

การกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยตะกอนดินเซรามิกที่ปรับสภาพด้วยเถ้าแกลบดำ

Removal of Lead Contaminated Synthetic Wastewater by
Ceramic Sludge Treated with Black Rice Husk

สุภาวดี น้อยน้ำใส, วัชรวิญา ศรีอินทร์ และ ปิยะดา วชิระวงศกร

Supawadee Noinumsai, Watchareeya Sri-in and Piyada Wachirawongsakorn

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

Environmental Science Programme, Faculty of Science and Technology, Pibulsongkram Rajabhat University

Received : 10 January 2019

Revised : 28 June 2019

Accepted : 5 July 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับของตะกอนดินเซรามิกที่ปรับสภาพด้วยเถ้าแกลบดำในการดูดซับโลหะหนักตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้ตัวดูดซับที่ทำมาจากตะกอนดิน (S) ผสมเถ้าแกลบดำ (BRH) ในอัตราส่วน BRH-S (0:100), BRH-S (10:90), BRH-S (30:70), BRH-S (50:50), BRH-S (70:30), BRH-S (90:10) และ BRH-S (100:0) โดยน้ำหนัก ผลการศึกษาการขึ้นรูปของตัวดูดซับ พบว่า BRH-S (0:100), BRH-S (10:90) และ BRH-S (30:70) สามารถขึ้นรูปเป็นแท่งได้ โดยผลระยะเวลาสมดุลของการดูดซับ พบว่า BRH-S (30:70) และ BRH-S (10:90) มีระยะเวลาสมดุลเท่ากันคือ 20 ชั่วโมง ส่วน BRH-S (0:100) มีระยะเวลาสมดุลที่ 24 ชั่วโมง ผลของร้อยละการกำจัดโลหะหนักตะกั่วโดยเรียงลำดับจากมากไปน้อย คือ BRH-S (30:70), BRH-S (10:90) และ BRH-S (0:100) เท่ากับ 73.24, 62.18 และ 51.71 ตามลำดับ ผลการศึกษาค่าพีเอช พบว่า สามารถดูดซับโลหะหนักตะกั่วได้ดีเมื่อพีเอชเท่ากับ 5 ทำการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักตะกั่ว พบว่า หลังจากการดูดซับที่ความเข้มข้น 25, 50, 75 และ 100 ppm อัตราส่วน BRH-S (30:70) สามารถกำจัดโลหะหนักตะกั่วได้ดีที่สุด ซึ่งจากผลวิจัยนี้จะได้ข้อมูลพื้นฐานสำหรับการใช้ตะกอนดินเซรามิกที่ปรับสภาพด้วยเถ้าแกลบดำเพื่อเป็นทางเลือกใช้ในการพัฒนาตัวดูดซับสำหรับการกำจัดตะกั่วที่มีการปนเปื้อนตะกั่วในน้ำเสียต่อไป

คำสำคัญ : เถ้าแกลบดำ, ตะกอนดินเซรามิก, โลหะหนักตะกั่ว

*Corresponding author. E-mail : Supawadeebumnoinumsai@gmail.com

Abstract

The purpose of this research was to study of the efficiency of Lead heavy metal in Synthetic Wastewater by an adsorbent made from black rice husk (BRH) mixed sludge waste (S) from water treatment process in the ceramic plant of BRH-S(0:100), BRH-S (10:90), BRH-S (30:70), BRH-S (50:50), BRH-S (70:30), BRH-S (90:10) and BRH-S (100:0) wt%. The results showed the adsorbents of BRH-S (0:100), BRH-S (10:90) and BRH-S (30:70) could made as pellet. The equilibrium adsorption times were equal time of 20 hours in both of BRH-S (30:70) and BRH-S (10:90), while the BRH (0:100) was 24 hours. Results of the heavy metal removal percentages, from high to low efficiency, are as follow: RA-S (30:70), RA-S (10:90) and RA-S (0:100) are equal to 73.24%, 62.18% and 51.71%, respectively. Results of the pH values showed that there was a good adsorption at pH 5. From the study of Pb(II) removal efficiency at 25, 50, 75 and 100 ppm, it was found that the adsorption ratios of RA-S (30:70) performed the best adsorption. The result of this research was served a background data and an option for development of ceramic sludge treated with black rice husk for removal of Lead contaminated wastewater containing lead.

Keywords : black rice husk; ceramic sludge waste; lead heavy metal

บทนำ

น้ำเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตทั้งหมด เป็นสิ่งที่ใกล้ตัวและอยู่ในชีวิตประจำวันของมนุษย์และเป็นสิ่งที่มีมนุษย์หลายๆ คนมองข้ามและไม่ให้ความสนใจ อาจเป็นเพราะขาดความรู้ความเข้าใจ หรืออาจเป็นเพราะความมั่งง่ายของแต่ละคน ซึ่งผลที่ตามมาจะกระทบเป็นลูกโซ่ที่วิฤต ท้ายสุดก็กลับมาสู่ตัวมนุษย์อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ เช่น มีการปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำเสีย ในบรรดาโลหะหนักในโลกโดยเฉพาะตะกั่ว เป็นโลหะที่มีมนุษย์สนใจกับความเป็นพิษของมันมากที่สุด เนื่องจากการใช้ประโยชน์อย่างมากมาย ส่วนใหญ่มีการปนเปื้อนมาจากโรงงานอุตสาหกรรม ได้แก่ โรงงานแบตเตอรี่ โรงงานชุบโลหะ โรงงานทำกระดาษ โรงงานผลิตสี หรือจากกิจกรรมการเกษตร อีกทั้งอาจมีสาเหตุมาจากน้ำทิ้งจากชุมชนและครัวเรือน ซึ่งสาเหตุดังกล่าวอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพร่างกาย กล่าวคือ เมื่อได้รับสารตะกั่วเข้าสู่ร่างกายไม่ว่าทางใดจะถูกดูดซึมเข้าสู่ระบบไหลเวียนโลหิต ไปจับกับเม็ดเลือดแดงแทนที่เหล็กซึ่งเป็นโลหะที่จำเป็นในการสร้างเม็ดเลือดแดง ทำให้เกิดอาการโลหิตจาง และมีผลให้ปริมาณเหล็กในน้ำเหลืองเพิ่มขึ้นผิดปกติ บางส่วนไปสะสมในกระดูกโดยจะเข้าไปแทนที่แคลเซียม อาการพิษเรื้อรังที่พบบ่อย คือ อาการของระบบย่อยอาหาร จะเกิดการปวดท้อง น้ำหนักลด เบื่ออาหาร คลื่นไส้ อาเจียน ท้องผูก อาการพิษทางประสาทและสมอง ทำให้ทรงตัวไม่อยู่ เกิดอาการประสาทหลอน ซึมไม่รู้สึกตัว ชัก มือและเท้าตก เป็นอัมพาต สลบ และอาจตายได้ (Badmus *et al.*, 2007) นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ดิน น้ำ อากาศ จึงก่อให้เกิดปัญหาเสื่อมโทรมของคุณภาพสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะทรัพยากรน้ำ เนื่องจากทรัพยากรน้ำเมื่อผ่านขบวนการใช้หนึ่งๆ ย่อมมีระดับคุณภาพเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งอาจจะไม่เหมาะสมสำหรับที่จะนำไปใช้ในกิจกรรมอื่นๆ อีก (Chiengmai, 1982; Azouaou *et al.*, 2013)

