่ากระบวนการดูดซับสอดคล้องกับสมการไอโซเทอร์มของฟรุนดิชนำสภาวะที่เหมาะสมจากการทดลองมาประยุกต์ใช้ในการดูดซับไอร์ออน (II) ไอออนในน้ำเสียจากโรงงานผลิตอิเล็กทรอนิกส์และโรงงานผลิตรถยนต์

คำสำคัญ: การดูดซับ ไอร์ออน (II) ไอออน ผักตบชวา สะเดา

¹วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

²สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน, e-mail: kwang_ain@hotmail.com

Adsorption of Iron (II) Ion in Solution by Water Hyacinth and Neem

Tidarat Sirisakulpaisan¹, Nipon Tungkananuruk¹ and Pilanee Vaithanomsat²

ABSTRACT

The remained iron (II) ion after its adsorptive extraction from water hyacinth and neem powder can be determined by spectrophotometrically at 510 nm as tris (1,10-phenanthroline) iron (II). The effects of pH (6-10), shaking time or digestion time, contact time, initial concentration of iron (II) ion (25-200 mg/L) and biosorbent dosages (10-100 g/L) are reported. Langmuir and Freundlich models are used to correlate equilibrium data on sorption of iron (II) ion. It was found that both biomasses were statistically significant fit for Freundlich model. The system has been applied to removal of iron (II) ion in wastewater from an electronic and automobile factory.

Keywords: adsorption, iron (II) ion, water hyacinth, neem

¹College of Environment, Kasetsart University

²Kasetsart Agricultural and Agro-Industrial Product Improvement Institute, Kasetsart University

*Corresponding author, e-mail: kwang_ain@hotmail.com

บทนำ

น้ำ เป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีความจำเป็นสำหรับการดำรงชีวิตของมนุษย์เป็นอย่างมาก เนื่องจากมนุษย์ต้องนำน้ำมาใช้ในการอุปโภคบริโภค การเกษตรกรรม การอุตสาหกรรม ตลอดจนเป็นแหล่งรองรับของเสียจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ ซึ่งในปัจจุบันอุตสาหกรรมได้มีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว และมีการนำเหล็กมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ อิเล็กทรอนิกส์ รวมถึงการนำมาใช้ในด้านวิศวกรรมก่อสร้าง [1] ซึ่งในกระบวนการผลิตนั้นนอกจากผลิตภัณฑ์ที่ได้แล้วย่อมหลีกเลี่ยงไม่ได้สำหรับของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิต โลหะเหล็กนับเป็นสารพิษชนิดหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อระบบสิ่งแวดล้อม เมื่อเหล็กปนเปื้อนในแหล่งน้ำจะทำให้เกิดปัญหามลพิษในแหล่งน้ำนั้น เหล็กในปริมาณมากเป็นพิษต่อพืชและสัตว์ ซึ่งสามารถถ่ายทอดไปตามห่วงโซ่อาหารได้ [2] และถ้ามนุษย์ได้รับเกินความต้องการจะแสดงอาการพิษ ได้แก่ อาเจียน ระบายเคือง ปวดท้อง ท้องร่วง เชื้องซึม ความรู้สึกตัวลดลง ชัก และหมดสติ นอกจากนี้ยังทำให้อัตราการหายใจและการไหลเวียนโลหิตเพิ่มขึ้นด้วย ส่วนการสะสมเรื้อรังจะทำให้เกิดเนื้องอกได้ [3]

โดยทั่วไปวิธีการบำบัดโลหะหนักในน้ำเสียมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน เช่น การตกตะกอนทางเคมี การแลกเปลี่ยนไอออน การแยกด้วยไฟฟ้าและเยื่อกรอง [4] เป็นต้น แต่เนื่องจากวิธีการเหล่านี้ต้องใช้เทคโนโลยีและต้นทุนสูง การหาทางเลือกอื่นในการบำบัดน้ำเสียที่มีเหล็กปนเปื้อนด้วยการดูดซับโดยใช้ผักตบชวาและสะเดา ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีที่สามารถนำมาใช้เป็นตัวดูดซับได้ [5, 6] จึงเป็นวิธีที่น่าสนใจ และเป็นวิธีที่ใช้ต้นทุนต่ำกว่า รวมถึงเป็นการนำเอาวัสดุดูดซับจากธรรมชาติมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดและยั่งยืน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์หลักเพื่อนำผักตบชวาและสะเดามาใช้ในการดูดซับไอร์ออน (II) ไอออนในสารละลายมาตรฐาน และในน้ำเสียจากโรงงานผลิตอิเล็กทรอนิกส์และผลิตรถยนต์ โดยทำการศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการดูดซับ และทำการตรวจวัดไอร์ออน (II) ไอออนที่เหลือจากการดูดซับในรูป tris (1,10-phenanthroline) iron (III) ด้วยวิธีสเปกโทรโฟโตเมตริกที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร [7]

วิธีการวิจัย

การเตรียมตัวดูดซับ

1. การเตรียมผักตบชวา นำผักตบชวาส่วนลำต้นมาล้างน้ำให้สะอาด แล้วนำมาหั่นตามขวางเป็นชิ้นเล็กๆ ให้มีความหนาประมาณ 0.2 เซนติเมตร นำไปตากแดดให้แห้งเป็นเวลา 1-2 วัน จากนั้นนำมาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้นจนได้ผักตบชวาที่แห้งกรอบ แล้วนำผักตบชวามาดัดให้เป็นผง แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 425 ไมครอน [8]

