The Sci J of PhetchaburiRajabhat University
2019.16(2): 11-21

ประสิทธิภาพของวัสดุดูดซับทางชีวภาพจากสารแทนนินที่ตรึงบนเส้นใยปอสาในการกำจัดไอออนตะกั่ว

The Efficiency of Bioadsorbent Based on Tannin Immobilized on *Broussonetiapapyrifera* (L.) Vent. Pulp to Remove Lead (II) Ion

มาริสา ทองหล่อง[1]ถิรวัฒน์ ยี่สุ่นแก้ว[1] กุลวดี ปิ่นวัฒนะ[2]อัญชนา ปรีชาวรพันธ์[2] และรพิพรรณ จันทร์มะณี[2*]

Marisa Thonglong[1], Thirawat Yisunkaew[1], Kulwadee Pinwatana[2],Anchana Preechaworapan[2] and Rapiphun Janmanee[2*]

[1]*สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม จังหวัดพิษณุโลก 65000*

[2]*สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม จังหวัดพิษณุโลก 65000*

[1]*General Sciences Program, Faculty of Education, PibulsongkramRajabhat University, Phitsanulok, 65000*

[2]*Chemistry Program, Faculty of Science, PibulsongkramRajabhat University, Phitsanulok, 65000*

***Corresponding author; E-mail:** rapiphun16@psru.ac.th

Received: 5September 2019/Revised: 17 October 2019 / Accepted:21October 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเตรียมวัสดุดูดซับจากสารสกัดแทนนินที่ตรึงบนเส้นใยปอสาและประสิทธิภาพในการดูดซับไอออนตะกั่วของวัสดุดูดซับที่เตรียมขึ้น โดยสารแทนนินสามารถสกัดได้จากเปลือกกล้วยดิบ จากนั้นทำการเตรียมวัสดุดูดซับ ทางชีวภาพโดยนำสารแทนนินมาตรึงบนเส้นใยปอสา และนำมาศึกษาความสามารถในการดูดซับไอออนตะกั่วของวัสดุดูดซับด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ จากการศึกษาพบว่าปริมาณสารแทนนินจากเปลือกกล้วยดิบมีค่าเท่ากับ 18.17 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม วัสดุดูดซับที่เตรียมขึ้นโดยการนำเส้นใยปอสาหนัก 2 กรัม แช่ในสารสกัดแทนนินปริมาตร 100 มิลลิลิตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สามารถดูดซับไอออนตะกั่วที่ช่วงความเข้มข้น 1-10 พีพีเอ็มประสิทธิภาพในการดูดซับไอออนตะกั่วอยู่ในช่วง 0.099-0.977 มิลลิกรัมต่อกรัมเมื่อพิจารณาไอโซเทอมการดูดซับพบว่าสอดคล้องกับไอโซเทอมการดูดซับตามสมการแบบฟรุนดิชซึ่งมีค่า K = 2.15,n = 1.88 และ R^2 = 0.9939 ดังนั้นจากผลการศึกษาจึงอาจกล่าวได้ว่าวัสดุดูดซับจากสารแทนนินที่ตรึงบนเส้นใยปอสามีประสิทธิภาพในการกำจัดไอออนตะกั่วและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียได้

คำสำคัญ: ไอออนตะกั่ว วัสดุดูดซับ แทนนิน เส้นใยปอสา

Abstract

The purpose of this research is to study an adsorbent preparation based on tannin immobilized *Broussonetiapapyrifera* (L.) Vent.pulp and the efficiency of the developed bioadsorbent on the removal oflead (II) ion. Tannin was extracted from fresh banana peels. After that, the bioadsorbent was fabricated by immobilizing tannin on *Broussonetiapapyrifera* (L.) Vent.pulp. Finally, the efficiency of the adsorbent for the adsorption of lead (II) ion was investigated by using Atomic Absorption Spectroscopy (AAS). It was found that the extraction yield of tannin from banana peels was 18.17 mg/kg. The adsorption was effective at the amount of *Broussonetiapapyrifera* (L.) Vent.pulp 2 grams soaked in 100 mL tannin for 24 hours. It exhibitedthe ability to adsorb lead (II) ion with the concentration range of 1-10 ppm. The efficient of lead ion adsorption ofbioadsorbent was between 0.099-0.977 mg/g.The adsorption isotherm of the bioadsorbentto remove lead (II) ion is described by the Freundlich model. The experimental data were presented as K, n and R^2 at 2.15, 1.88 and 0.9939, respectively. Therefore, it can be summarized that the bioadsorbent based on tannin immobilized *Broussonetiapapyrifera* (L.) Vent.pulp is efficient in removing lead and can be applied for wastewater treatment.