ปัจจุบันคุณภาพของแหล่งน้ำต่างๆ ในท้องถิ่นได้เสื่อมโทรมลงไปมาก อีกทั้งยังมีปัญหาการปนเปื้อนของโลหะหนัก ซึ่งโลหะหนักตะกั่วในน้ำเสียสามารถบำบัดได้ โดยมีวิธีการบำบัดต่างๆ อยู่ 3 วิธี ได้แก่ วิธีทางกายภาพ วิธีทางเคมีและวิธีทางชีวภาพ แต่ละวิธีก็มีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันออกไป เช่น การกรองด้วยแผ่นเยื่อ การแลกเปลี่ยนประจุ และการใช้ไอโซน

เป็นต้น (Badmus *et al.*, 2007) วิธีที่กล่าวมานี้สามารถกำจัดตะกั่วได้ แต่ค่าใช้จ่ายในการลงทุนและการบำรุงรักษาที่สูงเช่นกัน เพราะฉะนั้น การใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาดูดซับตะกั่วจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจเพราะเป็นวัสดุราคาถูกและหาได้ง่าย และมีค่าการดูดซับโลหะหนักสูง ประเทศไทยเป็นประเทศที่ผลิตข้าวเป็นอันดับหนึ่งของโลก ในแต่ละปีจะมีปริมาณข้าวเปลือกที่ได้จากการเก็บเกี่ยวประมาณ 6.228 ล้านตัน (Department of Agriculture, 1995) เมื่อสีข้าวเปลือกจะได้ผลผลิตสองส่วน คือ ข้าวสารและแกลบ โดยมีปริมาณแกลบ คิดเป็นร้อยละ 10 ของปริมาณข้าวเปลือกที่ผลิตได้ (Chuah *et al.*, 2005) นอกจากนี้ยังพบว่า การนำแกลบมาทำปฏิกิริยากับกรดหรือเบสก่อนเผาและในระหว่างการเผา หากมีการไหลผ่านก๊าซจะช่วยให้สารเจือปนของสารประกอบออกไซด์ลดปริมาณลงอย่างมาก ส่งผลให้ปริมาณซิลิกาที่ได้มีปริมาณสูงขึ้น เนื่องจากซิลิกามีโครงสร้างเป็นรูพรุน มีคุณสมบัติสามารถเป็น ion exchange อีกทั้งจากการสำรวจตะกอนดิน ซึ่งเป็นของเสียเหลือทิ้งที่เกิดจากระบบบำบัดน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรมเซรามิก จากการสำรวจฐานข้อมูลกรมโรงงานอุตสาหกรรม ปี 2550 ระบุว่าปริมาณตะกอนดินจากระบบบำบัดน้ำเสียมีประมาณ 7,070 ตัน โดยเฉพาะในพื้นที่ ต.ปลักแรด อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก ได้มีการทำวิสาหกิจชุมชนเป็นการผลิตเซรามิกเครื่องปั้นดินเผา มีกระบวนการผลิตชิ้นงานต่างๆ ได้แก่ การเตรียมวัตถุดิบ การขึ้นรูป การตกแต่งชิ้นงาน ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการเผาทั้ง การเผาเคลือบ และการเผาบิสกิต จึงทำให้เกิดปริมาณตะกอนที่เป็นของเสียเหลือทิ้ง หากไม่มีการบำบัดหรือนำกากตะกอนดินมาใช้ประโยชน์ อาจมีการปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม โดยที่ผ่านมาได้มีการปรับปรุงตัวดูดซับด้วยวิธีการต่างๆ ได้แก่ การปรับสภาพด้วยสารละลายที่เป็นกรดและด่าง (Gou & Lua, 2001) นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาตัวดูดซับที่ทำจากดินเหนียวที่ปรับสภาพด้วยเถ้าแกลบดำ เนื่องจากเป็นวัสดุธรรมชาติที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น ซึ่งมีคุณสมบัติในการดูดซับสารต่างๆ ได้ดี (Kaenkaew & Doungdeun, 2007)

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาประสิทธิภาพของการดูดซับโลหะหนักตะกั่ว โดยใช้ตะกอนดินเซรามิกปรับสภาพด้วยเถ้าแกลบดำ โดยการนำเถ้าแกลบดำและตะกอนดินที่เหลือทิ้งจากระบวนการผลิตมาใช้ให้เกิดประโยชน์ เพื่อนำมาพัฒนาเป็นตัวดูดซับโลหะหนักตะกั่ว จากการใช้ส่วนผสมของเถ้าแกลบดำและตะกอนดินที่มีส่วนช่วยในการดูดซับโลหะหนักตะกั่ว สามารถช่วยลดปริมาณขยะ ช่วยส่งเสริมให้มีระบบนิเวศที่ดีขึ้น เป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งกลับมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์และช่วยลดปริมาณน้ำเสียให้มีคุณภาพที่ดีขึ้น

วิธีดำเนินการวิจัย

1. อุปกรณ์

ขวดรูปชมพู่ ขวดวัดปริมาตร ปีเปต ตะแกรงร่อน ครก หลอดยา เครื่องวัดพีเอช กระดาษกรอง กรวยกรอง เครื่องเขย่า เตาเผาอุณหภูมิสูง เครื่องอะตอมมิคแอปซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