2. การเตรียมสะเดา นำใบสะเดามาล้างน้ำให้สะอาด แล้วนำไปตากแดดให้แห้งเป็นเวลา 1-2 วัน จากนั้นนำมาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้นจนได้ใบสะเดาที่แห้งกรอบ แล้วนำใบสะเดามาดัดให้เป็นผง แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 425 ไมครอน

การเตรียมสารเคมี

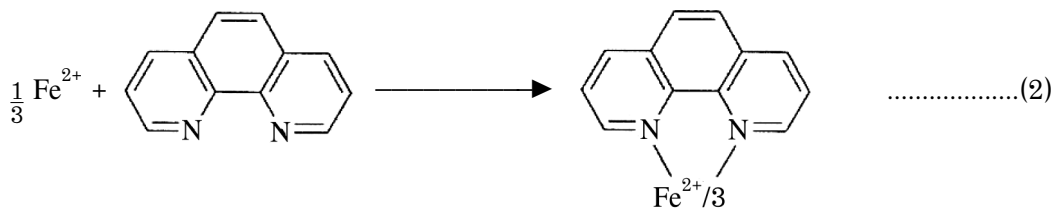
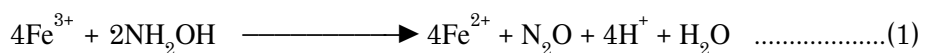
1. การเตรียมสารละลายมาตรฐานไอร์ออน (II) ไอออน ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยชั่งแอมโมเนียมไอร์ออน (II) ซัลเฟตเฮกซะไฮเดรท 0.7022 กรัม ลงในขวดวัดปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นลงไปพอประมาณ เขย่าให้แอมโมเนียมไอร์ออน (II) ซัลเฟตเฮกซะไฮเดรทละลาย จากนั้นเติมน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกริมาตร เขย่าให้เข้ากัน จะได้สารละลายตามต้องการ

2. การเตรียมสารละลายไฮดรอกซิลามีนไฮโดรคลอไรด์ โดยชั่งไฮดรอกซิลามีนไฮโดรคลอไรด์ จำนวน 10 กรัม ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกริมาตร เขย่าให้เข้ากันจะได้สารละลายตามต้องการ

3. การเตรียมสารละลาย 1,10-ฟีแนนโทรลีนโมโนไฮเดรท โดยชั่ง 1,10-ฟีแนนโทรลีนโมโนไฮเดรท จำนวน 0.1 กรัม ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกริมาตร เขย่าให้เข้ากัน จะได้สารละลายตามต้องการ

การเตรียมกราฟมาตรฐานสารละลายไอร์ออน (II) ไอออน

เตรียมสารละลายมาตรฐานไอร์ออน (II) ไอออน ที่ความเข้มข้น 1, 3, 5, 7 และ 9 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยทำการเจือจางมาจากสารละลายมาตรฐานไอร์ออน (II) ไอออน ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังจากนั้นนำมาปริมาตร 50 มิลลิลิตรในแต่ละความเข้มข้นมาทำปฏิกิริยากับไฮดรอกซิลามีนไฮโดรคลอไรด์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และ 1,10-ฟีแนนโทรลีนโมโนไฮเดรท ปริมาตร 6 มิลลิลิตร แล้วตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 15 นาที จะได้สารละลายสีส้มแดงของ tris (1,10-phenanthroline) iron (II) (แสดงดังสมการที่ 1 และ 2) หลังจากนั้นนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์รุ่น 20 D (สหรัฐอเมริกา) ที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร (ดัดแปลงจากวิธีการของ Harris, 2003 [7])



1,10-phenanthroline

tris (1,10-phenanthroline) iron (II)
(Orange-red complex)

การศึกษาอิทธิพลที่มีผลต่อการดูดซับสารละลายมาตรฐานไอร์ออน (II) ไอออนของผักตบชวาและสะเดา
 โดยทำการทดลองแบบแบบทซ์และนำผลการทดลองที่ได้มาทดสอบทางสถิติ (Least Significant Different, LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ได้แก่

1. พีเอชเริ่มต้นของสารละลายมาตรฐานไอร์ออน (II) ไอออน ได้แก่ 6, 7, 8, 9 และ 10
2. ระยะเวลาปั่นกวน ได้แก่ 10, 30, 60, 90 และ 120 นาที โดยใช้เครื่องเขย่า รุ่น Model VRN-480 GEMMY Orbit Shaker (ได้หวั่น) ที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที
3. ระยะเวลาสัมผัส ได้แก่ 10, 30, 60, 90 และ 120 นาที
4. ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายมาตรฐานไอร์ออน (II) ไอออน ได้แก่ 25, 50, 75, 100, 150 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร
5. ปริมาณตัวดูดซับ ได้แก่ 0.5, 1, 2, 3, 4 และ 5 กรัม
6. ศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับไอร์ออน (II) ไอออน โดยใช้สมการการดูดซับของแลงเมียร์ และฟรุนดลิช [9]

การทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมข้างต้น โดยเริ่มต้นใช้ปริมาณตัวดูดซับ 1 กรัม สารละลายมาตรฐานไอร์ออน (II) ไอออน ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิตร ระยะเวลาปั่นกวน และระยะเวลาสัมผัส 30 นาที หลังจากนั้นกรองของผสมระหว่างผักตบชวาและสะเดาที่ดูดซับไอร์ออน (II) ไอออนไว้กับสารละลายผ่านกระดาษกรองเมมเบรนขนาด 0.45 ไมครอน และนำสารละลายที่กรองได้ใส่สารให้เกิดปฏิกิริยา ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 15 นาที แล้วนำมาหาปริมาณไอร์ออน (II) ไอออนที่เหลือด้วยวิธีสเปกโทรโฟโตเมตริกที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร

การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสารละลายมาตรฐานไอร์ออน (II) ไอออน โดยทำการทดลองแบบคอลัมน์
 ใช้ปริมาณตัวดูดซับ 20 กรัม สารละลายมาตรฐานไอร์ออน (II) ไอออน ความเข้มข้นเท่ากับ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 250 มิลลิตร ปรับพีเอชที่เหมาะสมจากการทดลองแบบแบบทซ์ ทำการทดลองโดยเก็บสารละลายมาตรฐานไอร์ออน (II) ไอออนจากทางออกปลายคอลัมน์ทุกๆ 50 มิลลิตร จนครบปริมาตร 250 มิลลิตร (ดัดแปลงจากวิธีการของ กิตตินันท์, 2546 [10]) ใส่สารให้เกิดปฏิกิริยา ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 15 นาที แล้วนำมาหาปริมาณไอร์ออน (II) ไอออนที่เหลือด้วยวิธีสเปกโทรโฟโตเมตริกที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร

การศึกษาการฟื้นฟูสภาพของตัวดูดซับที่ผ่านการใช้งานแล้ว

โดยนำผักตบชวาและสะเดาที่ผ่านการใช้งานแล้วมาล้าง แล้วแช่ด้วยกรดไฮโดรคลอริก 0.1 M เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำมาล้างอีกครั้ง และนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง (ดัดแปลงจากวิธีการของ Tan and Rhan, 1988 [11]) แล้วนำมาทดลองโดยใช้สภาวะเหมาะสมที่ได้จากการทดลองแบบแบบทซ์ของผักตบชวาและสะเดา

การศึกษาการดูดซับไอรีออน (II) ไอออนในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตรถยนต์ และอิเล็กทรอนิกส์
 โดยใช้ น้ำเสียจากโรงงาน 4 แห่ง ได้แก่ โรงงานผลิตอิเล็กทรอนิกส์ โรงงานผลิตรถยนต์ A โรงงานผลิตรถยนต์ B และโรงงานผลิตรถยนต์ C ที่มีไอรีออน (II) ไอออนเจือปน แล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณไอรีออน (II) ไอออนเริ่มต้นก่อน หลังจากนั้นนำน้ำเสียมาทดลองโดยใช้สภาวะเหมาะสมที่ได้จากการทดลองแบบเบบพทซ์ของผักตบชวาและสะเดา

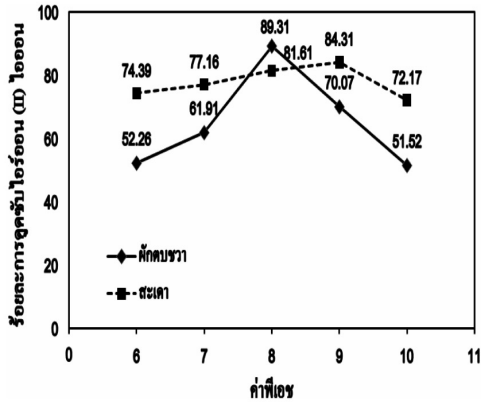
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

ผลการศึกษาที่ได้คำนวณจากค่าเฉลี่ยของการทดลอง โดยใช้ตัวอย่างของผักตบชวาและสะเดาชนิดละ 3 ซ้ำ

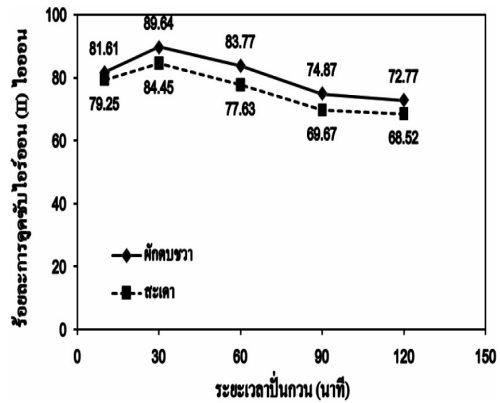
ผลของอิทธิพลที่มีผลต่อการดูดซับสารละลายมาตรฐานไอรีออน (II) ไอออนของผักตบชวาและสะเดา

รูปที่ 1 ก-จ แสดงผลของสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับไอรีออน (II) ไอออนของผักตบชวาและสะเดา จากผลการทดลองในรูปที่ 1 ก พบว่าผักตบชวาและสะเดาสามารถดูดซับไอรีออน (II) ไอออนได้สูงสุดที่พีเอชเท่ากับ 8 และ 9 ตามลำดับ โดยเมื่อพีเอชมีค่าสูงขึ้น ประสิทธิภาพในการดูดซับสารละลายมาตรฐานไอรีออน (II) ไอออนของผักตบชวาและสะเดาจะมีค่าเพิ่มขึ้น หลังจากนั้นประสิทธิภาพในการดูดซับจะมีค่าลดลง เนื่องจากสารละลายมี pH สูงกว่า 9 ซึ่งจะทำให้ไอรีออน (II) ไอออนตกตะกอนในรูปไฮดรอกไซด์ [9] โดยพบว่าผักตบชวาและสะเดาที่พีเอชเหมาะสมสามารถดูดซับสารละลายมาตรฐานไอรีออน (II) ไอออนได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 กับทุกค่าพีเอช