Keywords: Lead (II) ion, Bioadsorbent, Tannin, *Broussonetiapapyrifera* (L.) Vent.pulp

บทนำ

ในปัจจุบันปัญหามลพิษทางน้ำถือเป็นปัญหาที่สำคัญต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม สาเหตุประการหนึ่งเกิดจากการปนเปื้อนของโลหะหนัก [1] โดยโลหะหนักสามารถเข้าสู่สิ่งแวดล้อมได้จากการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำ ทั้งน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม การทำเหมืองแร่ การใช้สารกำจัดศัตรูพืชและสารเคมีจากอุตสาหกรรมเกษตร รวมไปถึงน้ำทิ้งจากครัวเรือนในแหล่งชุมชน เป็นต้น ซึ่งสถานการณ์ในปัจจุบันพบว่ามีการปนเปื้อนของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมเพิ่มสูงขึ้น โดยโลหะหนักเป็นพิษที่เจือปนมาในน้ำทิ้ง ได้แก่ ตะกั่ว สังกะสี แคดเมียม และทองแดง เป็นต้น [2, 3] ดังนั้นเพื่อป้องกันอันตรายต่อสุขภาพที่มาจากโลหะหนักในแหล่งน้ำจึงจำเป็นต้องกำจัดเอาโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมหรือจากชุมชนที่อยู่อาศัยออกก่อนทิ้งลงสู่แหล่งน้ำ

การกำจัดโลหะหนักปนเปื้อนในน้ำเสียสามารถทำได้ทั้งวิธีทางกายภาพและวิธีทางเคมี แต่พบว่ายังมีข้อเสียคือขั้นตอนในการกำจัดมีหลายขั้นตอนวิธีการยุ่งยากซับซ้อน และสารเคมีที่ใช้มีราคาสูง อีกทั้งยังไม่สามารถกำจัดโลหะหนักได้อย่างสมบูรณ์ [4, 5] จึงทำให้ในปัจจุบันการกำจัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำเสียนิยมใช้วิธีการดูดซับด้วยตัวดูดซับ เนื่องจากเป็นวิธีการกำจัดโลหะหนักที่ประหยัดและเป็นมิตรกับระบบนิเวศ โดยงานวิจัยที่เกี่ยวข้องการกำจัดโลหะได้ให้ความสนใจในการพัฒนาตัวดูดซับที่มาจากธรรมชาติและ

ปรับปรุงประสิทธิภาพของตัวดูดซับให้ดีมากยิ่งขึ้น ได้แก่ ถ่านกัมมันต์ ไคโตซาน ชากมวลชีวภาพและวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรและอุตสาหกรรม เช่น แกลบ เปลือกถั่ว เปลือกข้าว และเปลือกกล้วย เป็นต้น [2, 3, 5, 6]

ทีมวิจัยสนใจนำวัสดุจากธรรมชาติ นั่นคือ เปลือกกล้วย ซึ่งมีสารแทนนินที่เป็นสารประกอบจำพวกโพลีฟีนอลเป็นองค์ประกอบโดยมีสมบัติในการดูดซับไอออนของโลหะหนักมาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุดูดซับ [7, 8] โดยทำการศึกษาการเตรียมวัสดุดูดซับจากสารแทนนินที่สกัดได้จากเปลือกกล้วยและนำมาตรึงบนเส้นใยปอสาซึ่งเป็นเส้นใยธรรมชาติ (Natural fiber หรือ Biofiber) ที่มีองค์ประกอบสำคัญคือ เส้นใยเซลลูโลส โดยโครงสร้างของเส้นใยธรรมชาติมีความเป็นขั้วสูงและมีสมบัติความชอบน้ำ ส่งทำให้สามารถดูดซับ (Adsorption) และยึดเกาะกับสารชีวภาพได้ [9] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกนำเส้นใยปอสามาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักของวัสดุดูดซับ และทำการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับไอออนตะกั่วของวัสดุดูดซับที่ได้เตรียมขึ้น ซึ่งนอกจากเป็นการนำเปลือกกล้วยที่เป็นวัสดุจากธรรมชาติที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมาใช้เป็นตัวดูดซับไอออนโลหะหนักแล้วยังเป็นการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรกลับมาใช้ใหม่เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับสินค้าทางการเกษตรอีกด้วย

วัสดุและวิธีการทดลอง

วัสดุและสารเคมี

การทดลองนี้เลือกนำกล้วยน้ำว้าดิบในพื้นที่ตำบลบ้านคลอง อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก มาใช้ในการสกัดสารแทนนินสารเคมีสำคัญที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ เลด (II) ไนเตรต ($Pb(NO_3)_2$) (Riedel-de-Haën) เอทานอลร้อยละ 99.9 (AR grade, RCI Labscan Ltd.) กรดไนตริกร้อยละ 65(AR grade, RCI Labscan Ltd.)และสารละลายมาตรฐานของธาตุตะกั่ว เข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร (Lead Standard for AAS, VWR Chemicals BDH)

ทำการเตรียมเส้นใยปอสาโดยนำปอสามาทำความสะอาด ผึ่งให้แห้ง จากนั้นนำปอสาหนัก 15 กรัม มาแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1.25 M ปริมาตร 500 มิลลิลิตรเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำมาต้มที่อุณหภูมิประมาณ 120 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 ชั่วโมง และล้างด้วยน้ำสะอาดจนมีค่า pH เป็นกลาง นำปอสามาปั่นด้วยเครื่องปั่น (รุ่น IF-300 Super BlenderจากบริษัทImaflex) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อให้ได้เส้นใยปอสา และนำไปอบให้แห้งด้วยเครื่องอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 72 ชั่วโมง