2. การเตรียมวัตถุดิบและการขึ้นรูปตัวดูดซับ

นำตะกอนดินเซรามิกที่ได้รับความอนุเคราะห์มาจากวิสาหกิจชุมชนเซรามิก อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก และเถ้าแกลบเหลือทิ้งที่ได้รับความอนุเคราะห์จากโรงไฟฟ้าชีวมวลจากแกลบ จังหวัดพิจิตร มาตากแดดให้แห้งและนำมาบดให้ละเอียดแล้วนำมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 30 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 มิลลิเมตร ทำการทดสอบการขึ้นรูปในอัตราส่วน 0:100, 10:90, 30:70, 50:50, 70:30, 90:10 และ 100:0 โดยน้ำหนัก นำอัตราส่วนต่างๆ ไปผสมโดยเติมน้ำกลั่นจนมีความเหนียวพอผสมให้เข้ากัน นำมาขึ้นรูปให้เป็นแท่ง แล้วนำไปเผาให้ความร้อนในเตาที่อุณหภูมิ 500 °C เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็น นำไปเก็บไว้ในโถไลด์ความชื้นเพื่อใช้ในการทดสอบหาประสิทธิภาพต่อไป ทำการทดสอบการละลายของตัวดูดซับใน

อัตราส่วนต่างๆ ปริมาณ 1.000 กรัม ใส่ในสารละลายโลหะหนักตะกั่วสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร แล้วนำไปเขย่าด้วยความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที ณ อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3. การเตรียมสารละลายตะกั่วสังเคราะห์

เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ของตะกั่วความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ซังเลด (II) ไนเตรท $Pb(NO_3)_2$ ปริมาณ 1.5986 กรัม ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1 ลิตร จากนั้นเก็บน้ำเสียสังเคราะห์ของตะกั่วที่มีความเข้มข้นต่างๆ ที่ได้ไว้ในขวดโพลีเอทิลีน ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น จะได้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของตะกั่ว 1,000 ppm แล้วเปิดสารละลายดังกล่าวมา 25, 50, 75 และ 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร นำน้ำเสียสังเคราะห์ของตะกั่วที่ได้เก็บไว้ในขวดโพลีเอทิลีน

4. การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับโลหะหนักตะกั่ว

4.1 การศึกษามลของพีเอช (pH) ที่เหมาะสมต่อการกำจัดโลหะหนักตะกั่ว

การศึกษามลของพีเอชที่เหมาะสมต่อการกำจัดโลหะหนักตะกั่ว โดยการเตรียมสารละลายโลหะหนักตะกั่วที่มีความเข้มข้นเหมาะสมปริมาตร 100 มิลลิลิตร นำมาใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ปรับค่าพีเอช ดังนี้ 1, 3, 5, 7, 9, 11 และที่ไม่ได้ปรับค่าพีเอช ซึ่งปรับค่าพีเอชโดยใช้ 0.1 M NaOH และ 0.1 M HCl โดยทำการชั่งตัวดูดซับหนัก 1.000 กรัม นำไปเขย่าด้วยความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที ด้วยเวลาที่เหมาะสม แล้วนำมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 จากนั้นเก็บตัวอย่างส่วนใสที่ได้นำไปย่อย แล้วนำมาวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักตะกั่วด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (AAS)

4.2 การศึกษาระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสมต่อการดูดซับโลหะหนักตะกั่ว

การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการดูดซับโลหะหนักตะกั่ว โดยการเตรียมโลหะหนักตะกั่วที่มีความเข้มข้น 100 ppm ปริมาตร 100 มิลลิลิตร นำมาใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร ปรับค่า pH ที่เหมาะสมตามการทดลองที่ ข้อที่ 4.1 แล้วชั่งตัวดูดซับหนัก 1.000 กรัม นำไปเขย่าด้วยความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที ณ อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 60, 180, 300, 420, 540, 660, 780 และ 900 นาที ตามลำดับ แล้วนำมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 จากนั้นเก็บตัวอย่างส่วนใสที่ได้นำไปย่อย เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักตะกั่วด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (ASS)

4.3 การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์

การศึกษาระดับความเข้มข้นที่เหมาะสม ทำโดยการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์มาตรฐานความเข้มข้น 25, 50, 75 และ 100 ppm ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ที่มีตัวดูดซับหนัก 1.000 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปเขย่าในระยะเวลาที่เหมาะสมที่ได้จากหัวข้อ 4.2 โดยใช้ความเร็วรอบ 100 รอบ/นาที ณ อุณหภูมิห้อง นำมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 เก็บตัวอย่างส่วนใสที่ได้ไปย่อยเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักตะกั่วด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (ASS).

4.4 การทดสอบค่าความสามารถในการดูดซับโลหะหนักตะกั่ว

4.4.1 ร้อยละการกำจัด ดังสมการที่ 1

$$\text{ร้อยละการกำจัด} = \left[\frac{\text{ปริมาณตะกั่วก่อนดูดซับ} - \text{ปริมาณตะกั่วหลังดูดซับ}}{\text{ปริมาณตะกั่วก่อนดูดซับ}} \right] \times 100 \quad (1)$$

4.4.2 ไอโซเทอมการดูดซับ

1. ค่าไอโซเทอมแลงเมียร์ ดังสมการที่ 2

$$q = \frac{(X_m K_I C_e)}{1 + K_I C_e} \quad (2)$$

q = ปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับ (มิลลิกรัม/กรัม หรือ โมล/กรัม)

X_m = ปริมาณของตัวถูกละลายมากที่สุดที่ถูกดูดซับเพื่อสร้างการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer) (มิลลิกรัม/กรัม หรือ โมล/กรัม)

C_e = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสารละลายที่จุดสมดุล (มิลลิกรัม/กรัม หรือ โมล/ลิตร)

K_I = ค่าคงที่ทางพลังงานของการดูดซับ

2. ค่าไอโซเทอมฟรุนดลิช ดังสมการที่ 3

$$q = \frac{x}{m} = K_f C_e^{1/n} \quad (3)$$

x = ปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับ (มิลลิกรัม/กรัม หรือ โมล/กรัม)

C_e = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสารละลายที่จุดสมดุล (มิลลิกรัม/กรัม หรือ โมล/ลิตร)

K_f = ค่าคงที่สัมพันธ์กับความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับ

$1/n$ = ค่าคงที่สัมพันธ์กับพลังงานของการดูดซับ

m = น้ำหนักของตัวดูดซับ (กรัม)

