

## การดูดซับทองแดงโดยใช้เกล็ดปลาช่อน Adsorption of Copper by *Channa striatus* Fish Scale

ณัฐวดี สุธรรมานนท์<sup>1</sup> วรากร วิศพันธ์<sup>2</sup>  
E-mail : fonnathawadee09@gmail.com

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาประสิทธิภาพการดูดซับโลหะทองแดงโดยใช้เกล็ดปลาช่อน โดยศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการดูดซับ ประกอบด้วยค่าพีเอช น้ำหนักเกล็ดปลา เวลาในการเขย่าและความเข้มข้นที่เหมาะสมในการดูดซับ วัดปริมาณความเข้มข้นหลังการดูดซับโดยใช้เฟลมอะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโตรเมตรีเพื่อคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดูดซับ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับที่ดีที่สุดคือ ค่าพีเอชเท่ากับ 2.0 น้ำหนักเกล็ดปลาที่ใช้ 0.5 กรัม เวลาที่ใช้เขย่า 120 นาที ความเข้มข้นทองแดงเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าสภาวะที่เหมาะสมนี้เมื่อนำไปทดสอบกับตัวอย่างน้ำทิ้งที่ความเข้มข้นของทองแดงเฉลี่ยเท่ากับ 0.020 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลการนำตัวอย่างมาทดสอบการดูดซับพบว่าความเข้มข้นเฉลี่ยหลังการดูดซับเท่ากับ 0.006 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การดูดซับเท่ากับ 70.00 เมื่อนำน้ำตัวอย่างมาเติมสารละลายมาตรฐานทองแดงให้มีความเข้มข้นเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าร้อยละกลับคืนเท่ากับ 102.90 % เมื่อทดสอบการดูดซับพบว่าความเข้มข้นเฉลี่ยหลังการดูดซับเท่ากับ 1.287 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การดูดซับเท่ากับ 87.15 ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การดูดซับที่สามารถดูดซับได้ดี แสดงว่าวิธีการที่ศึกษาถูกนำมาใช้ในการดูดซับทองแดงในน้ำตัวอย่างได้อย่างมีประสิทธิภาพ

**คำสำคัญ:** การดูดซับ เกล็ดปลา ทองแดง

### Abstract

This work is aimed to study the efficiency on the adsorption of copper by using *Channa striatus* fish scale. The optimum adsorption conditions consist of the pH, fish scale dosage, shaking time and the initial copper concentration. The final concentration was obtained by flame atomic absorption spectrometry for order to find the percentage of adsorption. The result for maximum percentage of adsorption were observed at pH 2.0, dosage 0.5 grams, shaking time 120 minutes and concentration 10 milligrams per liter (mg/L). The optimum condition when using the sample of wastewater to test was found that the average copper concentration was 0.020 mg/L. The final concentration after adsorption was 0.006 mg/L and the percentage of adsorption was 70.00. The samples were added by the standard solution of copper to 10 mg/L the recoveries for the spiked was 102.90. The final average concentration was 1.287 mg/L and the percentage adsorption was 87.13, studied were observed with satisfactory results.

**Keywords:** adsorption, fish scale, copper

### ความเป็นมาของปัญหา

ปัจจุบันปัญหาเกี่ยวกับมลภาวะของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมได้กลายมาเป็นความสนใจในกลุ่มงานวิจัยทั่วไปเนื่องด้วยความเป็นพิษของโลหะหนักที่มีอิทธิพลต่อมนุษย์ในแง่ของการทำให้เกิดโรคร้ายต่างๆ รวมถึงก่อให้เกิดความเสียหายกับอวัยวะหลายส่วนในร่างกาย ผลกระทบดังกล่าวรวมไปถึงของพืชและสัตว์ด้วย

ทองแดงเป็นโลหะที่นำความร้อนและไฟฟ้าได้ดี มีความหนาแน่น จุดเดือดและจุดหลอมเหลวสูง พบได้ตามธรรมชาติ ทั้งในดิน หิน น้ำและอากาศ อาจอยู่ในรูปธาตุอิสระหรือสารประกอบ เช่น  $\text{Cu}_2\text{O}$ ,  $\text{Cu}_2\text{S}$ ,  $\text{CuF}$ ,  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{CuFeS}_2$  เป็นต้น จึงมีการใช้อย่างแพร่หลายในผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ลวดทองแดง ท่อน้ำทองแดง ลูกบิดประตู แม่เหล็กไฟฟ้า และเครื่องจักรไฟฟ้า เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้เป็นสารเคมีทางการเกษตร สารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์รบกวนต่างๆ การทำสีย้อม ทองแดงมีความจำเป็นต่อร่างกายของสิ่งมีชีวิตถ้าได้รับในปริมาณที่เหมาะสมกับร่างกาย โดยทองแดงเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในกระดูกและกล้ามเนื้อ ซึ่งเราสามารถรับทองแดงจากการหายใจ การดื่มน้ำ หรือจากการบริโภคอาหาร ในชีวิตประจำวัน แต่การได้รับทองแดงติดต่อกันเป็นเวลานาน และร่างกายไม่สามารถขับทองแดงออกได้ตามปกติ อาจทำให้มีการสะสมอยู่ในร่างกายได้และส่งผลให้เกิดความผิดปกติของ ร่างกาย เช่น กลุ่มอาการ

