บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

-สาหร่ายทะเลชนิดต่าง ๆ ที่เก็บจาก อ่าวปัตตานี จังหวัดปัตตานี

-เครื่องแก้ว (ได้แก่ บีกเกอร์ กระบอกตวง ขวดรูปชมพู่ ขวดวัดปริมาตร ขวดเก็บตัวอย่าง ไปเปต)

-กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42, GF/C และ membrane filter (Millipore, 0.45 μm)

-คอลัมน์แก้ว ขนาด 1.8 cm x 20 cm

-เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง และ 4 ตำแหน่ง

-pH meter (MP220, Mettler)

-ตะแกรงร่อน (Sieve) ขนาด 300-600 mesh และโถแก้วดูดความชื้น (Desiccator)

-เครื่องเขย่า (Labortechnix, KS 125)

-ตู้อบ (hot air oven), Hot plate และ Water bath

-Peristaltic pump (Master Flex, 77200-52)

-กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM, LEO 1455 VP)

-Fourier-Transformed Infrared Spectrophotometer (FTIR) (NICOLET-IR560)

-Atomic Absorption Spectrophotometer แบบ Flame (FAAS) และ Graphite Furnace (GFAAS) ของ Shimadzu AA680 และ Varian, Spectra AA-20 Plus และแบบ Hydride generation ของ Perkin Elmer Analyst 100

3.1.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง (AR grade)

-Activated carbon (granular, 400 mesh, Wright & Comp)
-conc Acetic acid (Riedel-Dehaen)
-Arsenic oxide (Merck)
-Ascorbic acid (BDH)
-Cadmium nitrate (Merck)
-Calcium chloride (Merck)
-Calcium carbonate (Merck)
-Copper nitrate.3 hydrate (Merck)
-37% Formaldehyde (Riedel-Dehaen)
-conc Hydrochloric acid (Merck)
-Lead nitrate (Merck)
-Magnesium nitrate (BDH)
-conc Nitric acid (Riedel-Dehaen)
-Perchloric acid (Riedel-Dehaen)
-Potassium iodide (BDH)
-Potassium nitrate (Merck)
-Silica gel (70-230 mesh) (Merck)
-Sodium carbonate (Merck)
-Sodium hydroxide (Riedel-Dehaen)
-Sodium nitrate (BDH)
-Sodium tetraborohydride (LABCHEM)
-conc Sulfuric acid (Riedel-Dehaen)

Prince of Songkla University Pattani Campus

3.2 การศึกษาการดูดซับโลหะหนักของสาหร่ายชนิดต่าง ๆ แบบ Batch Equilibrium System

3.2.1 การเตรียมตัวอย่างสาหร่าย

1) เก็บสาหร่ายทะเลชนิดต่าง ๆ จากบริเวณโดยรอบอ่าวปัตตานี คือ ที่บ้านตันหยงลุโละ ปากแม่น้ำยะหริ่ง บ้านดาโต๊ะ และแหลมตาชี

2) นำสาหร่ายที่จะวิเคราะห์มาล้างด้วยน้ำประปาและน้ำกลั่น ก่อนอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมงในตู้อบ แล้วนำมาบดให้ละเอียด ก่อนนำไปร่อนด้วยตะแกรงร่อนให้มีขนาดอนุภาคประมาณ 300-600 mesh

3.2.2 ศึกษาการปนเปื้อนโลหะหนักในตัวอย่างสาหร่าย

ทำการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักตามวิธีของปรียาและคณะ (2541) ซึ่งดัดแปลงจากวิธีมาตรฐานของ APHA (1992) ในขั้นตอนการย่อยตัวอย่างและการวิเคราะห์โลหะหนัก โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.2.2.1 การย่อยตัวอย่างด้วยกรดไนตริก และกรดเปอร์คลอริก

-ชั่งตัวอย่างสาหร่ายที่บดละเอียด 1 g ลงในบีกเกอร์ จดน้ำหนักแน่นอนไว้ เติมกรดไนตริกเข้มข้น 5 ml วางบน hot plate ปรับความร้อนให้สารเดือดอ่อนๆ จนกระทั่งเกิดควันสีน้ำตาล