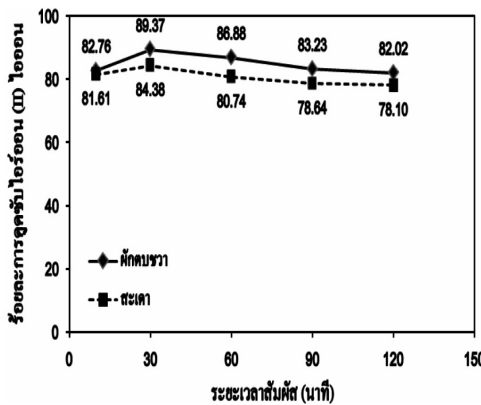
เมื่อทำการศึกษาทั้งระยะเวลาปั่นกววนและระยะเวลาสัมผัส พบว่าผักตบชวาและสะเดาสามารถดูดซับไอรีออน (II) ไอออนได้สูงสุดที่เวลา 30 นาที (รูปที่ 1 ข และ 1 ค) ซึ่งจากการทดลองในรูปที่ 1 ข จะเห็นได้ว่า เมื่อระยะเวลาปั่นกววนเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการดูดซับสารละลายมาตรฐานไอรีออน (II) ไอออนผักตบชวาและสะเดาจะมีค่าเพิ่มขึ้น จนกระทั่งระยะเวลาปั่นกววนที่ 30 นาที การดูดซับจะเข้าสู่ภาวะสมดุล และหลังจากนั้นประสิทธิภาพในการดูดซับจะมีค่าลดลงแล้วเริ่มคงที่ที่ระยะเวลาปั่นกววน 90 นาที โดยพบว่าผักตบชวาและสะเดาที่ระยะเวลาปั่นกววนเหมาะสมสามารถดูดซับสารละลายมาตรฐานไอรีออน (II) ไอออนได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 กับทุกระยะเวลาปั่นกววน ส่วนการศึกษาระยะเวลาสัมผัสของผักตบชวาและสะเดาพบว่า เมื่อระยะเวลาสัมผัสเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการดูดซับสารละลายมาตรฐานไอรีออน (II) ไอออนของผักตบชวาและสะเดาจะมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน เนื่องจากมีการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างไฮดรอกไซด์ไอออนบนพื้นผิวของตัวดูดซับกับไอรีออน (II) ไอออนอยู่ตลอดเวลา จนกระทั่งระยะเวลาสัมผัสที่ 30 นาที ซึ่งมีค่าการดูดซับสูงสุด และหลังจากนั้นประสิทธิภาพในการดูดซับจะมีค่าลดลงแล้วเริ่มคงที่ (รูปที่ 1 ค) เนื่องจากพื้นผิวของตัวดูดซับถูกปกคลุมไปด้วยไอรีออน (II) ไอออน ทำให้มีช่องว่างในการดูดซับลดลง [9] โดยพบว่าผักตบชวาและสะเดาที่ระยะเวลาสัมผัสเหมาะสมสามารถดูดซับสารละลายมาตรฐานไอรีออน (II) ไอออนได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 กับทุกระยะเวลาสัมผัส



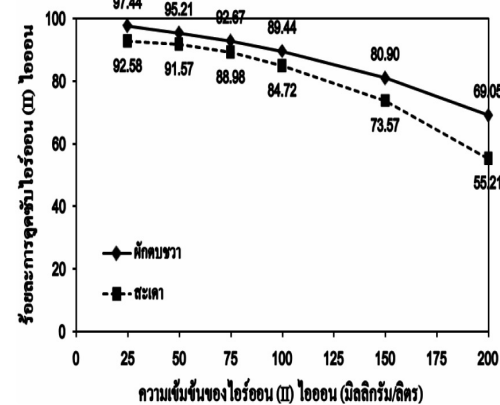
(ก)



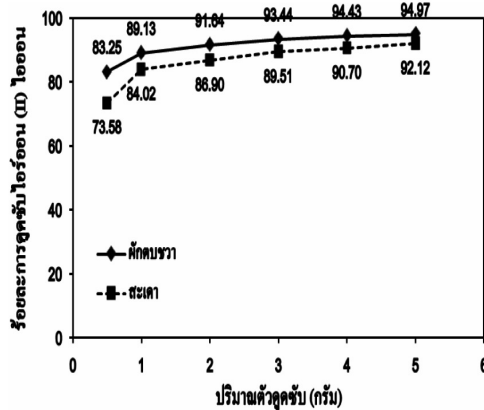
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

รูปที่ 1 แสดงผลของสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับไอรอน (II) ไอรอนของผักตบชวาและสะเดา

(ก) ผลของพีเอช

(ข) ผลของระยะเวลาการปักนกว

(ค) ผลของระยะเวลาต้มผัก

(ง) ผลของความเข้มข้นของไอรอน (II) ไอรอน

(จ) ผลของปริมาณตัวดูดซับ

ส่วนผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายมาตรฐานไอโรออน (II) ไอออน พบว่าเมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น ประสิทธิภาพในการดูดซับสารละลายมาตรฐานไอโรออน (II) ไอออนของผักตบชวาและสะเดาจะมีค่าลดลง (รูปที่ 1 ง) ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ได้เลือกศึกษาความเข้มข้นที่ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยพบว่าผักตบชวาและสะเดาสามารถดูดซับสารละลายมาตรฐานไอโรออน (II) ไอออนได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 กับทุกความเข้มข้น

และเมื่อทำการศึกษาผลของปริมาณตัวดูดซับเริ่มต้น (รูปที่ 1 จ) พบว่าเมื่อปริมาณตัวดูดซับเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการดูดซับสารละลายมาตรฐานไอโรออน (II) ไอออนจะมีค่าเพิ่มขึ้นแล้วเริ่มคงที่ ซึ่งทั้งผักตบชวาและสะเดาปริมาณ 1 กรัมที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ พบว่าผลของการดูดซับสารละลายมาตรฐานไอโรออน (II) ไอออนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 กับปริมาณตัวดูดซับที่ 2, 3, 4 และ 5 กรัม แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณตัวดูดซับ 0.5 กรัม