<sup>1</sup> นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง

<sup>2</sup> อาจารย์ประจำสาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ

Wilson Diseases คือร่างกายสิ้นเทาอยู่ตลอดเวลา กล้ามเนื้อแข็งเกร็ง มีน้ำมูกน้ำลาย ไหล ควบคุมการพูดลำบาก มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน ประเทศไทย มีเกณฑ์ กำหนดสูงสุดของทองแดงในน้ำประปาที่ 2-5 ได้ไม่เกิน 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร (ฐิตยา แซ่ปึง. 2558)

การเกิดพิษขึ้นอยู่กับปริมาณที่ได้รับเข้าไป ช่องทางที่ได้รับและสภาพร่างกายของแต่ละบุคคล ทองแดงถูกดูดซึมได้ดีในกระเพาะอาหารและลำไส้ส่วนบน โดยซึมผ่านเข้าผนังลำไส้ไปที่ตับ จากนั้นจะรวมตัวกับน้ำดี แล้วถูกหลั่งออกมาบริเวณลำไส้ ขับออกไปกับอุจจาระ หรืออาจถูกดูดกลับเข้าสู่ร่างกายได้ 30% โดยไปสะสมที่กระดูก กล้ามเนื้อ ตับ สมอง การสะสมจะมากที่ตับและสมอง เมื่อได้รับทองแดงในปริมาณมากจะทำให้เกิดความเป็นพิษต่อร่างกาย คือ คลื่นเหียนอาเจียน เกิดการอักเสบในช่องท้องและกล้ามเนื้อ ท้องเสีย การทำงานของหัวใจผิดปกติ กระบวนการภูมิคุ้มกันของร่างกายและอาจส่งผลให้เกิดความผิดปกติทางจิต ส่วนอาการเรื้อรังจากการได้รับติดต่อกันเป็นเวลานาน และตับทำหน้าที่บกพร่อง ไม่สามารถขับทองแดงออกจากร่างกายได้ตามปกติ จึงทำให้มีการสะสมอยู่ในร่างกายเป็นปริมาณมาก ส่งผลให้เกิดความผิดปกติของร่างกาย หรือกลุ่มอาการ Wilson' Diseases

การแก้ไขปัญหาคาปนเปื้อนโลหะหนักมีวิธีการหลายรูปแบบด้วยกัน ทั้งการใช้สารเคมีในการตกตะกอนหรือการดูดซับโดยใช้วัสดุสังเคราะห์และวัสดุธรรมชาติ วัสดุทางธรรมชาติหลายชนิดได้ถูกนำมาใช้ในการดูดซับเนื่องจากมีความคงตัวสูงและมีประสิทธิภาพสูงและหาได้ง่าย ดังเช่น ฐิตยา แซ่ปึง (ฐิตยา แซ่ปึง. 2558) ได้ศึกษาความสามารถของเปลือกส้มโอในการดูดซับทองแดง (II) จากสารละลาย พบว่าที่ปริมาณเปลือกส้มโอ 0.5 กรัม สารละลายทองแดงไอออนความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิเมตร เขย่าด้วยความเร็ว 100 รอบต่อนาที ระยะเวลา 240 นาที ที่ความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 5.0 และพบว่า ความสามารถในการดูดซับทองแดงไอออนเท่ากับ  $11.39 \pm 0.22$  มิลลิกรัมต่อกรัม และปรารธนา โป่งฟ้า ได้ทำศึกษากำจัดโลหะหนักทองแดงด้วยเปลือกเมล็ด ใบ ลำต้น เปลือกผลและเปลือกลำต้นของสบู่ดำ พบว่าที่พีเอชของสารละลายเท่ากับ 4 ระยะเวลาการสัมผัสเท่ากับ 60 นาที ระยะเวลาการปั่นกวนเท่ากับ 60 ตามลำดับ ขนาดของวัสดุดูดซับจากสบู่ดำในสารละลายสังกะสีและทองแดงที่ขนาดเล็กกว่า 0.25 มิลลิเมตร ความเข้มข้นของโลหะหนักสูงขึ้น ความสามารถในการกำจัดโลหะหนักลดลง (ปรารธนา โป่งฟ้า. 2557)

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาวัสดุทางธรรมชาติที่จะนำมาใช้ในการดูดซับโลหะทองแดงเนื่องจากเป็นวัสดุที่มีองค์ประกอบสำคัญคือสารประกอบออกไซด์ของธาตุแคลเซียมที่สามารถดูดซับโลหะได้และมีความคงตัวสูงและสามารถหาได้ง่าย

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมและประสิทธิภาพการใช้เกล็ดปลาช่อนเป็นวัสดุเพื่อการดูดซับโลหะทองแดง
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการใช้เกล็ดปลาช่อนจากน้ำตัวอย่างจริง

### วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมอุปกรณ์ สารเคมีและเครื่องมือ
  - 1.1 อุปกรณ์เครื่องแก้วต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองทั้งหมดถูกนำมาแช่ไว้ในสารละลายกรดไนตริก ( $\text{HNO}_3$ ) ความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์ (v/v) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนล้างอีกครั้งด้วยน้ำปราศจากไอออนก่อนใช้ในการทดลอง
  - 1.2 สารเคมีทั้งหมดที่ใช้ในการทดลองเป็นชนิด AR grade
  - 1.3 การตรวจวัดความเข้มข้นของทองแดงในสารละลายมาตรฐานและตัวอย่างทำการตรวจวัดโดยเครื่องเฟลมอะตอมมิค แอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ (Flame atomic absorption spectrophotometer; FAAS) รุ่น Perkin Elmer Analyst 800
2. การเตรียมเกล็ดปลา
  - 2.1 นำเกล็ดปลาช่อนแช่ด้วยน้ำกลั่น 24 ชั่วโมง แล้วล้างด้วยน้ำกลั่น 3-5 ครั้ง จากนั้นผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้องก่อนนำมาอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
  - 2.2 นำเกล็ดปลามาปั่นด้วยเครื่องปั่นแห้งให้เป็นผงละเอียดแล้วนำมาร่อนด้วยตะแกรงร่อน ขนาด 100 เมช เก็บเกล็ดปลาที่ร่อนแล้วเก็บไว้ในที่แห้ง
  - 2.3 นำเกล็ดปลามาปั่นด้วยเครื่องปั่นแห้งให้เป็นผงละเอียดแล้วนำมาร่อนด้วยตะแกรงร่อน ขนาด 100 เมช เก็บเกล็ดปลาที่ร่อนแล้วเก็บไว้ในที่แห้ง
3. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการดูดซับ
  - 3.1 การศึกษาหาค่าพีเอชที่เหมาะสม
    - 3.1.1 เตรียมสารละลายมาตรฐานทองแดงความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิตร จำนวน 5 ใบ
    - 3.1.2 ปรับพีเอชของสารละลายในแต่ละขวดให้ได้พีเอชเท่ากับ 2.0, 3.0, 4.0, 5.0 และ 6.0
    - 3.1.3 ชั่งเกล็ดปลา 2.0 กรัม ใส่ลงในสารละลาย นำไปวางบนเครื่องเขย่าเป็นเวลา 2 ชั่วโมง
    - 3.1.4 นำมากรองและเก็บสารละลายไปวัดค่าความเข้มข้นและคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับในแต่ละค่าพีเอชเพื่อหาพีเอชที่ให้ค่าการดูดซับที่ดีที่สุด ค่าพีเอชที่ดีที่สุดจะถูกนำไปใช้ในการทดลองต่อไป

$$\text{เปอร์เซ็นต์การดูดซับ} = \frac{(\text{ความเข้มข้นเริ่มต้น} - \text{ความเข้มข้นหลังการดูดซับ})}{\text{ความเข้มข้นเริ่มต้น}} \times 100$$

### 3.2 การศึกษาหาหน้าหนักเกล็ดปลาที่เหมาะสม

3.2.1 เตรียมสารละลายมาตรฐานทองแดงความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร จำนวน 6 ใบ และปรับพีเอชของสารละลายในแต่ละขวดให้ได้พีเอชที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ 1

3.2.2 ชั่งเกล็ดปลา 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 และ 5.0 กรัม ใส่ลงในขวด จำนวน 6 ใบนำไปวางบนเครื่องเขย่าเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ก่อนนำมากรองและเก็บสารละลายไปวัดค่าความเข้มข้น

3.2.3 คำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับในแต่ละน้ำหนักเพื่อหาน้ำหนักที่ได้ให้ค่าการดูดซับที่ดีที่สุด น้ำหนักของเกล็ดปลาที่ดีที่สุดจะถูกนำไปใช้ในการทดลองต่อไป

### 3.3 การศึกษาหาเวลาการดูดซับที่เหมาะสม

3.3.1 เตรียมสารละลายมาตรฐานทองแดงความเข้มข้น 6 มิลลิกรัมต่อลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร จำนวน 7 ใบ ปรับพีเอชของสารละลายในแต่ละขวดให้ได้พีเอชที่เหมาะสมจากการทดลองข้อ 1

3.3.2 ชั่งเกล็ดปลาน้ำหนักที่เหมาะสมจากการทดลองข้อ 2 ใส่ลงในสารละลายข้อ 3.1

3.3.3 นำขวดทั้งหมดไปวางบนเครื่องเขย่าโดยขวดที่ 1-7 เขย่าเป็นเวลา 15, 30, 60, 120, 150, 180 และ 240 นาที ตามลำดับ ก่อนนำมากรองและเก็บสารละลายไปวัดค่าความเข้มข้น

3.3.4 คำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับแต่ละเวลาเพื่อหาเวลาที่ดียุติสุดในการดูดซับ เวลาที่ดีที่สุดจะถูกนำไปใช้ในการทดลองต่อไป

### 3.4 การศึกษาหาความเข้มข้นของสารละลายทองแดงที่เหมาะสม

3.4.1 เตรียมสารละลายมาตรฐานทองแดง ให้มีความเข้มข้น 2.5, 5.0, 10.0, 20.0 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