สารละลายตะกั่ว ความเข้มข้น 100 ppm ซึ่งเตรียมโดยการชั่ง $Pb(NO_3)_2$ หนัก0.0159กรัมนำมาละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน ปรับปริมาตรในขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตรถูกนำมาใช้ในการเตรียมสารละลายไอออนตะกั่วที่ความเข้มข้นต่างๆ สำหรับศึกษาความสามารถในการดูดซับไอออนโลหะหนักของวัสดุดูดซับ

1. การสกัดสารแทนนินจากเปลือกกล้วย

นำเปลือกกล้วยน้ำว้าดิบมาล้างให้สะอาด ผึ่งไว้ให้แห้งแล้วนำมาหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ และบดให้ละเอียด นำไปอบให้แห้งสนิทที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นทำการสกัดสารแทนนินจากเปลือกกล้วยโดยนำเปลือกกล้วยที่เตรียมไว้ หนัก 10กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250

มิลลิลิตร เติมสารละลายผสมของน้ำกลั่นและเอทานอล (อัตราส่วน 1:1) ปริมาตร 100 มิลลิลิตร นำไปแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส เขย่าด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นกรองเอาเฉพาะส่วนที่เป็นสารละลายด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 นำไประเหยตัวทำละลายด้วยเครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุน (Rotary evaporator) รุ่น R-300 ยี่ห้อ Buchiจากบริษัท Buchi และทำการวิเคราะห์หาปริมาณสารแทนนินที่สกัดได้จากเปลือกกล้วยโดยการนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงเทียบกับสารละลายมาตรฐานของกรดแทนนิก(AR grade, LaboChemiePvt.Ltd.)ที่ความยาวคลื่น 760nm [10]ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์(UV-visible Spectrophotometer) รุ่น Lamba25 บริษัท PerkinElmer

2. การเตรียมวัสดุดูดซับจากสารแทนนินที่ตรึงบนเส้นใยปอสา

นำเส้นใยปอสาหนัก 2 กรัม แช่ในสารละลายแทนนินเข้มข้นที่เตรียมได้จากข้อ 2ปริมาตร 100 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา24 ชั่วโมง เพื่อให้ปอสาดูดซับสารแทนนินจนอิ่มตัว จากนั้นนำเส้นใยปอสาที่ตรึงด้วยแทนนินแล้วไปอบให้แห้งด้วยเครื่องอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง

3. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับไอออนตะกั่วของวัสดุดูดซับ

3.1 การศึกษาผลของน้ำหนักวัสดุดูดซับ

นำสารละลายตะกั่วความเข้มข้น 10 ppm ปริมาตร 100 มิลลิลิตรใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมวัสดุดูดซับปริมาณ 0.5,1.0 และ 1.5กรัม แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าสาร ด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 120 นาที นำสารละลายที่ได้หลังจากการดูดซับกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 จากนั้นเจือจางสารละลายที่กรองแล้วด้วยกรดไนตริกเข้มข้นร้อยละ 1 โดยปริมาตร แล้วจึงนำไปวิเคราะห์หาปริมาณไอออนตะกั่วด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (AAS) รุ่น PinAAcle 900F จากบริษัท PerkinElmer

3.2 การศึกษาผลของเวลา

นำสารละลายตะกั่วความเข้มข้น 1ppm ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมวัสดุดูดซับปริมาณ 1 กรัม แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที ด้วยเวลาที่แตกต่างกัน ได้แก่ 30,60,90 และ 120 นาที ตามลำดับ นำสารละลายที่ได้หลังจากการดูดซับกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42จากนั้นเจือจางสารละลายที่กรองแล้วด้วยกรดไนตริกเข้มข้นร้อยละ 1 โดยปริมาตร แล้วจึงนำไปวิเคราะห์ปริมาณไอออนตะกั่วด้วยเครื่อง AAS

3.3 การศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของไอออนตะกั่ว

นำสารละลายตะกั่วความเข้มข้น 1,3,5,7 และ 10 ppm ปริมาตร 100มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร จากนั้นเติมวัสดุดูดซับปริมาณ 1 กรัม และนำเขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที นำสารละลายที่ได้จากการดูดซับกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42จากนั้นเจือจางสารละลายที่กรองแล้วด้วยกรดไนตริกเข้มข้นร้อยละ 1 โดยปริมาตร แล้วจึงนำไปวิเคราะห์ปริมาณไอออนตะกั่วด้วยเครื่อง AAS

4. การศึกษาความสามารถในการดูดซับและไอโซเทอมการดูดซับ

นำผลการทดลองที่ได้จากการวิจัยมาคำนวณความสามารถในการดูดซับตะกั่ว [11]ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$q_e = \frac{(C_o - C_e)}{W} v \quad (1)$$