ผลการวิจัย

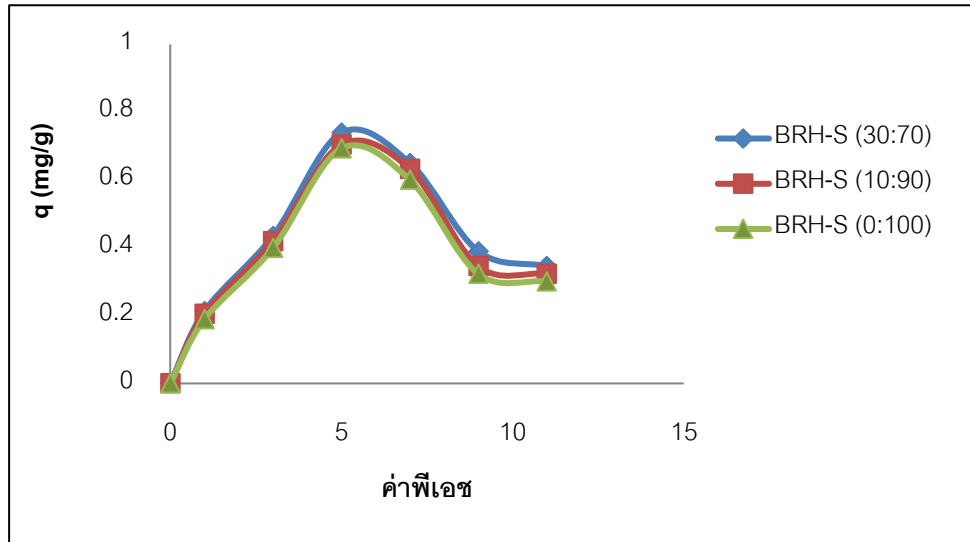
ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยตัวดูดซับที่ศึกษา คือ ถ้ำแกลบดำผสมตะกอนดิน (BRH-S) ในอัตราส่วนที่ 0:100, 10:90, 30:70, 50:50, 70:30, 90:10 และ 100:0 โดยน้ำหนัก ซึ่งแทนสัญลักษณ์ BRH หมายถึง ถ้ำแกลบดำ, S หมายถึง ตะกอนดินโรงงานเซรามิก โดยมีผลการศึกษาดังต่อไปนี้

1. ผลการศึกษารูปร่างรูปตัวดูดซับ

การศึกษารูปร่างรูปตัวดูดซับระหว่างตะกอนดินผสมถ้ำแกลบดำในอัตราส่วน 0:100, 10:90, 30:70, 50:50, 70:30, 90:10 และ 100:0 จากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่า อัตราส่วน 0:100, 10:90 และ 30:70 สามารถนำมาขึ้นรูปแล้วคงตัว คือไม่แตกและไม่ละลายน้ำ จึงเป็นอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมในการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับต่อไป

2. ผลการศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะหนักตะกั่ว

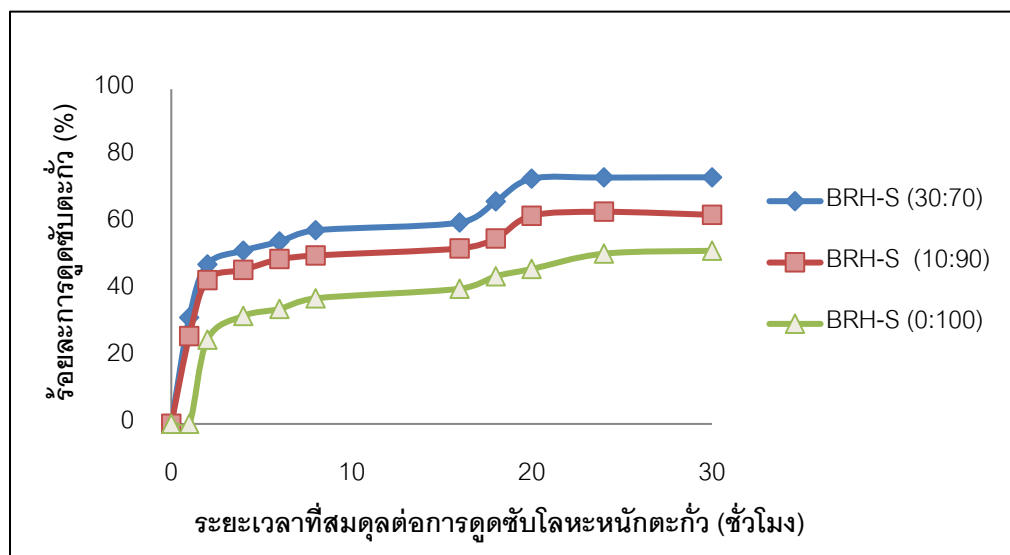
จากการศึกษาค่าพีเอช พบว่า ปริมาณการดูดซับโลหะหนักตะกั่ว จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อค่าพีเอชอยู่ในช่วง 1-5 หลังจากพีเอช มากกว่า 5 ค่าปริมาณการดูดซับโลหะหนักตะกั่วจะค่อยๆ ลดลง ซึ่งจากการศึกษาจะเห็นว่าตัวดูดซับทุกๆ อัตราส่วน มีค่าความสามารถในการดูดซับโลหะหนักตะกั่วสูงสุดที่พีเอชเท่ากับ 5 ภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ค่าพีเอช (pH) ที่สมดุลต่อการดูดซับโลหะหนักตะกั่ว

3. ผลการศึกษาระยะเวลาสมดุลที่เหมาะสมต่อการดูดซับโลหะหนักตะกั่ว

จากการศึกษาระยะเวลาสมดุลของการดูดซับโลหะหนักตะกั่ว พบว่า BRH-S (30:70) และ BRH-S (10:90) มีระยะเวลาสมดุลที่ 20 ชั่วโมงเท่ากัน ส่วนระยะเวลาสมดุลของ BRH-S (0:100) จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึงระยะเวลาสมดุลที่ 24 ชั่วโมง ดังนั้น จึงเลือกระยะเวลาสมดุลที่ 24 ชั่วโมงเท่ากัน เพื่อแน่ใจว่าเป็นระยะเวลาสมดุลที่แท้จริง โดยตัวดูดซับที่ผสมแก้วกลับดำ จะเข้าสู่สมดุลเร็วกว่าที่ไม่ผสมแก้วกลับดำ ภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ระยะเวลาที่สมดุลต่อการดูดซับโลหะหนักตะกั่ว

4. ผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์

หลังจากการศึกษาประสิทธิภาพที่ปนเปื้อนในน้ำเสียสังเคราะห์ ด้วยตะกอนดินเซรามิกที่ปรับสภาพด้วยเถ้าแกลบดำ ทั้ง 3 อัตราส่วน คือ BRH-S (0:100), BRH-S (10:90) และ BRH-S (30:70) จะเห็นได้ว่า ในน้ำเสียสังเคราะห์เหลือความเข้มข้นของโลหะหนักตะกั่วหลังถูกดูดซับที่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 โดยพบว่าหลังจากการดูดซับที่ความเข้มข้น 25, 50, 75 และ 100 ppm พบว่า อัตราส่วน BRH-S (30:70) สามารถกำจัดโลหะหนักตะกั่วได้ดีที่สุด ซึ่งมีปริมาณโลหะหนักตะกั่วเหลืออยู่เพียง 1.50 ± 0.09 , 12.35 ± 0.22 , 21.35 ± 0.11 และ 30.34 ± 0.22 ตามลำดับ รองลงมาคือ BRH-S (10:90) มีปริมาณโลหะหนักตะกั่วเหลืออยู่ 5.42 ± 0.20 , 19.25 ± 0.11 , 33.47 ± 0.26 และ 49.11 ± 1.11 ตามลำดับ และ BRH-S (0:100) มีโลหะหนักตะกั่วเหลืออยู่เพียง 14.38 ± 0.15 , 37.27 ± 0.14 , 57.51 ± 0.31 และ 80.46 ± 0.31 ตามลำดับ ตารางที่ 1