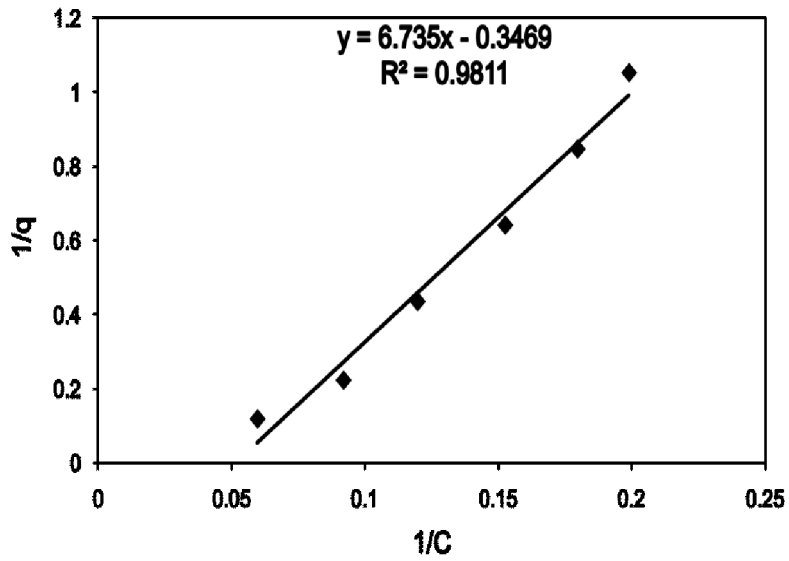
ผลของการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับไอโรออน (II) ไอออน โดยใช้สมการการดูดซับของแลงเมียร์ และ ฟรุนดลิช

รูปที่ 2-5 แสดงไอโซเทอร์มการดูดซับไอโรออน (II) ไอออนของแลงเมียร์และฟรุนดลิชโดยใช้ผักตบชวาและสะเดา พบว่าสมการไอโซเทอร์มของแลงเมียร์และฟรุนดลิชทั้งผักตบชวาและสะเดามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (0.9700-1.2000) แต่กลไกการดูดซับไอโรออน (II) ไอออนของผักตบชวาและสะเดาเป็นไปตามสมการการดูดซับของฟรุนดลิชมากกว่าแลงเมียร์ เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มากกว่า ซึ่งกลไกการดูดซับของฟรุนดลิช คือ พื้นผิวของตัวดูดซับเป็นแบบวิวิธพันธ์ (heterogeneous adsorption surface พื้นผิวไม่เป็นเนื้อเดียวกันตลอด) โดยที่การดูดซับจะไม่สามารถบอกถึงปริมาณของตัวถูกดูดซับถูกดูดซับได้มากที่สุด เนื่องจากตัวถูกดูดซับสามารถจะเกิดการซ้อนทับกันได้ [9]

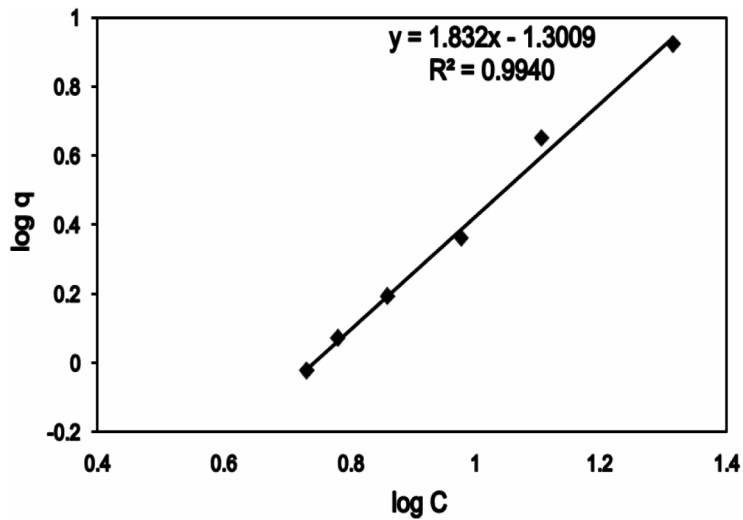
สมการไอโซเทอร์มการดูดซับไอโรออน (II) ไอออนของฟรุนดลิชโดยทั่วไป คือ $q = KC^{1/n}$ สามารถนำมาเขียนใหม่ในรูปของลอการิทึมได้ดังสมการที่ 3

$$\log q = \log K + \frac{1}{n} \log C \quad \dots\dots\dots(3)$$

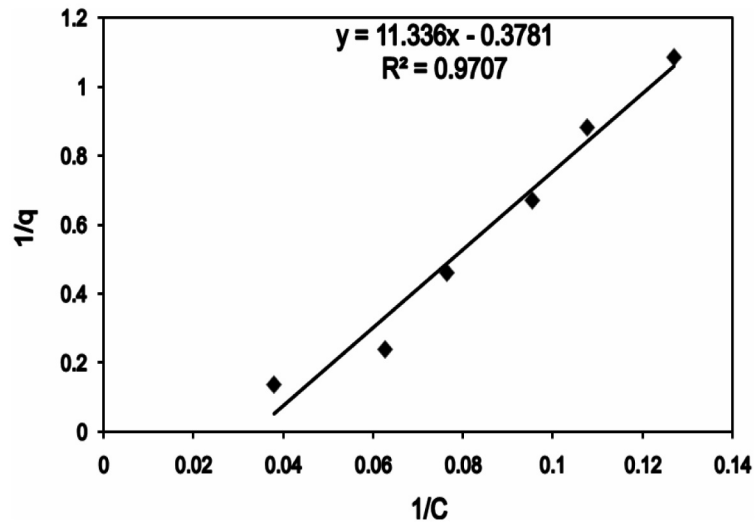
จากไอโซเทอร์มการดูดซับของฟรุนดลิชพบว่า ถ้าค่า $1/n$ มีค่ามากกว่า 1 แสดงถึงความสามารถของการดูดซับของตัวดูดซับจะดูดซับได้มาก หรือกล่าวว่าเป็นบริเวณพื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีปริมาณมากในการดูดซับ [12] ซึ่งค่า $1/n$ ของผักตบชวาและสะเดาจากการคำนวณมีค่าเท่ากับ 1.832 และ 1.818 ตามลำดับ ซึ่งแสดงว่าไอโรออน (II) ไอออนจะถูกดูดซับไว้ที่พื้นผิวของผักตบชวาและสะเดา กล่าวคือ ผักตบชวาและสะเดาเหมาะที่จะนำมาเป็นวัสดุดูดซับที่ใช้ในการดูดซับสารละลายมาตรฐานไอโรออน (II) ไอออนได้ดี