วิเคราะห์ไอโซเทอมของการดูดซับไอออนตะกั่วตามรูปแบบของสมการแลงเมียร์[12] ดังสมการ

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{C_e}{q_m} + \frac{1}{bq_m} \quad (2)$$

วิเคราะห์ไอโซเทอมของการดูดซับไอออนตะกั่วตามรูปแบบของสมการฟรุนดิช[13] ดังสมการ

$$logq_e = logK + \frac{1}{n} logC_e \quad (3)$$

เมื่อ q_e คือ ค่าความสามารถในการดูดซับตะกั่วที่สมดุล (มิลลิกรัมต่อกรัม)

C_o คือ ความเข้มข้นของตะกั่วเริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)

C_e คือ ความเข้มข้นของตะกั่วที่สมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร)

V คือ ปริมาตรสารละลายตะกั่ว (ลิตร)

W คือ น้ำหนักวัสดุดูดซับ (กรัม)

q_m คือ ค่าความสามารถในการดูดซับสูงสุด (มิลลิกรัมต่อกรัม)

b คือ ค่าคงที่แลงเมียร์ (ลิตรต่อมิลลิกรัม)

K คือ ค่าคงที่สัมพันธ์กับความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับ

n คือ ค่าคงที่สัมพันธ์กับพลังงานของการดูดซับ

ผลการศึกษา

1. ผลการศึกษาการสกัดสารแทนนินจากเปลือกกล้วย

จากการศึกษาการสกัดแทนนินจากเปลือกกล้วย โดยการใช้เปลือกกล้วยน้ำว้าดิบหนักประมาณ 100.14±0.10กรัมพบว่าได้เปลือกกล้วยน้ำว้าอบแห้งหนักประมาณ12.27±0.30 กรัม จากนั้นเมื่อนำเปลือกกล้วยอบแห้งที่เตรียมได้มาทำการสกัดสารแทนนินโดยใช้การสกัดด้วยตัวทำละลายผสมน้ำกลั่นและเอทานอลอัตราส่วน 1:1 ปริมาตร 100มิลลิลิตรผลจากการศึกษาพบว่าสารสกัดที่ได้จากเปลือกกล้วยมีลักษณะเป็นสารละลายสีน้ำตาลแดง และเมื่อทำการการวิเคราะห์หาปริมาณสารแทนนินที่สกัดได้จากเปลือกกล้วยพบว่าสารสกัดมีปริมาณสารแทนนินเท่ากับ18.17 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

2. ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับไอออนตะกั่วของวัสดุดูดซับ

2.1 ผลของน้ำหนักวัสดุดูดซับ

การศึกษาผลของน้ำหนักวัสดุดูดซับจากสารแทนนินที่ตรึงบนเส้นใยปอสาที่มีต่อการดูดซับไอออนตะกั่วโดยใช้วัสดุดูดซับปริมาณ 0.5,1.0 และ 1.5 กรัม สามารถแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการดูดซับไอออนตะกั่วกับน้ำหนักวัสดุดูดซับดังแสดงในFigure 1ผลจากการทดลองพบว่าร้อยละการดูดซับไอออนตะกั่วมีค่าเท่ากับ 98.11,98.61 และ 97.56 เมื่อใช้วัสดุดูดซับปริมาณ0.5,1.0 และ 1.5 กรัม ตามลำดับ ซึ่งวัสดุดูดซับหนัก 1.0 กรัม มีค่าร้อยละการดูดซับไอออนตะกั่วมากที่สุด ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงเลือกใช้วัสดุดูดซับหนัก 1.0 กรัม สำหรับทำการศึกษาในขั้นตอนต่อไป

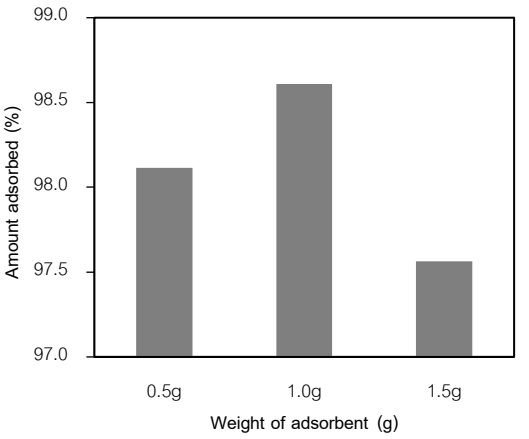

Figure 1.Effect of adsorbent weight

2.2 ผลของเวลา

จากการศึกษาอิทธิพลของเวลาที่มีผลต่อการดูดซับไอออนตะกั่ว โดยใช้ระยะเวลาในการดูดซับที่แตกต่างกัน ได้แก่ 30,60,90 และ 120 นาที ตามลำดับ จากผลการศึกษาพบว่าร้อยละการดูดซับไอออนตะกั่วมีค่าเท่ากับ 95.98,97.33,97.05 และ 94.91 เมื่อใช้เวลาในการดูดซับเท่ากับ30,60,90 และ 120 นาที ตามลำดับ ซึ่งสามารถแสดงดัง Figure 2 และเมื่อพิจารณาความสามารถในการดูดซับไอออนตะกั่วที่เวลาต่างๆ เมื่อใช้สารละลายไอออนตะกั่วที่ความเข้มข้น1,3,5,7และ 10 ppm พบว่าค่าร้อยละการดูดซับไอออนตะกั่วอยู่ในช่วงร้อยละ94.91-99.23 ซึ่งสามารถแสดงผลได้ดังแสดงในTable 1