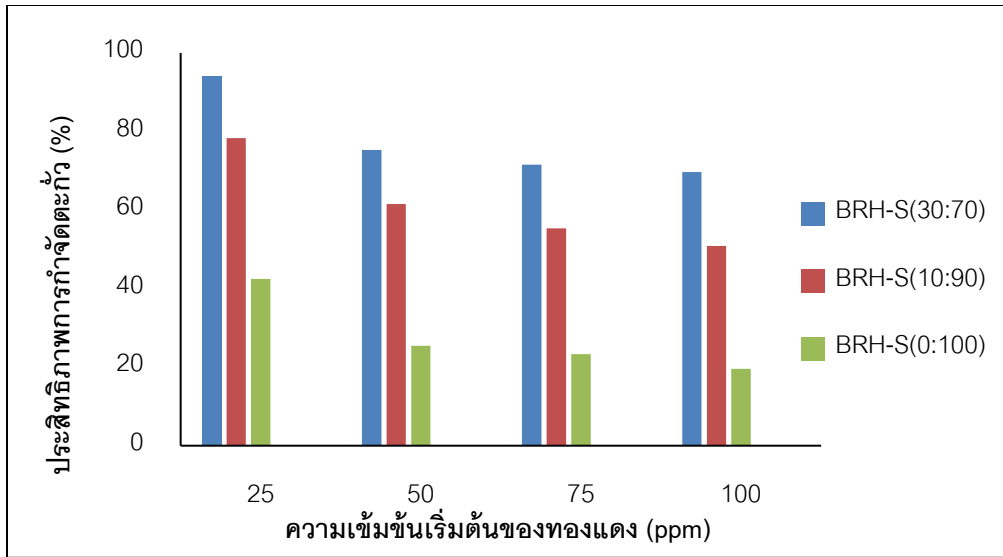
ตารางที่ 1 ความเข้มข้นของโลหะหนักตะกั่วที่เหลือในน้ำเสียสังเคราะห์หลังการดูดซับบนตัวดูดซับ

ความเข้มข้นเริ่มต้น	สารละลายโลหะหนักตะกั่ว (ppm)		
	BRH-S (30:70)	BRH-S (10:90)	BRH-S (0:100)
25 ppm	1.50 ± 0.09^c	5.42 ± 0.20^b	14.38 ± 0.15^a
50 ppm	12.35 ± 0.22^c	19.25 ± 0.11^b	37.27 ± 0.14^a
75 ppm	21.35 ± 0.11^c	33.47 ± 0.26^b	57.51 ± 0.31^a
100 ppm	30.34 ± 0.22^c	49.11 ± 1.11^b	80.46 ± 0.31^a

หมายเหตุ เปรียบเทียบความสามารถของตัวดูดซับที่แตกต่างกันในการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยพิจารณาจากปริมาณโลหะหนักตะกั่วที่เหลืออยู่ในแต่ละความเข้มข้น ซึ่งค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษที่เหมือนกันในแนวนอนจะไม่มี ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95

5. การศึกษาประสิทธิภาพของตัวดูดซับในการกำจัดโลหะหนักตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์

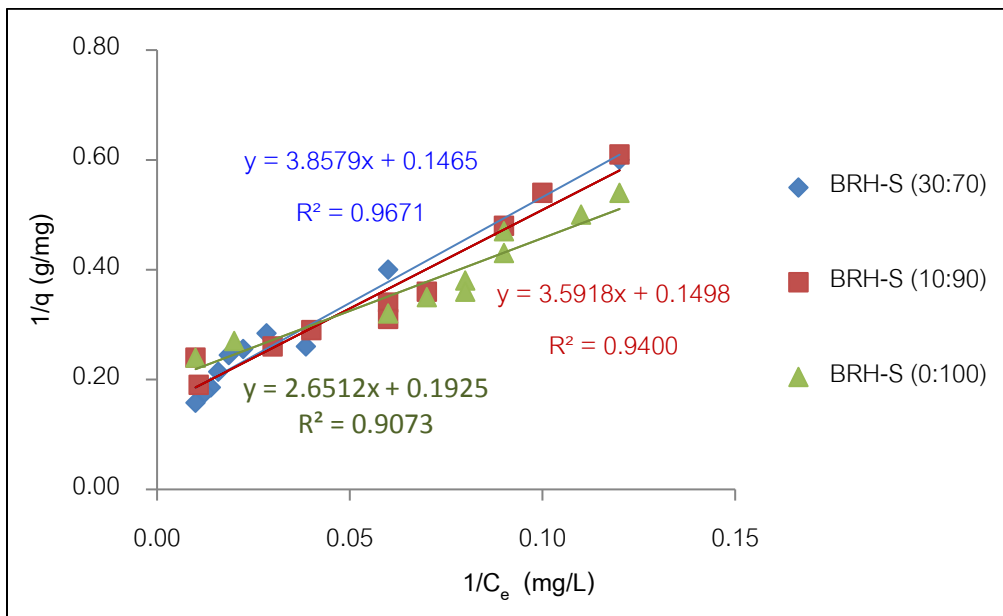
ผลการศึกษาพบว่า ตัวดูดซับทั้ง 3 อัตราส่วนมีประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักตะกั่วแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ในทุกระดับความเข้มข้น โดยประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักตะกั่วสูงสุด คือ BRH-S (30:70) เท่ากับ 94.00 รองลงมา คือ BRH-S (10:90) และ BRH-S (0:100) มีประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักตะกั่วเท่ากับ 78.32 และ 42.48 ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 และในการกำจัดน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนตะกั่วที่มีความเข้มข้นระดับ 100 ppm จะมีประสิทธิภาพในการดูดซับต่ำที่สุดในทุกอัตราส่วน ภาพที่ 3