-เมื่อควันสีน้ำตาลจางลง ลดอุณหภูมิ แล้วค่อยๆ เติมกรดเปอร์คลอริกเข้มข้น 10 ml เขย่าให้ผสมกันอย่างดีก่อนแล้วให้ความร้อนต่อไปจนเกิดกลุ่มควันสีขาว จะได้สารละลายใส ในกรณีที่ยังไม่ได้สารละลายใส จะเติมกรดไนตริกทีละน้อย แล้วให้ความร้อนต่อไปจนได้สารละลายใส วางทิ้งไว้ให้เย็น กรองด้วยกระดาษกรอง ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 50 ml ในขวดวัดปริมาตร

หมายเหตุ : สำหรับตัวอย่างถ่านกัมมันต์ (ขนาด 400 mesh) ก็นำมาบดให้ละเอียดก่อนนำมาย่อยด้วยกรดไนตริกและกรดเปอร์คลอริกตามวิธีข้างต้น และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักเช่นเดียวกับตัวอย่างสาหร่าย

3.2.2.2 การวิเคราะห์โลหะหนักในตัวอย่างสาหร่าย

1) การวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว

-เตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่ว เข้มข้น 1000 mg/l จาก $Pb(NO_3)_2$ โดยชั่งสาร 1.5985 กรัม ละลายใน 1% HNO_3 ปรับปริมาตรให้ครบ 1 ลิตร จะได้ Pb^{2+} stock solution สำหรับเตรียม working solution ของตะกั่วต่อไป

-เตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 µg/l จาก 1000 mg/l Pb^{2+} stock solution วิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในสารละลายมาตรฐานและตัวอย่างที่ย่อยแล้วด้วย Graphite furnace atomic absorption spectrophotometer (GFAAS) ของ Shimadzu รุ่น AA 680 ห้องปฏิบัติการเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี

2) การวิเคราะห์หาปริมาณทองแดง

-เตรียมสารละลายมาตรฐานทองแดงเข้มข้น 1000 mg/l จาก $Cu(NO_3)_2.3H_2O$ โดยชั่งสาร 3.8010 กรัม ละลายใน 1% HNO_3 ปรับปริมาตรให้ครบ 1 ลิตร จะได้ Cu^{2+} stock solution

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ Prince of Songkla University Pattani Campus

-เตรียมสารละลายมาตรฐานทองแดงเข้มข้น 0, 1, 3, 6, 9 และ 12 mg/l จาก 1000 mg/l Cu^{2+} stock solution วิเคราะห์หาปริมาณทองแดงสารละลายมาตรฐานและตัวอย่างที่ย่อยแล้วด้วย Flame atomic absorption spectrophotometer (FAAS) ของ Shimadzu รุ่น AA 680 นอกจากนี้ยังได้เตรียมสารละลายมาตรฐานทองแดงเข้มข้น 0, 40, 80, 120 และ 160 µg/l วิเคราะห์หาปริมาณทองแดง โดยใช้ GFAAS ของ Shimadzu รุ่น AA 680 ห้องปฏิบัติการเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี

3) การวิเคราะห์หาปริมาณสารหนู

-เตรียมสารละลายมาตรฐานสารหนูเข้มข้น 1000 mg/l โดยชั่ง As_2O_3 2.6407 กรัม ละลายใน 1% HNO_3 ปรับปริมาตรให้ครบ 1 ลิตร จะได้ stock solution สำหรับเตรียม working solution ต่อไป

-เตรียมสารละลายมาตรฐานสารหนู เข้มข้น 5, 10, 15, 20 และ 25 µg/l จาก 1000 mg/l As^{3+} stock solution และเตรียมสารละลาย 0.2 M $NaBH_4$ ใน 0.5 M NaOH สำหรับการวิเคราะห์

-นำสารละลายตัวอย่างที่ย่อยแล้ว 10.00 ml มารีดิวซ์ให้สารหนูอยู่ในรูป As^{3+} ทั้งหมดโดยใช้สารผสม คือ 5% ascorbic acid + 5% KI จำนวน 10 ml เติม conc HCl 10 ml ทิ้งไว้ 45 นาที ปรับปริมาตรเป็น 100 ml