3.4.2 ปรับพีเอชของสารละลายในแต่ละขวดให้ได้พีเอชที่เหมาะสมจากการทดลองข้อ 1

3.4.3 ชั่งเกล็ดปลาให้ได้น้ำหนักที่เหมาะสมจากการทดลองข้อ 2 ใส่ลงในขวดแต่ละใบ แล้วนำขวดทั้ง 5 ใบ ไปวางบนเครื่องเขย่าเป็นเวลาที่เหมาะสมจากการทดลองในข้อ 3 ก่อนนำมากรองและนำไปวัดค่าความเข้มข้น

3.4.4 คำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับในแต่ละค่าความเข้มข้นเพื่อหาความเข้มข้นที่ให้ค่าการดูดซับที่ดีที่สุด ความเข้มข้นที่ได้จะถูกนำไปใช้ในการทดลองต่อไป

## 4. ศึกษาการใช้เกล็ดปลาดูดซับทองแดงในน้ำตัวอย่างจริง

ทำการเก็บน้ำตัวอย่างจริงจากคลองป่าพะยอม อ่างเก็บป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง เป็นลำคลองที่ไหลผ่านชุมชนเพื่อให้มีน้ำที่จะมีสิ่งเจือปนตามธรรมชาติและที่เกิดจากกิจกรรมที่ชุมชนได้ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ แล้วดำเนินการตามขั้นตอนต่อไปนี้

### 4.1 หาความเข้มข้นของทองแดงในน้ำตัวอย่าง

นำน้ำตัวอย่างมากรอง ให้ได้ปริมาตรประมาณ 50 มิลลิลิตร แล้วนำไปหาความเข้มข้นของทองแดง

### 4.2 ทดสอบความเข้มข้นของทองแดงในน้ำตัวอย่างเมื่อเติมสารละลายมาตรฐานทองแดง

4.2.1 นำน้ำตัวอย่างมาเติมสารละลายมาตรฐานทองแดงให้มีความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.2.2 นำตัวอย่างไปปรับพีเอชให้ได้ 2.0 แล้วนำไปวางบนเครื่องเขย่าเป็นเวลา 120 นาที

4.2.3 นำตัวอย่างไปกรองแล้วหาความเข้มข้นทองแดงในตัวอย่างและร้อยละการกลับคืน

### 4.3 ทดสอบการดูดซับทองแดงในน้ำตัวอย่าง

นำน้ำตัวอย่างมาทดสอบการดูดซับทองแดงด้วยเกล็ดปลาในสภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองข้างต้น ก่อนนำไปหาความเข้มข้นของทองแดงหลังดูดซับและเปอร์เซ็นต์การดูดซับ

### 4.4 ทดสอบหาความเข้มข้นของทองแดงในน้ำตัวอย่างเมื่อเติมสารละลายมาตรฐานทองแดง

4.4.1 นำน้ำตัวอย่างมาเติมสารละลายมาตรฐานทองแดงให้มีความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.4.2 นำตัวอย่างไปปรับพีเอช ใส่เกล็ดปลาและนำไปวางบนเครื่องเขย่า ตามสภาวะที่เหมาะสมจากการทดลองในตอนต้นแล้วหาความเข้มข้นทองแดงที่เหลือและเปอร์เซ็นต์การดูดซับ

## ผลการวิจัย

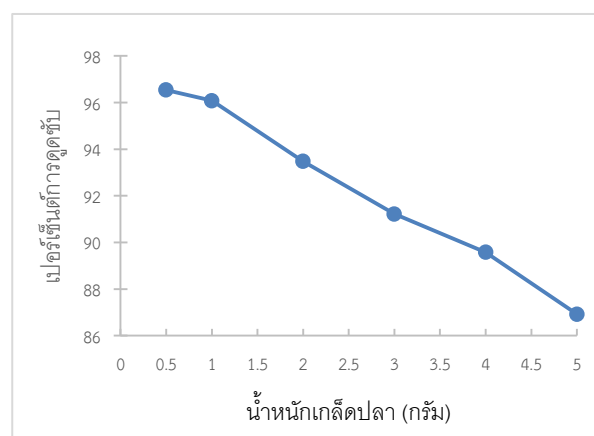
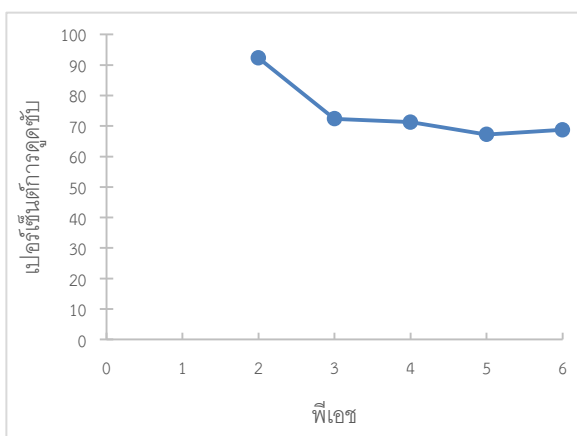
### 1. ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการดูดซับ

ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะทองแดงด้วยเกล็ดปลาอ่อน ประกอบด้วยค่าพีเอช น้ำหนักเกล็ดปลา เวลาในการเขย่าและความเข้มข้นของทองแดง ได้ผลดังตารางที่ 1 และภาพที่ 1-4