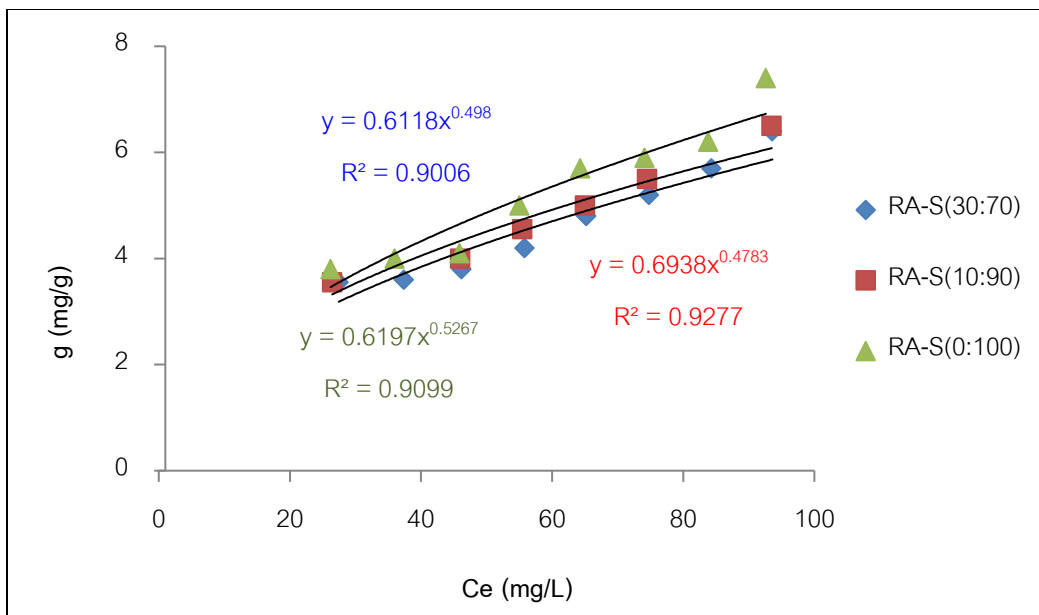
ภาพที่ 3 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วด้วยตะกอนดินเซรามิกผสมเถ้าแกลบดำที่ความเข้มข้น 25, 50, 75 และ 100 ppm

6. ไอโซเทอม

ไอโซเทอมของการดูดซับ (Adsorption Isotherm) ของตัวดูดซับโลหะหนักตะกั่ว 3 อัตราส่วน คือ BRH-S(30:70), BRH-S (10:90) และ BRH-S(0:100) ที่ความเข้มข้นโลหะหนักตะกั่ว 25, 50, 75 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 100 มิลลิลิตร ถูกคำนวณโดยใช้สมการทำนายของแบบจำลอง Langmuir Isotherm และ Freundlich Isotherm (ภาพที่ 4 และ ภาพที่ 5) และสามารถสรุปค่าคงที่ของ Langmuir Isotherm และ Freundlich Isotherm (ตารางที่ 2)



ภาพที่ 4 Langmuir Adsorption Isotherm



ภาพที่ 5 Freundlich Adsorption Isotherm

ตารางที่ 2 ค่าคงที่ของสมการ Langmuir Isotherm และ Freundlich Isotherm

วัสดุดูดซับ	Langmuir			Freundlich		
	X_m (mg/g)	K_f (L/mg)	R^2	K_f (L/mg)	1/n	R^2
BRH-S (30:70)	6.8259	0.5651	0.9671	0.6118	0.4980	0.9006
BRH-S (10:90)	6.6756	0.5380	0.9400	0.6938	0.4783	0.9277
BRH-S (0:100)	5.1948	0.5103	0.9073	0.6197	0.5267	0.9099

จากตารางที่ 2 เมื่อพิจารณาค่า R^2 พบว่า สมการของไอโซเทอมแลงเมียร์ มีค่า R^2 เข้าใกล้ 1 มากกว่า สมการไอโซเทอมฟรุนดลิช แสดงให้เห็นว่ากระบวนการดูดซับที่เกิดขึ้นสอดคล้องกับรูปแบบการดูดซับของไอโซเทอมแลงเมียร์ โดยพิจารณาค่า R^2 ของตัวดูดซับในอัตราส่วน BRH-S(30:70), BRH-S(10:90) และ BRH-S(0:100) มีค่าเท่ากับ 0.9671, 0.9400 และ 0.9073 ตามลำดับ แสดงว่า ในทุกอัตราส่วนบนพื้นที่ผิวเป็นระบบการดูดซับที่พื้นผิวเป็นแบบชั้นเดียว (monolayer adsorption process) จัดเป็นกระบวนการดูดซับทางเคมี (chemical adsorption) เมื่อพิจารณาค่าความจุของปริมาณการดูดซับโลหะหนักตะกั่วสูงสุด (x_m) ของ BRH-S(30:70), BRH-S(10:90) และ BRH-S(0:100) มีค่าเท่ากับ 6.8259 mg/g, 6.6756 mg/g และ 5.1948 mg/g ตามลำดับ สำหรับค่าคงที่ในการกระจายตัวของสารดูดซับ (K_f) BRH-S(30:70), BRH-S(10:90) และ BRH-S(0:100) มีค่าเท่ากับ 0.5651 L/mg, 0.5380 L/mg และ 0.5103 L/mg ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการดูดซับโลหะหนักตะกั่วได้ดี ทั้งนี้เนื่องจากเกิดกลไกการเกิดปฏิกิริยาโดยเป็นการแลกเปลี่ยนไอออนโลหะหนักกับตัวดูดซับ จึงเหมาะสมในการนำไปใช้งานในการบำบัดน้ำเสียต่อไปในอนาคต

วิจารณ์ผลการวิจัย

จากการศึกษาสามารถวิจารณ์ผลการวิจัยได้ดังนี้

ผลการศึกษารูปร่างระหว่างตะกอนดินผสมกับเถ้าแกลบดำ ในอัตราส่วน 0:100 10:90 30:70 50:50 70:30 90:10 และ 100:0 โดยน้ำหนัก โดยสัญลักษณ์ S หมายถึง ตะกอนดินจากโรงงานเซรามิก และ BRH หมายถึง เถ้าแกลบดำจากโรงงานไฟฟ้าชีวมวล ซึ่งตัวดูดซับที่ทำการศึกษาเมื่อนำมาทดสอบการขึ้นรูปด้วยการละลาย พบว่า BRH-S(0:100), BRH-S(10:90) และ BRH-S(30:70) สามารถขึ้นรูปได้แล้วคงตัว จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาเป็นตัวดูดซับ ส่วน BRH-S(50:50), BRH-S(70:30), BRH-S(90:10) และ BRH-S(100:0) ไม่สามารถขึ้นรูปได้ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองขึ้นรูปเม็ดดูดซับที่ทำจากเถ้าแกลบดำโดยการผสมดินเหนียวในอัตราส่วนต่างๆ คือ 1:0, 1:1, 2:1 และ 3:1 จากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าอัตราส่วน 1:0 และ 3:1 เท่านั้นที่ขึ้นรูปได้แล้วคงตัว (Kaenkaew & Doungdeun, 2007) และสอดคล้องกับการศึกษาโลหะหนัก ด้วยเม็ดดูดซับที่ผลิตจากกากชาและกาแฟโดยผสมกับดินเหนียว พบว่าอัตราส่วนของตัวดูดซับที่ผสมดินเหนียวน้อยจะไม่สามารถขึ้นรูป ยกเว้นอัตราส่วนของตัวดูดซับระหว่างกากกาแฟและชาที่ผสมดินเหนียวในอัตราส่วน 20:80 เท่านั้นที่สามารถขึ้นรูปและไม่ละลายน้ำ (Sama, 2010)