-วิเคราะห์หาปริมาณสารหนูในสารละลายมาตรฐาน และตัวอย่างที่ย่อยและผ่านการรีดิวซ์แล้วด้วย atomic absorption spectrophotometer (AAS) แบบ hydride generation ของ Perkin Elmer Analyst 100 ณ ศูนย์เครื่องมือ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี

3.2.3 ศึกษาผลของ pH ต่อความสามารถในการดูดซับโลหะหนักของตัวอย่างสาหร่าย

1) นำตัวอย่างสาหร่ายที่อบแห้งจำนวน 0.1 g มาเติมสารละลายโลหะหนักแต่ละชนิด คือ สารละลายทองแดงเข้มข้น 20 mg/l, ตะกั่ว เข้มข้น 70 µg/l, และ สารหนูเข้มข้น 50 µg/l ที่มีค่า pH ต่าง ๆ กัน คือ 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 5.0, และ 6.0 นำมาเขย่าเป็นเวลา 24 ชั่วโมงด้วยเครื่องเขย่า

2) เมื่อครบเวลา กรองสาหร่ายออกโดยใช้ membrane filter (Millipore) ขนาด 0.45 µm นำสารละลายใสที่กรองได้มาตรวจหาปริมาณโลหะหนักที่เหลือด้วยเครื่อง AAS ทดลองซ้ำ 2 ครั้ง

3) นำค่า pH ที่เหมาะสมไปใช้ในการทดลองต่อไป

3.2.4 ศึกษาเปรียบเทียบความสามารถดูดซับโลหะหนักของสาหร่ายชนิดต่าง ๆ

1) นำตัวอย่างสาหร่ายที่อบแห้งจำนวน 0.1 g มาเติมสารละลายโลหะหนักที่ทราบความเข้มข้นแน่นอนในแต่ละชุดการทดลอง คือ ตะกั่ว เข้มข้น 0, 0.25, 0.5, 1, 2, 4 mg/l ทองแดง 0, 5, 10, 15, 20, 25 mg/l และ สารหนู 20, 30, 40, 50, 60, 70 µg/l ทำการเขย่า ความเร็ว 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้กระบวนการดูดซับเกิดขึ้นจนถึงสมดุล

2) เมื่อครบเวลา กรองสาหร่ายออกโดยใช้ membrane filter (Millipore) ขนาด 0.45 µm นำสารละลายใสที่กรองได้มาตรวจหาปริมาณโลหะหนักที่เหลือด้วยเครื่อง AAS ทดลองซ้ำ 2 ครั้ง

3) นำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติโดยใช้ ANOVA analysis

Prince of Songkla University Pattani Campus

3.2.5 ศึกษาจลนศาสตร์ของการดูดซับโลหะหนัก

1) เขย่าตัวอย่างสาหร่ายที่อบแห้ง 0.1 g ในขวดที่บรรจุสารละลายโลหะหนักชนิดต่าง ๆ คือ ตะกั่ว ความเข้มข้น 15 และ 50 µg/l ทองแดง เข้มข้น 10 และ 20 mg/l สารหนู 25 และ 50 µg/l ซึ่งมีค่า pH = 5.0 โดยใช้ความเร็ว 100 รอบต่อนาที

2) วิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักในสารละลายแต่ละชุดที่เวลาต่าง ๆ กัน คือ 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 60, 120, 180 และ 240 นาที โดยใช้เครื่อง AAS ทดลองซ้ำ 2 ครั้ง

3.3 การศึกษาการดูดซับโลหะหนักของสาหร่าย แบบ Continuous Flow System

1) บรรจุวัสดุสาหร่ายที่อบแห้งจำนวน 1.5 กรัมลงในคอลัมน์ขนาด 1.8 x 15 cm

2) ผ่านสารละลายโลหะหนักตะกั่ว (20 mg/l) ทองแดง (20 mg/l) หรือ สารหนู (50 µg/l) pH 5.0±0.5 ลงในคอลัมน์แค่ละชุด ปรับอัตราการไหลของสารละลายประมาณ 3 ml/min และเก็บสารละลายที่ออกจากคอลัมน์จำนวน 10 ml ในแต่ละหลอด

3) วิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักที่เหลืออยู่ในสารละลายที่เก็บแต่ละหลอดโดยเครื่อง AAS