ตารางที่ 1 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการดูดซับโลหะทองแดงด้วยเกล็ดปลาอ่อน

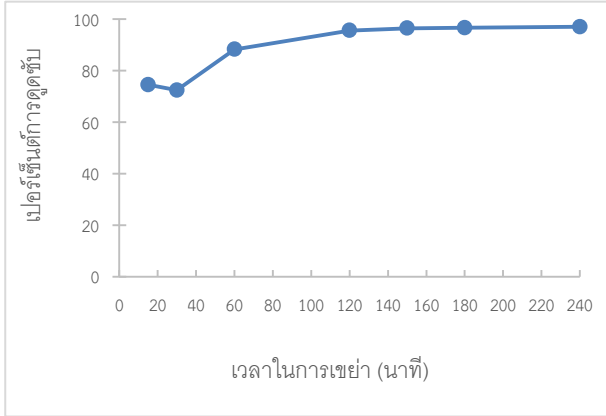
สภาวะ	ความเข้มข้นของทองแดงเริ่มต้น(mg/L)	ความเข้มข้นของทองแดงหลังดูดซับ(mg/L)	เปอร์เซ็นต์การดูดซับ
พีเอช	2.0	5.0	0.384
	3.0	5.0	1.381
	4.0	5.0	1.438
	5.0	5.0	1.639
	6.0	5.0	1.563
น้ำหนักเกล็ดปลา (กรัม)	0.5	5.0	0.173
	1.00	5.0	0.196
	2.00	5.0	0.326
	3.00	5.0	0.439
	4.00	5.0	0.521
	5.00	5.0	0.654
เวลาที่เขย่า (นาที)	15	5.0	1.273
	30	5.0	1.379
	60	5.0	0.589
	120	5.0	0.222
	150	5.0	0.178
	180	5.0	0.168
	240	5.0	0.150
ความเข้มข้น (mg/L)	2.5	5.0	0.519
	5.0	5.0	0.893
	10.0	5.0	1.216
	20.0	5.0	2.777
	100.0	5.0	41.58

เมื่อนำผลการศึกษาสภาวะการทดลองกับเปอร์เซ็นต์การดูดซับ สามารถเขียนกราฟได้ดังภาพประกอบที่ 1-4

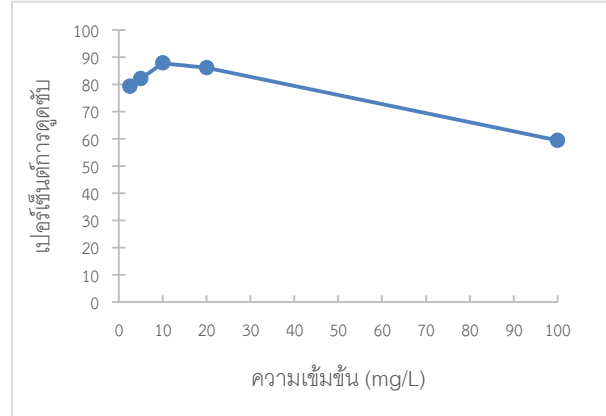


ภาพประกอบที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชกับเปอร์เซ็นต์การดูดซับ

ภาพประกอบที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของการดูดซับกับน้ำหนักเกล็ดปลา



ภาพประกอบที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการแช่ยา กับ เปอร์เซ็นต์การดูดซับ



ภาพประกอบที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของ ทองแดงกับเปอร์เซ็นต์ของการดูดซับ

จากตารางที่ 1 และภาพประกอบที่ 1-4 พบว่าที่ค่าพีเอชมีผลต่อการดูดซับทองแดงเมื่อกำหนดให้น้ำหนักเกล็ดปลา เวลา การแช่ยาและความเข้มข้นของทองแดงเท่ากัน พบว่าที่พีเอชเท่ากับ 2 ปริมาณโลหะทองแดงหลังการดูดซับมีเปอร์เซ็นต์การดูดซับดีที่สุด เท่ากับ 92.32 % และในทำนองเดียวกันเมื่อกำหนดน้ำหนักเกล็ดปลาที่ต่างกันและใช้ค่า พีเอชเท่ากับ 2 และเวลาในการแช่ยากับความ เข้มข้นของทองแดงเท่ากัน พบว่าน้ำหนักเกล็ดปลาที่ 0.5 กรัม มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับดีที่สุดเท่ากับ 96.54 % ที่เวลาการแช่ยาต่างกัน โดยที่ค่าพีเอชเท่ากับ น้ำหนักเกล็ดปลาเท่ากับ 0.5 กรัม และความเข้มข้นทองแดงเท่ากัน พบว่าที่เวลา 120 – 240 นาที มีเปอร์เซ็นต์ การดูดซับที่ใกล้เคียงกันแม้ว่าที่เวลา 240 นาทีจะดีที่สุด ที่ความเข้มข้นของทองแดง 10 มิลลิกรัมต่อลิตร มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับดีที่สุด เท่ากับ 87.84 % จากการทดลองหาสภาวะที่ปริมาณโลหะมีการดูดซับมากที่สุดหลังจากการใช้เกล็ดปลาดูดซับ จึงเลือกใช้พีเอชเท่ากับ 2 น้ำหนักเกล็ดปลา 0.5 กรัม เวลาในการแช่ยาที่ 120 นาที และเมื่อศึกษาความเข้มข้นของทองแดงที่มีความเข้มข้นต่างๆ ต่อการดูดซับ โดยใช้ค่าพีเอชเท่ากับ 2 น้ำหนักเกล็ดปลาเท่ากับ 0.5 กรัม ระยะเวลาการแช่ยา 120 นาที พบว่าที่ ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดในการทดลองที่จะนำไปใช้กับน้ำตัวอย่างจริงต่อไป

