บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการเก็บตัวอย่างน้ำ ดิน และสัตว์น้ำจากลำน้ำปัตตานี ช่วงบริเวณเหมืองแร่เก่า วัดถ้ำทะลุ สะพานยีลาปัน อำเภอบันนังสตา ถึง เขตเทศบาลเมือง อำเภอเมืองจังหวัดยะลา 4 จุด จำนวน 3 ครั้ง เพื่อวิเคราะห์การปนเปื้อนของโลหะหนักทองแดง ตะกั่ว และสารหนู พบว่า ตัวอย่างน้ำซึ่งมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 7.19-7.47 มีการกระจายของทองแดงค่อนข้างสม่ำเสมอตลอดลำน้ำ คือ อยู่ในช่วง 2.07–2.57 mg/L ส่วนปริมาณตะกั่ว อยู่ในช่วง 0.012–1.28 mg/L และสารหนู อยู่ในช่วง 8.0–90.7 µg/L ซึ่งโลหะสองชนิดหลังนี้มีแนวโน้มของการปนเปื้อนที่ลดลงตามระยะทางจากเหมืองแร่เก่าที่เพิ่มขึ้น เป็นที่น่าสังเกตว่า ปริมาณของโลหะทั้งสามชนิดมีค่าที่สูงกว่าปริมาณที่กำหนดของมาตรฐานคุณภาพน้ำแหล่งผิวดิน สำหรับตัวอย่างตะกอนดินตรวจพบปริมาณของโลหะ ทองแดง ตะกั่วและสารหนู อยู่ในช่วง 230–8,316; 1.47–66.2 และ 0.5–5.6 mg/kg ตามลำดับ โดยการกระจายตัวของโลหะทั้งสามจะมีค่าลดลงเมื่อระยะทางจากเหมืองแร่เก่าเพิ่มขึ้น

สำหรับตัวอย่างสัตว์น้ำ ตรวจพบปริมาณโลหะหนักทั้งสามชนิดมีค่าสูงกว่าปริมาณที่พบในตัวอย่างน้ำ แต่ต่ำกว่าปริมาณที่พบในตะกอนดินมาก โดยมีแนวโน้มในทำนองเดียวกับกรณีตัวอย่างน้ำและตะกอนดิน คือพบการปนเปื้อนสูงในบริเวณเหมืองแร่เก่าใกล้วัดถ้ำทะลุ และมีการลดลงตามระยะทางที่เพิ่มขึ้นจากเหมืองแร่เก่า เป็นที่น่าสังเกตว่าสัตว์น้ำประเภทหอย และลูกอ๊อดที่เก็บได้ตามลำน้ำปัตตานีทั้งสามแห่ง มีการปนเปื้อนของโลหะหนักทั้งสามชนิดมากกว่าสัตว์น้ำประเภทอื่น ๆ

การดูดซับโลหะแต่ละชนิดโดยวัสดุสาหร่ายผมนางและผักกาดมีแนวโน้มเช่นเดียวกัน คือมีค่าการดูดซับเพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชของสารละลายมีค่าเพิ่มขึ้น จาก 2.0 ถึง 4.0 อัตราการเพิ่มการดูดซับจะลดลงและเริ่มคงที่ ณ พีเอช 5.0-7.0 ตัวอย่างสาหร่ายทั้งสองชนิดมีความสามารถดูดซับโลหะหนักแต่ละชนิดที่สูงกว่ากรณีของผงถ่านกัมมันต์ นั่นคือ สาหร่ายผมนางมีค่าความสามารถสูงสุดในการดูดซับโลหะ (Q_m) ตามสมการการดูดซับแบบแลงค์เมียร์ สำหรับ ทองแดง ตะกั่ว และสารหนู เท่ากับ 16.10±0.46 mg/g, 1.20±0.05 mg/g และ 133.0±6.0 µg/g ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับ Q_m ของสาหร่ายผักกาด คือ 14.64±0.42 mg/g, 1.22±0.07 mg/g และ 128.0±5.0 µg/g ตามลำดับ ส่วนถ่านกัมมันต์มีการดูดซับโลหะแต่ละชนิดได้ต่ำกว่า

สำหรับการศึกษาจลนศาสตร์ของการดูดซับพบว่า วัสดุตัวอย่างสาหร่ายสามารถดูดซับโลหะแต่ละชนิดได้ในเวลารวดเร็ว โดยที่ความเข้มข้นของโลหะทองแดงและตะกั่วค่าต่ำ (Cu = 10 mg/L, Pb = 25 µg/L) สามารถดูดซับได้ถึง 90% ภายในเวลา 15 นาที และที่ความเข้มข้นของโลหะทองแดงและตะกั่วค่าสูง (Cu = 20 mg/L, Pb = 50 µg/L) จะดูดซับได้ 90% ภายในเวลา 20-30 นาที ส่วนกรณีสารหนู (As =25, 50 µg/L) การดูดซับจะเกิดขึ้นค่อนข้างช้ากว่าเล็กน้อย คือดูดซับได้ 90% ภายในเวลา 30-50 นาที

จากการศึกษากระบวนการ adsorption-desorption ของตะกั่วโดยสาหร่ายผมนางโดยการทดลองการดูดซับแบบสมดุล ความเข้มข้นของตะกั่ว 20 mg/L และใช้ 0.1 M $CaCl_2$ และ 0.1 M HNO_3 เป็นตัวชะ พบว่า