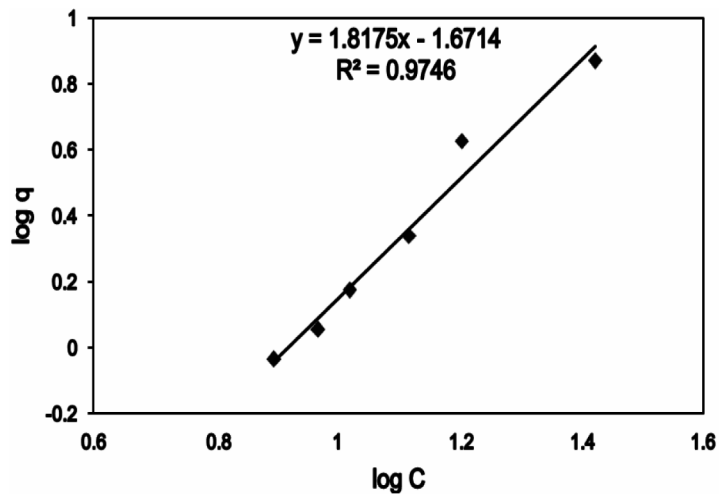
รูปที่ 2 ไอโซเทอร์มการดูดซับไอร้ออน (II) ไอออนของแลงเมียร์โดยใช้ผักตบชวา



รูปที่ 3 ไอโซเทอร์มการดูดซับไอร้ออน (II) ไอออนของฟรุนดิชโดยใช้ผักตบชวา



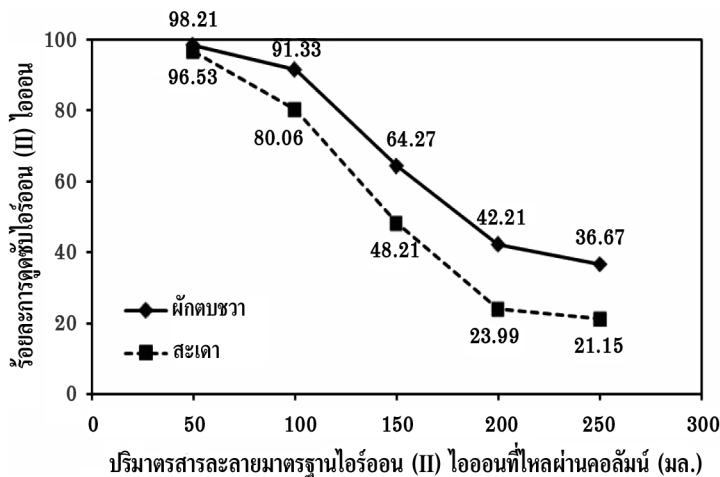
รูปที่ 4 ไอโซเทอร์มการดูดซับไอร่อน (II) ไอออนของแลงเมียร์โดยใช้สะเดา



รูปที่ 5 ไอโซเทอร์มการดูดซับไอร่อน (II) ไอออนของฟรุนดิชโดยใช้สะเดา

ผลของการดูดซับสารละลายมาตรฐานไอร์ออน (II) ไอออนโดยทำการทดลองแบบคอลัมน์

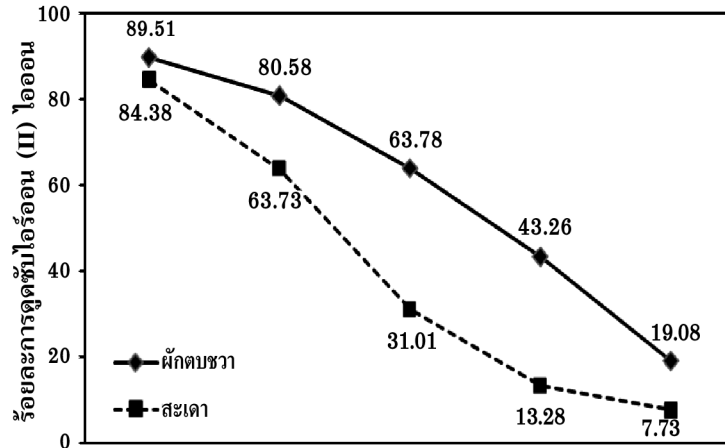
รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารละลายมาตรฐานไอร์ออน (II) ไอออนที่ไหลผ่านคอลัมน์และร้อยละการดูดซับไอร์ออน (II) ไอออนของผักตบชวาและสะเดา พบว่าปริมาณสารละลายมาตรฐานไอร์ออน (II) ไอออนที่ไหลออกจากคอลัมน์ในช่วงแรก คือ 50 มิลลิลิตร ทั้งผักตบชวาและสะเดา มีประสิทธิภาพในการดูดซับสูงสุด และเมื่อระยะเวลาการปล่อยสารละลายมาตรฐานไอร์ออน (II) ไอออนผ่านคอลัมน์ที่เพิ่มมากขึ้น การดูดซับของตัวดูดซับจะลดลง ทั้งนี้เนื่องจากบริเวณพื้นผิวของตัวดูดซับมีการดูดซับไอร์ออน (II) ไอออนเอาไว้ และหากมีการปล่อยสารละลายมาตรฐานไอร์ออน (II) ไอออนกรองผ่านตัวดูดซับในคอลัมน์ต่อไปอีก ตัวดูดซับจะเริ่มอิ่มตัวและหมดสภาพไปในที่สุด [10]