2.3 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของไอออนตะกั่ว

ผลการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่วที่มีต่อการดูดซับของวัสดุดูดซับสามารถแสดงผลได้ดัง Figure 3 เมื่อพิจารณาพบว่าค่าร้อยละการดูดซับไอออนตะกั่วโดยใช้วัสดุดูดซับจากสารแทนนินที่ตรึงบนเส้นใยปอสามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารละลายไอออนตะกั่วเพิ่มขึ้น (97.05-99.23%) ในช่วง 1-5 ppm แต่เมื่อความเข้มข้นของสารละลายไอออนตะกั่วเพิ่มขึ้นในช่วง 7-10 ppm ค่าร้อยละการดูดซับไอออนตะกั่วของวัสดุดูดซับกลับมีแนวโน้มลดลง (97.79-98.71%) เนื่องจากสัดส่วนระหว่างปริมาณตัวถูกดูดซับต่อตำแหน่งที่ว่องไวบนวัสดุดูดซับที่สามารถดูดซับไอออนตะกั่วที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่ำมีค่ามากกว่าที่ความเข้มข้นเริ่มต้นสูง และวัสดุดูดซับเริ่มเข้าสู่การดูดซับที่อิ่มตัวจึงทำให้ความสามารถในการดูดซับที่ความเข้มข้นเริ่มต้นสูงมีประสิทธิภาพการดูดซับลดลง [14]

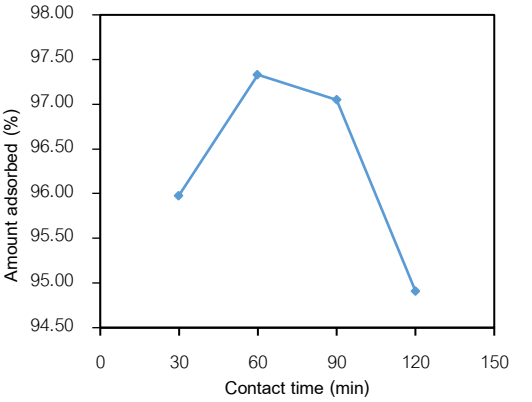

Figure 2.Effect of contact time

Table1.The amount of copper adsorbed by tannin immobilized *Broussonetiapapyrifera* (L.) Vent.pulp at different contact times

Contact times (min)	Amount adsorbed (%)				
	1 ppm	3 ppm	5 ppm	7 ppm	10 ppm
30	95.98	97.87	98.87	97.73	98.90
60	97.33	98.27	98.84	96.49	98.80
90	97.05	97.95	99.23	97.79	98.71
120	94.91	98.48	99.22	97.77	98.61

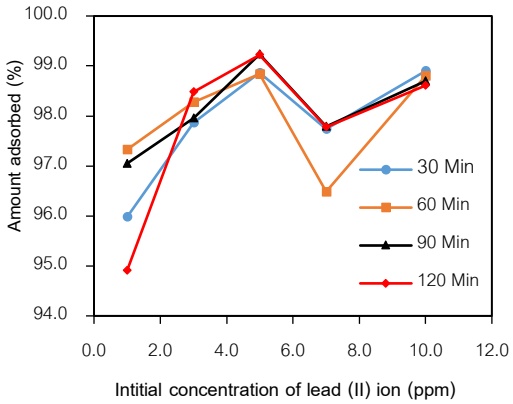

Figure 3. Effect of initial concentration

3. ผลการศึกษาความสามารถในการดูดซับไอออนตะกั่วที่สมดุล

เมื่อพิจารณา Figure 4 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซับไอออนตะกั่วที่ความเข้มข้นต่างๆ พบว่าความสามารถในการดูดซับไอออนตะกั่วเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วสูงขึ้น โดยค่าความสามารถในการดูดซับไอออนตะกั่วที่สมดุล (q_e) มีค่าเท่ากับ 0.099,0.298,0.493,0.687 และ 0.977 มิลลิกรัมต่อกรัม ที่สารละลายตะกั่วความเข้มข้น 1, 3,5,7 และ 10 ppmตามลำดับ