## 2. ศึกษาการใช้เกล็ดปลาดูดซับทองแดงในน้ำตัวอย่างจริง

ผลการศึกษาในการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักทองแดงในน้ำตัวอย่างจริงในรูปแบบต่างๆ กันทั้งปริมาณในตัวอย่าง โดยตรง ปริมาณเมื่อใส่เกล็ดปลาลงไปดูดซับ ปริมาณเมื่อมีการเติมสารละลายมาตรฐานทองแดงลงไปให้ความเข้มข้นเท่ากับ 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ผลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโลหะทองแดงในน้ำตัวอย่างจริง

ตัวอย่างในการวิเคราะห์	ความเข้มข้นของทองแดงเริ่มต้น (mg/L)	ความเข้มข้นของทองแดง หลังดูดซับ (mg/L)	เปอร์เซ็นต์ของ การดูดซับ
น้ำตัวอย่าง	-	0.020	-
น้ำตัวอย่าง+เกล็ดปลา	0.02	0.006	70.00
น้ำตัวอย่าง+สารละลายมาตรฐาน	10.00	10.310	-
น้ำตัวอย่าง+สารละลายมาตรฐาน+เกล็ดปลา	10.00	1.287	87.15

น้ำตัวอย่างจริงพบว่ามีค่าความเข้มข้นเท่ากับ 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร มีคาร์บอนิลกลับคืนพบว่ามีค่าเท่ากับ 102.90 % ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ เมื่อนำเกล็ดปลาไปดูดซับโลหะทองแดงในน้ำตัวอย่างพบว่ามีปริมาณความเข้มข้นหลังการดูดซับเฉลี่ยเท่ากับ 0.006 มิลลิกรัมต่อลิตรและมีเปอร์เซ็นต์ของการดูดซับเท่ากับ 70.00 % และเมื่อปรับน้ำตัวอย่างให้มีความเข้มข้นที่สูงขึ้นและเกล็ดปลา มาดูดซับพบว่าสามารถดูดซับได้และมีประสิทธิภาพเท่ากับ 87.15 %



## อภิปรายผล

จากการศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการดูดซับโลหะทองแดงด้วยเกล็ดปลาช่อนจากการศึกษาที่พีเอชเท่ากับ 2.0, 3.0, 4.0, 5.0 และ 6.0 พบว่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับเท่ากับ 92.32 % , 72.38 % , 71.24 % , 67.22 % และ 68.74 % ตามลำดับ ตัวอย่างที่มีค่าพีเอชเท่ากับ 2.0 มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับดีที่สุด ซึ่งความสามารถในการดูดซับทองแดงน่าจะเกิดจากการที่ทองแดงสามารถเข้าแทนที่ไฮโดรเจนไอออนได้ดีที่สุดบนเกล็ดปลา ค่าพีเอชนี้จึงเป็นค่าที่คาดว่าจะมีความเหมาะสมที่สุดที่จะนำไปใช้ในการดูดซับทองแดง จากการศึกษาที่มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ รุติยา แซ่ปั้ง ในการศึกษาการดูดซับของโลหะหนัก (ทองแดง แคดเมียม สังกะสี นิกเกิล และตะกั่ว) ด้วยถ่านกัมมันต์ ที่กล่าวไว้ว่าโลหะหนักกับโปรตอนในกระบวนการดูดซับจะมากขึ้นเมื่อพีเอชเท่ากับ 2 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าการใช้เปลือกส้มโอเปลือกที่พีเอชเท่ากับ 5 (รุติยา แซ่ปั้ง. 2558) และการใช้เมล็ด ใบ ลำต้น เปลือกผลและเปลือกลำต้นของสบู่ดำที่พีเอชเท่ากับ 4 (ปรารธนา โป่งฟ้า. 2557)