4) เปรียบเทียบความสามารถการดูดซับโลหะหนักกับของสารดูดซับสังเคราะห์ (ถ่านกัมมันต์) ซึ่งทำการทดลองในทำนองเดียวกัน และเปรียบเทียบความสามารถดูดซับโลหะหนักของคอลัมน์ กับของ Batch system ทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง

3.4 การศึกษาการพัฒนาคุณภาพของสารดูดซับชีวภาพ

3.4.1 ศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของสารดูดซับ

3.4.1.1 ปริมาณของแข็งรวม (% Total solid) มีวิธีการดังนี้

-อบบีกเกอร์ในตู้อบที่ 100°C เป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมง นำมาใส่ในเดซิเคเตอร์

-ชั่งน้ำหนักบีกเกอร์พร้อมตัวอย่างสาหร่าย บันทึกน้ำหนัก

-นำตัวอย่างในบีกเกอร์ไปอบที่ 60°C เป็นเวลาอย่างน้อย 60 ชั่วโมง นำมาใส่ในเดซิเคเตอร์ รอจนตัวอย่างพร้อมบีกเกอร์เย็น แล้วจึงชั่งน้ำหนักอีกครั้ง

-ทำการทดลองอย่างน้อย 3 ครั้ง คำนวณหา %Total solid ได้จากสูตร

$$\%\text{Total solid} = (C-B) / (A-B) \times 100$$

เมื่อ A = น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบแห้ง (g)

B = น้ำหนักบีกเกอร์ที่อบแห้ง (g)

C = น้ำหนักตัวอย่างหลังอบแห้ง (g)

หมายเหตุ ตัวอย่างวัสดุอื่น ๆ ที่ใช้ ก็ทดลองหา %Total solid ในทำนองเดียวกัน

3.4.1.2 ศึกษาสมบัติการบวมตัว (Swelling characteristics) ซึ่งได้แก่ Swelling ratio (Q) และ Volume of absorbed solvent (VAS) ตามวิธีของ Holan *et al* (1993) โดยนำตัวอย่างสาหร่ายที่อบแห้งที่

Prince of Songkla University Pattani Campus

ทราบน้ำหนักแน่นอน (W_d) ไปแช่ในน้ำกลั่นเป็นเวลาอย่างน้อย 12 ชั่วโมงเพื่อให้เกิดการบวมน้ำได้เต็มที่ แล้วนำตัวอย่างสาหร่ายที่เปียกมาชั่งน้ำหนัก (W_s)

$$\text{Swelling ratio (Q)} = W_s / W_d$$

$$\text{Volume of absorbed solvent (VAS)} = (W_s - W_d) / W_d$$

เมื่อ W_s = น้ำหนักตัวอย่างที่แห้ง และ W_d = น้ำหนักตัวอย่างที่บวมน้ำ

3.4.1.3 ศึกษาหมู่ฟังก์ชันของสารดูดซับ โดยใช้เครื่อง Fourier-Transformed Infrared Spectroscopy (FTIR)

3.4.1.4 ศึกษาลักษณะของพื้นผิวของสารดูดซับ โดยดูภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM)

3.4.2 ศึกษากระบวนการ Adsorption-Desorption แบบ Batch system

- เขย่าตัวอย่างสาหร่ายผมนางอบแห้ง 0.2 g ในขวดที่บรรจุสารละลายโลหะหนักทองแดง เข้มข้น 20 mg/l, pH = 5.0±0.5 ปริมาณ 100 ml โดยใช้ความเร็ว 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

- เมื่อครบเวลา กรองวัสดุสาหร่ายออก นำส่วนสารละลายมาวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักที่เหลือโดยเครื่อง AAS

- นำส่วนวัสดุสาหร่ายมาล้างด้วยน้ำกลั่นหลาย ๆ ครั้ง ก่อนนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เก็บไว้ในโถดูดความชื้นก่อนการทดลอง desorption

- นำวัสดุสาหร่ายที่อบแห้งแล้วมาแช่ในสารละลายกรด HCl เข้มข้น 0.5 M เขย่าด้วยความเร็ว 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และเก็บสารละลายที่ผ่านออกจากคอลัมน์ มาวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักที่ถูกดูดซับ โดยเครื่อง AAS