ผลการศึกษาค่าพีเอช พบว่า ค่าพีเอชเป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการดูดซับ โดยงานวิจัยนี้สามารถดูดซับโลหะหนักตะกั่วได้สูงสุดที่พีเอช เท่ากับ 5 สอดคล้องกับงานวิจัยการดูดซับตะกั่ว (II) และทองแดง (II) ในน้ำเสียโดยใช้ถ่านชีวภาพจากเปลือกกล้วยน้ำว่า พบว่า ค่าพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับตะกั่ว (II) เท่ากับ 5 สังเกตได้จากร้อยละการดูดซับตะกั่ว (II) สูงที่สุดเมื่อค่าพีเอชของสารละลายตะกั่วต่ำกว่า 5 มีผลทำให้ร้อยละการดูดซับตะกั่วลดลง (Amarasinghe & Williams, 2007) เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Wuttisela *et al.*, (2012) ที่ได้ศึกษาการดูดซับตะกั่วด้วยดินป่าบุงป่าทาม จังหวัดมหาสารคาม ผลการศึกษาอิทธิพลของพีเอชที่มีผลต่อการดูดซับโลหะหนักตะกั่ว โดยค่าพีเอชที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 3-6 เนื่องจาก ค่าพีเอชที่ต่ำกว่า 3 จะมีโปรตอนในสารละลายจำนวนมาก ส่งผลทำให้การดูดซับลดลงและหากค่าพีเอชในสารละลายโลหะหนักตะกั่วมากกว่า 6 จะเกิดการตกตะกอนในรูปของตะกั่วไฮดรอกไซด์ $Pb(OH)_2$ จึงส่งผลทำให้ค่าความสามารถในการดูดซับโลหะหนักตะกั่วลดลง

ผลการศึกษาระยะเวลาสมดุลของการดูดซับโลหะหนักตะกั่ว พบว่า BRH-S (30:70) และ BRH-S (10:90) มีระยะเวลาสมดุลที่ 20 ชั่วโมงเท่ากัน ส่วนระยะเวลาสมดุลของ BRH-S (0:100) จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึงระยะเวลาสมดุลที่ 24 ชั่วโมง ดังนั้นจึงเลือกระยะเวลาสมดุลที่ 24 ชั่วโมงเท่ากัน เพื่อแน่ใจว่าเป็นระยะเวลาสมดุลที่แท้จริง โดยตัวดูดซับที่ผสมเถ้าแกลบดำจะเข้าสู่สมดุลเร็วกว่าที่ไม่ผสมเถ้าแกลบดำ ทั้งนี้อาจเพราะโครงสร้างเถ้าแกลบดำมีรูพรุนและมืองค์ประกอบของเซลลูโลสเฮมิเซลลูโลสและลิกนิน ทำให้สามารถกำจัดโลหะหนักตะกั่วได้ดีกว่า จึงทำให้เข้าสู่สมดุลได้เร็วกว่าตะกอนดินเพียงอย่างเดียว ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองการดูดซับโลหะหนักตะกั่วและแคดเมียมด้วยสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Oscillatoria sp.* TISTR 8491 ในน้ำชะขยะบริเวณหลุมฝังกลบของเทศบาลเมืองสงขลา การศึกษาพบว่าในช่วง 30 นาทีแรก สาหร่ายสามารถดูดซับโลหะหนักตะกั่วและแคดเมียมได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากพื้นที่ผิวของวัสดุยังมีที่ว่าง จากนั้นปริมาณโลหะหนักตะกั่วและแคดเมียมที่ถูกดูดซับจะเริ่มคงที่ ซึ่งการดูดซับเข้าสู่สมดุลของโลหะหนักตะกั่วและแคดเมียมที่เวลา 150 และ 90 นาทีตามลำดับ (Thabthaing & Rodjaroen, 2017; Azouaou *et al.*, 2013)

ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักตะกั่วที่ปนเปื้อนในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยตะกอนดินเซรามิกที่ปรับสภาพด้วยเถ้าแกลบดำ ทั้ง 3 อัตราส่วน คือ BRH-S (0:100), BRH-S (10:90) และ BRH-S (30:70) จะเห็นได้ว่าในน้ำเสีย

สังเคราะห์เหลือความเข้มข้นของตะกั่วหลังถูกดูดซับที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 โดยพบว่าหลังจากการดูดซับที่ความเข้มข้น 25, 50, 75 และ 100 ppm พบว่าดูดซับอัตราส่วน BRH-S (30:70) สามารถกำจัดตะกั่วได้ดีที่สุด ซึ่งมีปริมาณตะกั่วเหลืออยู่เพียง 1.50 ± 0.09 , 12.35 ± 0.22 , 21.35 ± 0.11 และ 20.34 ± 0.22 ตามลำดับ รองลงมาคือ BRH-S (10:90) มีปริมาณตะกั่วเหลืออยู่เพียง 5.42 ± 0.20 , 19.25 ± 0.11 , 33.47 ± 0.26 และ 40.11 ± 1.11 ตามลำดับ และ BRH-S (0:100) มีตะกั่วเหลืออยู่เพียง 14.38 ± 0.15 , 37.27 ± 0.14 , 57.51 ± 0.31 และ 49.46 ± 0.31 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Doungdeun, A. (2002) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วเมื่อใช้อัตรากรองต่างกัน คือ 0.4, 0.6 และ 0.8 ม/ชม. พบว่ามีประสิทธิภาพ 99.85%, 99.58% และ 74.13% ตามลำดับ เนื่องจากเถ้าแกลบดำมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบ ซึ่งเป็นประจุลบจึงทำให้สามารถดูดซับสารละลายตะกั่วซึ่งมีประจุบวกได้ดี