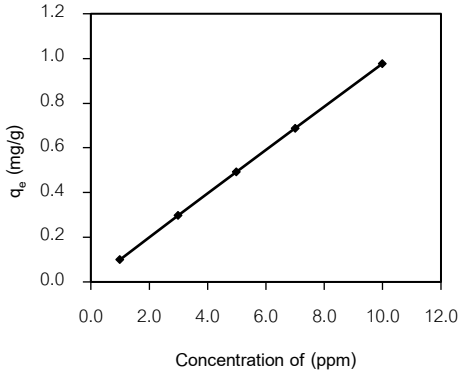

Figure 4. Equilibrium isotherm of copper on bioadsorbent

4. ผลการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับไอออนตะกั่ว

Figure 5 และ Figure 6แสดงกราฟไอโซเทอมการดูดซับไอออนตะกั่วของวัสดุดูดซับตามรูปแบบของสมการแลงเมียร์และฟรุนดลิช ตามลำดับ โดยมีค่าคงที่ไอโซเทอมการดูดซับตามของสมการแลงเมียร์และฟรุนดลิช ดังแสดงในTable 2 เมื่อพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่มีความใกล้เคียง 1 มากที่สุด พบว่า การดูดซับไอออนตะกั่วของวัสดุดูดซับสอดคล้องกับไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิชมากกว่าไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์ โดยมีค่า R^2 = 0.9939 แสดงว่าการดูดซับบนพื้นผิวของตัวถูกดูดซับเป็นแบบหลายชั้น (Multilayer) และการดูดซับเกิดขึ้นจากแรงดึงดูดเป็นแรงทางเคมีที่ไม่สามารถผันกลับได้ [15]

Table 2. Langmiur and Freundlich isotherm constants

Langmiur			Freundlich		
q_m	b	R^2	K	n	R^2
1.158	16.23	0.9312	2.15	1.88	0.9939

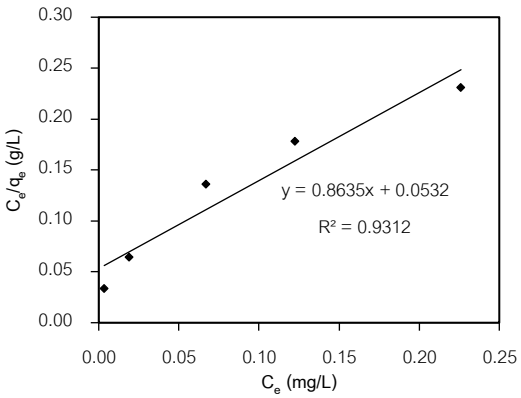

Figure 5. Plot ofthe Langmiur equation

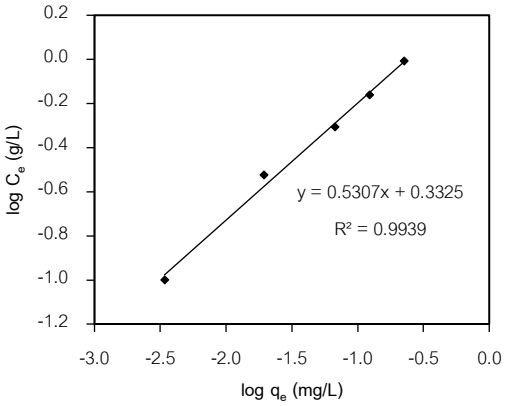

Figure 6. Plot of the Freundlich equation

อภิปรายผล

งานวิจัยครั้งนี้ทำการศึกษาและพัฒนาวัสดุดูดซับทางชีวภาพจากซากมวลชีวภาพที่มีสารแทนนินเป็นองค์ประกอบและนำตรึงบนเส้นใยปอสา เนื่องจากสารแทนนินประกอบกลุ่มโพลีฟีนอลที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl)เป็นจำนวนมากทำให้มีความสามารถในการจับกับไอออนของโลหะได้หลากหลายชนิด[6] และเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับของวัสดุดูดซับโดยใช้เส้นใยปอสาซึ่งเป็นเส้นใยธรรมชาติที่โครงสร้างมีความเป็นขั้วสูง สามารถยึดเกาะกับสารชีวภาพ และสามารถย่อยสลายได้ในธรรมชาติ[9] โดยสารแทนนินสามารถสกัดจากเปลือกกล้วยน้ำว้าดิบ ด้วยวิธีการเตรียมที่สามารถทำได้ง่ายและใช้สารเคมีไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม โดยสกัดสารแทนนินจากเปลือกกล้วยด้วยตัวทำละลายผสมน้ำและเอทานอลในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร ซึ่งพบว่าปริมาณสารแทนนินที่สามารถสกัดได้มีค่าเท่ากับ18.17 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จากนั้นนำมาเตรียมวัสดุดูดซับโดยนำสารสกัดแทนนินมาตรึงบนเส้นใยปอสา ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการศึกษาดูดซับไอออนตะกั่ว และความสามารถในการดูดซับไอออนตะกั่วของวัสดุดูดซับ