- คำนวณหา desorption efficiency ซึ่งหมายถึง ปริมาณร้อยละของโลหะทองแดงที่ถูกดึงออกจากตัวดูดซับ

$$\text{Desorption efficiency (\%)} = \frac{\text{amount of metal desorbed into solution}}{\text{initial amount of metal adsorbed}} \times 100$$

3.4.3 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพพื้นผิวสาหร่ายเพื่อเพิ่มเสถียรภาพของสารดูดซับ

ได้เลือกวัสดุตัวอย่างสาหร่ายผมนางมาทำการทดลอง เนื่องจากมีปริมาณมาก และหาได้ง่ายกว่าสาหร่ายอีกสองชนิดในช่วงที่ทำการศึกษา

3.4.3.1 การเปลี่ยนแปลงสภาพพื้นผิวสาหร่ายโดย 37% Formaldehyde

ทำการทดลองการเปลี่ยนแปลงสภาพพื้นผิวของตัวอย่างสาหร่ายผมนาง ซึ่งดัดแปลงมาจากวิธีของ Holan *et al* (1993) โดยมีรายละเอียดดังนี้

Prince of Songkla University Pattani Campus

1) วิธีการเตรียม

- แช่วัสดุสาหร่าย 100g ใน conc H_2SO_4 ปริมาณ 500 ml ให้ความร้อนที่ 100°C เป็นเวลา 30 นาที

- เมื่อครบเวลา กรองแยกตัวอย่างสาหร่ายออก ล้างด้วยน้ำกลั่นจนเป็นกลาง แล้วนำไปแช่ใน 37% Formaldehyde จำนวน 50 ml ประมาณ 2 ชั่วโมง

- กรองเพื่อแยกวัสดุสาหร่าย ล้างน้ำ ก่อนล้างด้วย 0.1M HNO_3 จำนวน 500 ml แล้วล้างอีกครั้งด้วยน้ำกลั่น

- นำวัสดุที่ได้ไปอบให้แห้งที่ อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลาอย่างน้อย 5 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างสาหร่ายที่เตรียมได้ในโถดูดความชื้นสำหรับใช้ศึกษาต่อไป และนำส่วนหนึ่งไปหาหมู่ฟังก์ชันโดยเครื่อง FTIR

2) การศึกษาการดูดซับโลหะตะกั่วของวัสดุสาหร่ายที่เตรียมได้

-บรรจุวัสดุสาหร่ายที่เตรียมได้จากข้อ 1 จำนวน 15 g ในคอลัมน์ขนาด 1.8x20 cm และผ่านน้ำที่ปราศจากโลหะ ลงในคอลัมน์ ปรับอัตราการไหลของน้ำที่ไหลออกให้ได้ประมาณ 1.5-2.0 ml/min

-ผ่านสารละลายตะกั่วเข้มข้น 500 µg/l ลงไปในคอลัมน์ เก็บสารละลายที่ออกจากคอลัมน์ ที่เวลาต่าง ๆ คือ ที่ 0, 5, 10, 15, 20, 30, 60, 120 และ 180 นาที นำไปวิเคราะห์โลหะที่เหลือด้วย AAS

3.4.3.2 การปรับสภาพ ด้วย 0.1 M $CaCl_2$ (ตามวิธีของ Matheickal et al, 1999)

1) วิธีการปรับสภาพวัสดุตัวอย่างสาหร่าย

- แช่ตัวอย่างสาหร่ายที่อบแห้งในสารละลาย 0.2 M $CaCl_2$ pH 4.0±0.5 โดยกวนสารละลายด้วยเครื่องกวนความเร็วประมาณ 50 รอบต่อนาที เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง

- กรอง นำส่วนสาหร่ายที่ได้มาล้างด้วยน้ำกลั่นอย่างน้อย 3 ครั้ง อบให้แห้งในตู้อบ อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง

- นำสาหร่ายเก็บไว้ในโถดูดความชื้น สำหรับใช้ในการศึกษาต่อไป

2) ศึกษาลักษณะของพื้นผิวของตัวอย่างสาหร่ายที่ปรับสภาพด้วย 0.2M $CaCl_2$

โดยดูภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM)