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารละลายมาตรฐานไอร์ออน (II) ไอออนที่ไหลผ่านคอลัมน์และร้อยละการดูดซับไอร์ออน (II) ไอออนของผักตบชวาและสะเดา

ผลของการฟื้นฟูสภาพของตัวดูดซับที่ผ่านการใช้งานแล้ว

รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการฟื้นฟูสภาพตัวดูดซับและร้อยละการดูดซับไอร์ออน (II) ไอออนของผักตบชวาและสะเดา พบว่าความสามารถในการดูดซับสารละลายมาตรฐานไอร์ออน (II) ไอออนของผักตบชวาและสะเดาลดลงจากการใช้งานครั้งแรก ทั้งนี้มีสาเหตุมาจากพื้นผิวของตัวดูดซับลดลง เนื่องจากพื้นผิวบางส่วนเกิดการสูญเสียไปในขณะที่ทำการดูดซับก่อนจะฟื้นฟูสภาพ รวมทั้งในการฟื้นฟูสภาพด้วยนั้น ส่งผลให้เกิดการสูญเสียพื้นที่ผิวในการดูดซับไปด้วย [13]



ใช้งานครั้งแรก ฟันฟูสภาพครั้งที่ 1 ฟันฟูสภาพครั้งที่ 2 ฟันฟูสภาพครั้งที่ 3 ฟันฟูสภาพครั้งที่ 4

รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างการฟันฟูสภาพตัวดูดซับและร้อยละการดูดซับไอออน (II) ไอออนของผักตบชวาและสะเดา

ผลของการศึกษาการดูดซับไอออน (II) ไอออนในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม

ตารางที่ 1 การดูดซับไอออน (II) ไอออนในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมของผักตบชวา

| น้ำเสียจากโรงงาน | ปริมาณไอออน (II) ไอออน (มิลลิกรัมต่อลิตร) | | ร้อยละการดูดซับ |
|--------------------|---|------------|-----------------|
| | ก่อนดูดซับ | หลังดูดซับ | |
| ผลิตอิเล็กทรอนิกส์ | 11.68 | 0.04 | 99.63 |
| ผลิตรถยนต์ A | 16.39 | 0.17 | 98.94 |
| ผลิตรถยนต์ B | 15.06 | 0.11 | 99.26 |
| ผลิตรถยนต์ C | 20.32 | 0.35 | 98.30 |

ตารางที่ 2 การดูดซับไอออน (II) ไอออนในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมของสะเดา

| น้ำเสียจากโรงงาน | ปริมาณไอออน (II) ไอออน (มิลลิกรัมต่อลิตร) | | ร้อยละการดูด |
|--------------------|---|------------|--------------|
| | ก่อนดูดซับ | หลังดูดซับ | |
| ผลิตอิเล็กทรอนิกส์ | 11.68 | 0.46 | 96.04 |
| ผลิตรถยนต์ A | 16.39 | 0.82 | 95.02 |
| ผลิตรถยนต์ B | 15.06 | 0.72 | 95.24 |
| ผลิตรถยนต์ C | 20.32 | 1.21 | 94.05 |

ตารางที่ 1-2 แสดงผลการดูดซับไอร์ออน (II) ไอร์ออนในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมของ ผักตบชวาและสะเดา จากการทดลองพบว่า น้ำตัวอย่างก่อนการดูดซับของโรงงานอุตสาหกรรมทั้ง 4 แห่ง มีความเข้มข้นของไอร์ออน (II) ไอร์ออนเริ่มต้นอยู่ในช่วง 11-20 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าความเข้มข้นน้อยกว่าสารละลายมาตรฐานไอร์ออน (II) ไอร์ออนซึ่งเท่ากับ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นจึงเลือกใช้ค่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไอร์ออน (II) ไอร์ออนที่ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร ในการทดลองครั้งนี้เพื่อให้ใกล้เคียงกับปริมาณไอร์ออน (II) ไอร์ออนที่มีอยู่จริงในน้ำเสียของโรงงาน ซึ่งปริมาณตัวดูดซับในการดูดซับสารละลายมาตรฐานไอร์ออน (II) ไอร์ออนความเข้มข้น 30 มิลลิกรัมต่อลิตรที่เหมาะสมเท่ากับ 1 กรัม โดยพบว่าปริมาณผักตบชวาที่ 1 กรัม มีร้อยละการดูดซับเท่ากับ 97.19 ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 กับปริมาณ 0.75, 1.5 และ 2 กรัม แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณ 0.5 กรัม ส่วนสะเดาที่ 1 กรัม มีร้อยละการดูดซับเท่ากับ 92.02 ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 กับปริมาณ 1.5 กรัม แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณ 0.5, 0.75 และ 2 กรัม ซึ่งหลังจากทำการดูดซับด้วยผักตบชวาและสะเดา พบว่าสามารถลดความเข้มข้นของไอร์ออน (II) ไอร์ออนในน้ำเสียลงได้ และจากผลการทดลองในน้ำเสียจากโรงงานพบว่าร้อยละการดูดซับไอร์ออน (II) ไอร์ออนมีค่ามากกว่าผลที่ได้จากการใช้สารละลายมาตรฐานไอร์ออน (II) ไอร์ออนความเข้มข้น 30 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้งนี้เป็นเหตุมาจากน้ำเสียจากโรงงานนั้นมีความเข้มข้นของไอร์ออน (II) ไอร์ออนน้อยกว่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน ในขณะที่ปริมาณตัวดูดซับที่ใช้ในการทดลองนั้นเท่ากัน จึงทำให้อัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของไอร์ออน (II) ไอร์ออนในน้ำเสียจากโรงงานต่อปริมาณตัวดูดซับมีค่าน้อยกว่าอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไอร์ออน (II) ไอร์ออนต่อปริมาณตัวดูดซับส่งผลทำให้อัตราส่วนร้อยละการดูดซับของน้ำเสียจากโรงงานมีค่าที่มากกว่าร้อยละการดูดซับในสารละลายมาตรฐานนั่นเอง