ผลจากการศึกษาอิทธิพลของน้ำหนักวัสดุดูดซับที่มีต่อความสามารถในการดูดซับไอออนตะกั่ว โดยใช้น้ำหนักวัสดุดูดซับ 0.5,1.0 และ 1.5กรัม ตามลำดับ พบว่าวัสดุดูดซับหนัก 1กรัมมีค่าร้อยละการดูดซับไอออนตะกั่วสูงที่สุดเท่ากับ 98.61เนื่องจากการเพิ่มน้ำหนักของวัสดุดูดซับทำให้มีพื้นที่ผิวในการสัมผัสกับไอออนตะกั่วมากขึ้น อย่างไรก็ตามเพิ่มน้ำหนักของวัสดุดูดซับมากเกินไปอาจส่งผลให้ค่าความสามารถในการดูดซับลดลงเนื่องจากปริมาณไอออนตะกั่วที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของวัสดุดูดซับลดลง [11]ต่อมาเมื่อพิจารณาผลจากอิทธิพลของเวลาที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับไอออนตะกั่วของวัสดุดูดซับจากสารแทนนินที่ตรึงบนเส้นใยปอสา โดยใช้ระยะเวลาในการดูดซับที่แตกต่างกัน ได้แก่ 30,60,90 และ 120 นาที ตามลำดับ พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับไอออนตะกั่วมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการดูดซับเพิ่มขึ้น โดยที่เวลา 90 นาที มีค่าร้อยละการดูดซับไอออนตะกั่วมากที่สุด ในช่วง 97.05-99.23เนื่องจากไอออนของตะกั่วสามารถแพร่ไปยังตำแหน่งที่ว่องไวในการดูดซับของวัสดุดูดซับได้เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการดูดซับเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเวลาในการดูดซับเพิ่มขึ้นเป็น 90-120 นาที ประสิทธิภาพการดูดซับไอออนตะกั่วมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก เนื่องจากอัตราการดูดซับและการคายออกระหว่างไอออนตะกั่วกับวัสดุดูดซับมีอัตราเท่ากัน [14] ต่อมาทำการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นเริ่มต้นที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับไอออนตะกั่วของวัสดุดูดซับ โดยใช้สารละลายไอออนตะกั่วตัวอย่างความเข้มข้น 1,3,5,7 และ 10ppm ตามลำดับ พบว่าความสามารถในการดูดซับไอออนตะกั่วมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารละลายไอออนตะกั่วเพิ่มขึ้นที่ความเข้มข้นเริ่มต้นน้อยๆ แต่เมื่อ

ความเข้มข้นเริ่มต้นสูงขึ้นความสามารถการดูดซับไอออนตะกั่วของวัสดุดูดซับกลับมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากปริมาณตำแหน่งที่ว่องไวบนวัสดุดูดซับบนตัวดูดซับที่สามารถดูดซับไอออนตะกั่วที่ความเข้มข้นเริ่มต้นน้อยๆ มีค่ามากกว่าที่ความเข้มข้นเริ่มต้นสูงขึ้น ซึ่งถ้าความเข้มข้นเข้าสู่การดูดซับที่อิ่มตัว ซึ่งมากเกินว่าวัสดุดูดซับจะสามารถดูดซับได้จะส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับลงลด [14] และเมื่อนำผลการวิจัยมาศึกษาความสามารถในการดูดซับไอออนตะกั่วที่สมดุลและไอโซเทอมการดูดซับไอออนตะกั่ว พบว่าความสามารถในการดูดซับไอออนตะกั่วเพิ่มสูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วเพิ่มสูงขึ้น โดยค่าความสามารถในการดูดซับไอออนตะกั่วที่สมดุลมีค่าเท่ากับ 0.099,0.298,0.493,0.687 และ 0.977 มิลลิกรัมต่อกรัม เมื่อใช้สารละลายไอออนตะกั่วความเข้มข้น 1, 3,5,7 และ 10 ppm ตามลำดับ และพบว่าการดูดซับไอออนตะกั่วของวัสดุดูดซับสอดคล้องกับไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิชมากกว่าไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์เมื่อพิจารณาค่าคงที่สัมพันธ์กับความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับ (K) ค่าคงที่สัมพันธ์กับพลังงานของการการดูดซับ (n) และค่า R^2 พบว่ามีค่าเท่ากับ 2.15, 1.88 และ 0.9939 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าพื้นผิวของตัวดูดซับไม่เป็นเนื้อเดียวกันตลอด [16] โดยการดูดซับเกิดขึ้นจากแรงดึงดูดเป็นแรงทางเคมีที่ไม่สามารถผันกลับได้และการดูดซับบนพื้นผิวของตัวถูกดูดซับเป็นแบบหลายชั้น