3) ศึกษาความสามารถดูดซับโลหะหนักของสาหร่ายที่ไม่ผ่านและผ่านการปรับสภาพ

-นำตัวอย่างสาหร่ายที่อบแห้งซึ่งไม่ผ่านและผ่านการปรับสภาพด้วย 0.2M $CaCl_2$ จำนวนอย่างละ 0.1 g มาเติมสารละลายโลหะหนักที่ทราบความเข้มข้นแน่นอนในแต่ละชุดการทดลอง คือ ตะกั่ว เข้มข้น 500 µg/l ส่วนทองแดง 50 mg/l pH 5.0 ทำการเขย่า ความเร็ว 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

-เมื่อครบเวลา กรองสาหร่ายออกโดยใช้ membrane filter (Millipore) ขนาด 0.45 µm นำสารละลายใสที่กรองได้มาตรวจหาปริมาณโลหะหนักที่เหลือด้วยเครื่อง AAS

4) ศึกษาผลของ pH ต่อความสามารถดูดซับโลหะของตัวอย่างสาหร่ายที่ปรับสภาพด้วย 0.2M $CaCl_2$

ทำการทดลองในทำนองเดียวกับข้อ 3.2.3

Prince of Songkla University Pattani Campus

5) ศึกษาจลนศาสตร์ของการดูดซับโลหะหนักของตัวอย่างสาหร่ายที่ปรับสภาพด้วย 0.2M $CaCl_2$

ทำการทดลองในทำนองเดียวกับข้อ 3.2.5

6) ศึกษาผลของโลหะเบาบางชนิดต่อความสามารถดูดซับโลหะหนักโดยวัสดุตัวอย่างสาหร่ายที่ปรับสภาพด้วย 0.2M $CaCl_2$

- แช่ตัวอย่างสาหร่ายผมนางอบแห้งจำนวน 0.1 g ในสารละลายทองแดงที่ทราบค่าความเข้มข้นและประกอบด้วยอนุมูลโลหะ Na^+, K^+, Ca^{2+} หรือ Mg^{2+} ความเข้มข้น 10 mM เขย่าเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

- เมื่อครบเวลา กรองสาหร่ายออกโดยใช้ membrane filter (Millipore) ขนาด 0.45 μm นำสารละลายใสที่กรองได้มาตรวจหาปริมาณโลหะหนักที่เหลือด้วยเครื่อง AAS

7) ศึกษา Adsorption-Desorption ของตัวอย่างสาหร่ายที่ปรับสภาพด้วย 0.2M $CaCl_2$

ทำการทดลองในทำนองเดียวกับข้อ 3.4.2

3.5 การทดสอบการดูดซับโลหะหนักจากน้ำเสียโดยวัสดุตัวอย่างสาหร่ายที่ปรับสภาพ

- เก็บตัวอย่างน้ำที่ปนเปื้อนโลหะหนัก จากบริเวณเหมืองแร่เก่า ตำบลถ้ำทะลุ อำเภอบันนังสตา จังหวัดยะลา ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง

- นำน้ำตัวอย่างมาผ่านลงในคอลัมน์ที่บรรจุด้วยวัสดุตัวอย่างสาหร่ายผมนางที่ปรับสภาพด้วย 0.2 M $CaCl_2$ ปริมาณ 15 g และถ่านกัมมันต์ รองส่วนบน (2.5 g) และส่วนล่าง (2.5 g) ของคอลัมน์ ปรับอัตราการไหลน้ำที่ผ่านออกจากคอลัมน์ 20 ml/min โดยใช้เครื่อง peristaltic pump ปริมาตรน้ำ 1 bed volume = 120 ml

- วิเคราะห์หาปริมาณโลหะทองแดงและตะกั่ว และพารามิเตอร์บางชนิดของตัวอย่างน้ำทั้งก่อนและหลังผ่านคอลัมน์ (เก็บครั้งละ 120 ml) ตามวิธีการดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์บางชนิดและวิธีการวิเคราะห์พารามิเตอร์ของตัวอย่างน้ำ

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์
ปริมาณทองแดง	Flame atomic absorption spectroscopy (FAAS)
ปริมาณตะกั่ว	Graphite furnace atomic absorption spectroscopy (GFAAS)
pH	pH meter
Hardness	EDTA titration
Alkalinity	Acid titration

Prince of Songkla University Pattani Campus