สรุปผลการทดลอง

ในการดูดซับไอร์ออน (II) ไอร์ออนโดยใช้ผักตบชวาและสะเดาชนิดละ 1 กรัม สารละลายมาตรฐานไอร์ออน (II) ไอร์ออนเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าได้ระยะเวลาปั่นกวน 30 นาที ระยะเวลาต้มผักตบชวา 30 นาที และพีเอช 8 และ 9 ตามลำดับ สามารถดูดซับไอร์ออน (II) ไอร์ออนได้เฉลี่ยร้อยละ 89.51 และ 84.38 ตามลำดับ เมื่อนำผักตบชวาและสะเดามาทำการทดลองในคอลัมน์ โดยให้ปริมาตรสารละลายมาตรฐานไอร์ออน (II) ไอร์ออนที่ไหลผ่านคอลัมน์เท่ากันเป็น 50 มิลลิลิตร พบว่าผักตบชวาสามารถดูดซับไอร์ออน (II) ไอร์ออนได้ร้อยละ 98.21 ซึ่งดีกว่าสะเดาได้ร้อยละ 96.53 ผลจากการฟื้นฟูสภาพผักตบชวาและสะเดาหลังผ่านการใช้งาน พบว่าผักตบชวาและสะเดามีประสิทธิภาพการดูดซับไอร์ออน (II) ไอร์ออนลดลงจากการใช้งานครั้งแรกตามจำนวนครั้งของการฟื้นฟูสภาพ นอกจากนี้ยังพบว่าข้อมูลจากผลการทดลองข้างต้นมีความสอดคล้องกับสมการไอโซเทอร์มของฟรุนดิช และใช้สภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองแบบแบทช์มาประยุกต์ใช้กับน้ำเสียจากโรงงานผลิตอิเล็กทรอนิกส์ และโรงงานผลิตรถยนต์

เอกสารอ้างอิง

1. Linchevsky, B., Sobolevsky, A., and Kalmenev, A. 1983. Iron and Steel Making. Moscow. Mir Publishing.
2. ประจัญอุทร ยิ้มแพร. 2547. การสะสมของเหล็กและแมงกานีสจากน้ำบาดาลบ่อต้นเข้าสู่ดินนาและข้าว. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม). พิษณุโลก. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร.
3. George, D. C., and Florence, E. C. 1981. Patty's Industrial Hygiene and Toxicology. 3rd Edition. Volume 2A Toxicology. Canada. John Wiley's Sons. Inc. 2877 p.
4. วันวิภา เผ่าสวัสดิ์. 2546. การนำชานอ้อยไปใช้ดูดซับตะกั่วแล้วนำไปทำเป็นก้อนแข็ง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม). กรุงเทพฯ. คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
5. จิระศักดิ์ แสงพุ่ม เดชา ฉัตรศิริเวช และ วิจิตรา จงวิศาล. 2543. ผลของสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมตัวดูดซับจากผักตบชวาสำหรับการดูดซับไอเบนซิน. *วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยรังสิต* 4(1): 48-54.
6. Tawari, D. N. 1992. Monograph of Neem. India. International Book Distribution. 279 p.
7. Harris, D. C. 2003. Quantitative Chemical Analysis. 6th Edition. U.S.A. 453 p.
8. จินตนา จุลอุล. 2550. การเตรียมตัวดูดซับจากผักตบชวาในการกำจัดสีย้อมไคเรกซ์จากน้ำทิ้งโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม). กรุงเทพฯ. วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
9. นิพนธ์ ตั้งคณานุรักษ์ และคณิตา ตั้งคณานุรักษ์. 2550. หลักการการตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี. กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 281 หน้า.
10. กิตตินันท์ คงสืบชาติ. 2546. ดินเผาดูดซับจากดินเหนียวซีลื้อยเพื่อการดูดซับแคดเมียมในน้ำเสียสิ่งเคราะห์. วศ.ม. (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม). กรุงเทพฯ. คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
11. Tan, W. T., and Rhan, R. M. 1988. Removal of Lead, Cadmium and Zinc by Waste Tea Leaves. *Environmental Technology Letter* 9: 1223-1232.
12. Maron, S. H., and Prutton, C. F. 1961. Principle of Physical Chemistry. 3rd Edition. New York. Macmillan, Co.
13. พิธี กระสินธุ์ศรี. 2539. การกำจัดโลหะหนักโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดลิกโนเซลลูโลสิคพอร์มัลดีไฮด์ที่ทำจากผักตบชวา. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม). กรุงเทพฯ. คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ได้รับบทความวันที่ 16 กันยายน 2551

ยอมรับตีพิมพ์วันที่ 27 ตุลาคม 2551