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาการเตรียมวัสดุดูดซับทางชีวภาพที่สามารถเตรียมจากวัสดุธรรมชาติสามารถหาได้ง่าย ราคาถูก และวิธีการเตรียมโดยใช้สารเคมีที่ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและมีขั้นตอนที่ไม่ยุ่งยาก โดยการนำสารแทนนินที่สกัดจากกล้วยน้ำว้าดิบที่มีความสามารถในการจับกับไอออนของโลหะหนักมาตรึงบนเส้นใยปอสาเพื่อมีประสิทธิภาพของวัสดุดูดซับในการดูดซับไอออนตะกั่ว จากการศึกษาพบว่าวัสดุดูดซับมีประสิทธิภาพในการดูดซับไอออนตะกั่วที่ช่วงความเข้มข้น 1-10 ppm โดยมีค่าความสามารถในการดูดซับ 0.099-0.977 มิลลิกรัมต่อกรัม และมีไอโซเทอมการดูดซับสอดคล้องกับไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิช จึงอาจกล่าวได้ว่าวัสดุดูดซับทางชีวภาพจากสารแทนนินที่ตรึงบนเส้นปอสาสามารถนำไปพัฒนาและประยุกต์ใช้ในการดูดซับไอออนโลหะหนักที่มีต้นทุนต่ำและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเพื่อบำบัดน้ำเสียจากชุมชนหรือโรงงานอุตสาหกรรมต่อไปได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากโครงการวิจัยงบประมาณแผ่นดิน สำนักคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ 2560 (สัญญารับทุนเลขที่ 2560A14202047) ในการนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณหลักสูตรสาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันวิจัยวิจัยและพัฒนา และศูนย์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ที่ให้ความอนุเคราะห์วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือ เอื้อเฟื้อสถานที่ และอำนวยความสะดวกในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

1. Shah, P.U., Raval, N.P. and Shah, N. K. 2015. Adsorption of copper from an aqueous solution by chemically modified

cassava Strach. *Journal of Materials and Environmental Science*. 6(9): 2573-2582.

2. พรทิพย์ สอนเสถียรอรวี พิศเริงเลื่อน นันทนิตย์ ยิ้มวาสนา และอุษารัตน์ คำทับทิม. 2559. การกำจัดโครเมียมในน้ำทิ้งหลังการวิเคราะห์ซีโอดีด้วยตัวดูดซับแทนนินจากใบฝรั่ง. *วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก*. 9: 39-47.
3. บัญชา ชวาลไชย ฐปน ชื่นบาล ศิราภรณ์ ชื่นบาล และประจวบ ฉายบุ.2550. การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับไอออนของโลหะแคดเมียมและตะกั่วในสารละลายโดยใช้เปลือกลำไยเป็นสารดูดซับ. *วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง*.1(2): 297-308.
4. Sengil, I. A., Özacar, M and Türkmenler, H. 2009. Kinetic and isotherm studies of Cu (II) biosorption onto valonia tannin resin. *Journal of Hazardous Materials*. 162: 1046-1052.
5. อนิสา ทรัพย์นิวัตต์มณฑล ฐานุตตมวงศ์และ อรรณพ หอมจันทร์. 2555. การบำบัดน้ำปนเปื้อนโลหะหนักด้วยเปลือกหอยผสมธรรมชาติ (กระชำ). *การประชุมวิชาการแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 9*. 411-418.
6. ประกร รามกุล. 2553. นวัตกรรมตัวดูดซับแทนนิน. *วิศวกรรมสาร มก*. 23: 17-29.
7. วิภา สุโรจะเมธากุลม, และชิดชม ฮิรางะ. 2537. การสกัดแทนนินจากเปลือกกล้วย. *วารสารเกษตรศาสตร์ สาขาวิทยาศาสตร์*. 28: 578-586.
8. Ma, H.W, Liao, X.P., Liu, X., and Shi, B. 2006. Recovery of platinum (IV) and palladium (II) by bayberry tannin immobilized collagen fiber membrane from water solution. *Journal of Membrane Science*. 278: 373-380.
9. Mohanty, A.M., Misra, M. and Drzal, L.T. 2005. *Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites*. Boca Raton: Taylor & Francis.
10. กมณชนก วงศ์สุขสินและ ปนัดดา ผ่านสำแดง. 2558. การสกัดสารแทนนินจากใบมันสำปะหลัง. *ในการประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ครั้งที่2*. 214-224.
11. พลากร บุญใส และเกรียงไกร บรรจงเมือง. 2558. ไอโซเทอร์มของการดูดซับฟีนอลโดยซีโอไลต์ชนิด SUZ-4 ที่สังเคราะห์จากเถ้าแกลบ.*วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ*. 18(3): 64-71.
12. Sananmuang, R., Udnan, Y. and Chuachuad, W. 2008. Removal of iron in synthetic ground water by chitosan membrane. *NU Science Journal*. 5(2): 200-209.
13. Liao, X., Ma, H., Wang, R. and Shi, Bi. 2004. Adsorption of UO_2^{2+} on tannins immobilized collagen fiber membrane. *Journal of Membrane Science*. 243: 235-241.
14. ยุพดี เส้นขาว. 2557. การกำจัดไอออนแคดเมียมและตะกั่วจากน้ำเสียด้วยมะขามและเปลือกทับทิม. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*. 22(2): 184-201.

15. รวินทร์สุทธะนันท์และ โกวิทย์ปิยะมังคลา. 2554. จลนศาสตร์และเทอร์โมเคมีการดูดซับเมททิลีนบลูโดยใช้แกลบดัดแปร. *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*. 21(2): 337-348.

16. วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ.2558.*ประสิทธิภาพการดูดซับไอออนตะกั่วจากสารละลายโดยใช้อิฐมวลเบาเป็นตัวดูดซับ*.รายงานการวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระนคร, กรุงเทพฯ.