จากการศึกษาน้ำหนักเกล็ดปลาช่อนที่เหมาะสมต่อการดูดซับโลหะทองแดง ซึ่งความสามารถในการดูดซับโลหะขึ้นนํ้าอยู่กับปริมาณของตัวดูดซับที่ใช้ พบว่าน้ำหนักเกล็ดปลาเท่ากับ 0.5 กรัม จะมีความเหมาะสมที่สุดซึ่งให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับสูงที่สุดเท่ากับ 96.54 % สำหรับกรณีใช้น้ำหนักที่น้อยกว่า 0.5 กรัม จะมีไอออนโลหะที่ไม่สามารถเข้าจับกับตัวดูดซับได้ทำให้ไอออนเหล่านี้อยู่ในสารละลายจำนวนมากแต่เมื่อปริมาณตัวดูดซับเพิ่มขึ้นจนถึงระดับเข้าสู่สมดุลแล้วการเพิ่มจำนวนตัวดูดซับก็ไม่มีผลให้การดูดซับเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Nabilah Zayadi และคณะ ในการใช้น้ำหนักเกล็ดปลานิล 0.001 กรัม สำหรับการดูดซับตะกั่วที่ความเข้มข้น 0.3 ไมโครกรัมต่อลิตร (Nabilah Zayadi. et al. 2013) และจากงานวิจัยของปิยนุช คณะณมา ในศึกษาการดูดซับตะกั่วโดยใช้ฝักไมยราบยักษ์โดยใช้ฝักไมยราบยักษ์น้ำหนัก 0.1 กรัม มีประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วดีที่สุดและมีเปอร์เซ็นต์การดูดซับเท่ากับ 88.95% ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การดูดซับมากกว่าเกล็ดปลาที่ศึกษา (ปิยนุช คณะณมา. 2559)

จากการศึกษาเวลาในการเขย่าหรือเวลาที่มีผลต่อการดูดซับที่เหมาะสมต่อการดูดซับโลหะทองแดงด้วยเกล็ดปลาช่อนแล้วพบว่าเวลาที่ดีที่สุดเท่ากับ 240 นาที แต่เมื่อเทียบกับเวลาที่ 120 นาที พบว่ามีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก ดังนั้นจึงเลือกใช้เวลาในการดูดซับที่ 120 นาทีเป็นเวลาที่เหมาะสมที่ใช้ดูดซับทองแดง ในเวลาที่ใช้เป็นเวลาการเข้าสู่สภาวะสมดุลที่โลหะตะกั่วใช้ในการเคลื่อนย้ายจากสารละลายไปเกาะอยู่กับเกล็ดปลาได้ดีที่สุดเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นจนเข้าสู่สมดุล แต่พบว่ายังใช้เวลามากกว่าการใช้เปลือกเมล็ด ใบ ลำต้น เปลือกผลและเปลือกลำต้นของสบู่ดำที่เวลา 60 นาที (ปรารธนา โป่งฟ้า. 2557) และยังคงสอดคล้องกับงานวิจัยของ Nabilah Zayadi และคณะ ในการใช้เกล็ดปลานิลในการดูดซับตะกั่วที่ให้ผลการดูดซับเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไปและดีที่สุดที่ 120 นาที (Nabilah Zayadi. et al. 2013) และงานวิจัยจากการใช้ขี้เลื่อยและขี้เลื่อยปรับสภาพของ พลวัฒน์ พาพรมพิก และคณะ เป็นวัสดุดูดซับใช้เวลา 120 นาที ทั้งสองตัวดูดซับ และมีเปอร์เซ็นต์การดูดซับที่ 50.32 และ 68.29 % ตามลำดับ (พลวัฒน์ พาพรมพิก และคณะ. 2560) แต่อย่างไรก็ตามพบว่าเวลาที่ใช้นั้นมากกว่าการศึกษาการดูดซับตะกั่วด้วยฝักไมยราบยักษ์ปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้เวลาในการดูดซับ 15 นาที (ปิยนุช คณะณมา. 2559)

จากการทดลองการดูดซับโลหะทองแดงที่ความเข้มข้นต่างๆ พบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับทองแดงด้วยเกล็ดปลาช่อนจะดีที่ความเข้มข้นต่ำและจะมีแนวโน้มเริ่มลดลงเล็กน้อยเมื่อความเข้มข้นสูงขึ้นแสดงว่าไอออนส่วนที่ไม่ถูกดูดซับจะยังอยู่ในส่วนที่เป็นสารละลายมากขึ้น ที่ความเข้มข้นสูงสุดที่ศึกษาคือ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับ 59.42 % ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Nabilah Zayadi และคณะ ในการใช้น้ำหนักเกล็ดปลานิล 0.0001 กรัม สำหรับการดูดซับตะกั่วที่ความเข้มข้น 0.3 ไมโครกรัมต่อลิตร ที่มีการดูดซับดีที่สุดและมีแนวโน้มการลดลงในลักษณะเดียวกัน (Nabilah Zayadi. et al. 2013) และจากแนวโน้มการลดลงหากความเข้มข้นสูงขึ้นก็ยังมีดูดซับที่ยังลดลงไม่มากนัก