สรุปผลการวิจัย

ผลการศึกษาอัตราส่วนการขึ้นรูประหว่างตะกอนดินเซรามิกผสมกับเถ้าแกลบดำ ในอัตราส่วน 0:100 10:90 30:70 50:50 70:30 90:10 และ 100:0 โดยน้ำหนัก พบว่า BRH-S(0:100), BRH-S(10:90) และ BRH-S(30:70) สามารถขึ้นรูปได้และไม่ละลายน้ำ จึงเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สามารถนำไปใช้ทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักตะกั่วในขั้นตอนต่อไป โดยค่าพีเอชที่สามารถดูดซับโลหะหนักตะกั่วได้สูงสุด คือค่าพีเอช เท่ากับ 5 โดยระยะเวลาสมดุลของการดูดซับโลหะหนักตะกั่ว พบว่า BRH-S (30:70) และ BRH-S (10:90) มีระยะเวลาสมดุลที่ 20 ชั่วโมงเท่ากัน ส่วนระยะเวลาสมดุลของ BRH-S (0:100) จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึงระยะเวลาสมดุลที่ 24 ชั่วโมง ดังนั้นจึงเลือกระยะเวลาสมดุลที่ 24 ชั่วโมงเท่ากัน เพื่อแน่ใจว่าเป็นระยะเวลาสมดุลที่แท้จริง

จากการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักตะกั่วด้วย BRH-S (0:100), BRH-S (10:90) และ BRH-S (30:70) จะเห็นได้ว่าความเข้มข้นของตะกั่วหลังถูกดูดซับมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 โดยพบว่าหลังจากการดูดซับที่ความเข้มข้น 25, 50, 75 และ 100 ppm โดยใช้ BRH-S (30:70) สามารถกำจัดตะกั่วได้ดีที่สุด โดยทุกระดับความเข้มข้น เมื่อใช้ BRH-S (30:70) พบว่ามีประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุด เท่ากับ 94.00%, 75.30%, 71.53% และ 69.66% ตามลำดับ รองลงมาคือ BRH-S (10:90) มีประสิทธิภาพการดูดซับในทุกระดับความเข้มข้นเท่ากับ 78.32%, 61.50%, 55.37% และ 50.89% ตามลำดับ และ BRH-S (0:100) จะมีประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักตะกั่วในทุกระดับความเข้มข้นเท่ากับ 42.48%, 25.46%, 23.32% และ 19.54% ตามลำดับ

จากการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับโลหะหนักตะกั่ว พบว่า สอดคล้องกับไอโซเทอมของแลงเมียร์ ซึ่งเป็นการดูดซับทางเคมีบนพื้นผิวของตัวดูดซับในลักษณะแบบชั้นเดียว (monolayer)

จากผลการทดลองเมื่อนำเถ้าแกลบดำมาพัฒนาเป็นตัวดูดซับโลหะหนักตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการผสมเถ้าแกลบดำในตัวดูดซับมากขึ้น จะทำให้ตัวดูดซับที่พัฒนาขึ้นนี้มีพื้นที่ผิวเป็นประจุลบมากขึ้น จึงส่งผลทำให้เกิดแรงกระทำกับไอออนของตะกั่ว (Pb^{2+}) เพิ่มขึ้น ทำให้เมื่อนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนตะกั่วจึงส่งผลให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้นเมื่อเทียบกับตัวดูดซับที่เป็นตะกอนดินเซรามิก

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีโดยได้รับความอนุเคราะห์ตัวอย่างจากสถานที่ต่างๆ เช่น โรงงานอุตสาหกรรมเซรามิก อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก และโรงไฟฟ้าพลังงานชีวมวล รวมถึงห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

เอกสารอ้างอิง

- Azouaou, N., Belmedani, M., Mokaddem, H. and Sadaoui, Z. (2013). Adsorption of Lead from Aqueous Solution onto Untreated Orange Barks. *The Italian Association of Chemical Engineering*, 32, 55–60.
- Badmus, M.A.O., Audu, T.O.K. & Anyata, B.U. (2007). Removal of Lead Ion from Industrial Wastewater by Activated Carbon Prepared from Periwinkle Shells (*Typanotonus fuscatus*). *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 31(4), 251-263.
- Chiangmai, N. (1982). Environmental pollution, Retrieved January 19, 2019, from <https://www.gotoknow.org/posts/326975>. (in Thai)
- Chuah, T.G.; Jumariah, A.; Aznia, I.; Katayon, S. and Thomas Choong, S.Y. (2005). Rice Husk as a Potentially Low-Cost Biosorbent for Heavy Metal and Dye Removal: An Overview. *Desalination*, 175(3), 305-316.
- Department of Agriculture. (1995). Adsorption of Lead Using Rice Husk. Retrieved from: <http://rice-husk-lead.blogspot.com/>. (in Thai)
- Doungdeun, A. (2002). Removal of Heavy Metal in Wastewater by Egg shell and Black Rice husks; *Lab today*, 2(1) 62-65. (in Thai)
- Guo J. and Lua A.C. (2001). Kinetics study on pyrolytics process of oil-palm solid waste using two-step consecutive reaction model. *Biomass and Bioenergy*. 20(3), 223-233.
- Kaenkaew, D. & Doungdeun, A. (2007). Fluoride adsorption using modified clay granule with rice-husk-ash. *Proceedings of 45th Kasetsart University Annual Conference: Architecture and Engineering and Natural Resources and Environment*. Retrieved from https://kukr.lib.ku.ac.th/db/index.php?/BKN/search_detail/result/10633. (in Thai)
- Sama, N. (2010). Lead adsorption with absorbing ceramic from coffee and tea waste. Graduated Project: Bachelor of Science in Chemistry. Retrieved January 19, 2019, from <https://dspace.nstru.ac.th:8080/dspace/bitstream/123456789/1993/3/Fulltext.pdf>. (in Thai)
- Thabthaing, P., & Rodjaroen, S. (2017). Absorption of lead and Cadmium by Cyanobacteria, *Oscillatoria sp.* TIS TR8491 in Non-point Sources Wastewater from Landfill of Songkhla Municipality. Retrieved January 19, 2019 from <http://rdi.rmuts.ac.th/sjos/index.php/sjos/article/view/80/35>. (in Thai)
- Wuttisela, P., Komontein, B., & Khanema, B. (2012). Lead Adsorption by Soils in Seasonally Flooded Forests, Maha Sarakham Province, *King Mongkut's Agricultural Journal*, 33(2), 93-101. (in Thai)

Yupadee Senkao. (2014). Removal of cadmium (II) and lead (II) ions from wastewater by tamarind and pomegranate shell. *Journal of Science and Technology*, 22(2), 184-201. (in Thai)