เมื่อนำน้ำตัวอย่างจริงไปวิเคราะห์หาปริมาณทองแดงพบว่ามีค่าความเข้มข้นเท่ากับ 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร ยืนยันความถูกต้องของความเข้มข้นด้วยการหาค่ากลับคืนพบว่าค่าเท่ากับ 102.89 % ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ ไม่มีผลจากสารรบกวนอื่นที่ทำให้ผลการวิเคราะห์ผิดพลาดไป เมื่อนำเกล็ดปลาช่อนไปดูดซับโลหะทองแดงในน้ำตัวอย่างพบว่าปริมาณความเข้มข้นหลังการดูดซับเฉลี่ยเท่ากับ 0.006 มิลลิกรัมต่อลิตรและมีเปอร์เซ็นต์ของการดูดซับเท่ากับ 70.00 % เป็นค่าที่ยังถือว่าให้ประสิทธิภาพยังรับได้ที่ความเข้มข้นระดับนี้ เมื่อนำน้ำตัวอย่างเต็มสารละลายมาตรฐานให้มีความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามความเข้มข้นที่ทดสอบก่อนนี้และนำไปผ่านกระบวนการดูดซับด้วยเกล็ดปลาในสภาวะที่เหมาะสม พบว่ามีความเข้มข้นหลังการดูดซับเท่ากับ 1.287 มิลลิกรัมต่อลิตรและมีเปอร์เซ็นต์การดูดซับเท่ากับ 87.15 % จะเห็นว่าน้ำตัวอย่างที่ความเข้มข้นเพิ่มขึ้นก็ยังมีดูดซับที่ยังให้ผลประสิทธิภาพใกล้เคียงกับการทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมของความเข้มข้นก่อนหน้า

## สรุปผลการวิจัย

ในการบำบัดโลหะหนักแม้จะมีการศึกษาการใช้ตัวดูดซับหลายชนิด เช่น การใช้เปลือกไข่ (ประสิทธิ์ แผ้วบาง และอรไท สุขเจริญ. 2542) ไยมะพร้าว ถ่าน และเปลือกหอยแครง (ชินวัฒน์ ศาสนนันท์. 2554) ในการดูดซับโลหะหนักมาแล้ว วิธีการใช้เกล็ดปลาช่อนดูดซับโลหะทองแดงที่ศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการดูดซับที่ประมาณ 87.15 เปอร์เซ็นต์ เมื่อทดลองกับน้ำตัวอย่างจริง ที่สภาวะการดูดซับที่พีเอชเท่ากับ 2 นำหนักเกล็ดปลา 0.5 กรัม และเวลาในการเขย่า 120 นาที จากการศึกษาสามารถนำไปใช้ได้กับน้ำตัวอย่างจริงและมีความเป็นไปได้ที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในการดูดซับทองแดงจากน้ำเสียจากแหล่งต่างๆ ให้มีความเข้มข้นลดลงให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม อีกทั้งวิธีการนี้ให้ประสิทธิภาพการลดความเข้มข้นที่ดีขึ้นเมื่อเทียบกับกรณีการใช้วัสดุหรือตัวดูดซับชนิดอื่นๆ บางตัวในแง่ของการเตรียมวัสดุที่ไม่ยุ่งยาก หากนำมาใช้อย่างคุ้มค่าจะเกิดประโยชน์มากขึ้น ในการนำไปลดผลกระทบที่เกิดจากการปนเปื้อนโลหะตะกั่วหรือโลหะหนักชนิดอื่นๆ ที่จะได้ทำการศึกษาต่อไป เช่น แคดเมียม เหล็ก สังกะสี เป็นต้น

## ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

เกล็ดปลาช่อนสามารถนำมาใช้เป็นตัวดูดซับถือว่าเป็นของเหลือทิ้งที่สามารถหาได้ง่ายในตลาดขายปลาทั่วไปและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป

ทดสอบการดูดซับเพื่อลดผลกระทบที่เกิดจากการปนเปื้อนโลหะตะกั่วหรือโลหะหนักชนิดอื่นๆ ที่จะได้ทำการศึกษาต่อไป เช่น แคดเมียม เหล็ก สังกะสี เป็นต้น

## เอกสารอ้างอิง

- ชินวัฒน์ ศาสนนันท์. (2554). การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักโดยใช้วัสดุธรรมชาติในชุมชน (รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.
- ฐิตยา แซ่ปิง. (2558). “การดูดซับทองแดง (II) จากสารละลายโดยใช้เปลือกส้มโอ”, ใน การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 12: ตามรอยพระยุคลบาท เกษตรศาสตร์กำแพงแสน, 1651-1659. วันที่ 8-9 ธันวาคม 2558 ณ นครปฐม. นครปฐม : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
- ประสิทธิ์ แผ้วบาง และอรไท สุขเจริญ. (2542). การเปรียบเทียบการดูดซับตะกั่ว (+2) โดยใช้เปลือกไข่และเกล็ดปลา. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 7(2):51-57.
- ปรารถนา โป่งฟ้า. (2557). ประสิทธิภาพของสปู่ดำในการดูดซับโลหะหนักสังกะสีและทองแดง. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์ มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ปิยนุช คะณมมา. (2559). การดูดซับตะกั่วในสารละลายด้วยฝักไมยราบยักษ์ที่ปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์. วารสารวิจัย มสค สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 9(3):15-34.
- พลวัฒน์ พาพรหมพิงก์ ปานใจ สื่อประเสริฐสิทธิ์ และธัญกร พระบำรุง. (2560). การดูดซับตะกั่ว ( $Pb^{2+}$ ) โดยใช้ซีลี้อยู่และซีลี้อยู่ปรับสภาพ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. 36(3), 348 – 59.
- Nabilah Zayadi, Norzila Othman. (2013). Characterization and Optimization of Heavy Metals Biosorption by Fish Scales. Advanced Materials Research. 795:260-65.