0.1 M HNO_3 สามารถชะตะกั่วออกมาจากวัสดุสาหร่ายได้มากกว่า 0.1 M $CaCl_2$ ถึง 82% และ 72% ในรอบการชะที่ 1 และ 2 ในขณะที่ 0.1 M $CaCl_2$ ชะออกได้เพียง 10% และ 45% ตามลำดับ แต่ตัวอย่างสาหร่ายที่ผ่านการชะครั้งแรกด้วย 0.1 M $CaCl_2$ จะสามารถดูดซับตะกั่วได้ดี ในช่วง 93-95% ส่วนตัวอย่างสาหร่ายที่ผ่านการชะครั้งแรกด้วย 0.1 M HNO_3 จะมีการดูดซับลดลงเหลือ 66-75% อย่างไรก็ตามวัสดุสาหร่ายนี้ไม่สามารถนำไปใช้ต่อได้อีก

จากการคัดแยกเชื้อจุลินทรีย์จากตัวอย่างดินและตัวอย่างน้ำที่ปนเปื้อนสารหนูในบริเวณเหมืองแร่เก่าวัดถ้ำทะลุ พบว่าจากเชื้อจุลินทรีย์ที่คัดแยกได้จำนวนทั้งหมด 158 ไอโซเลต มีจำนวน 8 ไอโซเลต สามารถเจริญได้ดีในอาหาร NB ที่มีสารหนูเข้มข้น 12 mg/L ในเวลา 24 ชั่วโมง โดยมีเพียง 1 ไอโซเลต (W 2-4 3) ที่สามารถดูดซับสารหนูได้มากที่สุด จากการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแบคทีเรียชนิดนี้ พบว่าเป็นแบคทีเรียแกรมลบ ไม่สร้างสปอร์ รูปร่างเป็นท่อน เคลื่อนที่โดยแฟลกเจลา ศึกษาสมบัติทางชีวเคมีของไอโซเลต W 2-4 3 เปรียบเทียบกับ *Psuedomonas aeruginosa* TISTR 358 พบว่ามีลักษณะบางประการคล้ายคลึงกัน นอกจากนี้เซลล์แบคทีเรียทั้งสอง ใช้ระยะเวลาในการเจริญใกล้เคียงกัน คือ 26-30 ชั่วโมง

จากการทดสอบความสามารถดูดซับโลหะสารหนูที่สภาวะต่าง ๆ โดยเซลล์ไอโซเลต W 2-4 3 พบว่า ที่พีเอช 7.0 เซลล์สามารถดูดซับสารหนูได้สูงสุด (65.5%) ปริมาณการดูดซับจะลดลงเมื่อค่าพีเอชในอาหารลดต่ำลง เมื่อเลี้ยงเซลล์แบคทีเรียนี้ในอาหารที่มีสารหนู 12 mg/L ณ พีเอช 7.0 พบว่า เมื่อระยะเวลาการดูดซับมากขึ้น เซลล์สามารถดูดซับสารหนูได้มากขึ้น โดยในวันที่ 1-5 จะมีอัตราการดูดซับที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อเวลาผ่านไปถึงวันที่ 6 และ 7 อัตราการดูดซับจะลดลง ทำให้ปริมาณการดูดซับสารหนูเริ่มคงที่ จากการทดสอบการดูดซับสารหนูโดยเซลล์ W 2-4 3 ในสภาพที่มีชีวิตและไม่มีชีวิต พบว่า สภาพเซลล์ที่มีชีวิต (น้ำหนักแห้ง 0.2261 กรัม) สามารถดูดซับสารหนูได้ถึง 3.45 mg/g ซึ่งมากกว่าเซลล์ในสภาพไม่มีชีวิต (น้ำหนักแห้ง 2.8602 กรัม) ที่มีความสามารถดูดซับสารหนูได้ 0.34 mg/g อยู่ประมาณ 10 เท่า นอกจากนี้เชื้อไอโซเลต W 2-4 3 มีประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะสารหนูที่สูงกว่า เซลล์ *P. aeruginosa* TISTR 358 ซึ่งมีการดูดซับสารหนูได้ดีที่สุด (44.8%) ที่ความเข้มข้นสารหนู 20 µg/L เท่านั้น ที่ความเข้มข้นสูงกว่า 20 µg/L จะมีการตายของเซลล์

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์ปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักทองแดง ตะกั่ว และสารหนูในลำน้ำปัตตานีในช่วงระยะเวลาสั้นคือมีการเก็บตัวอย่างวิเคราะห์เพียง 3 เดือนซึ่งอยู่ในช่วงฤดูฝน ควรที่จะเก็บตัวอย่างวิเคราะห์ในฤดูอื่น ๆ ด้วยเพื่อดูการกระจายของโลหะหนักในรอบปี และน่าที่จะมีการศึกษาถึง species ของโลหะเหล่านี้ในตัวอย่างเพื่อดู fate และ distribution ของโลหะ ซึ่งจะมีประโยชน์ในการทำนายการปนเปื้อนของโลหะในธรรมชาติและการจัดการปัญหามลพิษที่อาจจะเกิดขึ้น

การศึกษาการกำจัดโลหะหนักทองแดง ตะกั่ว และสารหนูโดยสาหร่ายที่พบมากในอ่าวปัตตานีครั้งนี้ เป็นการศึกษาเบื้องต้นให้ข้อมูลเกี่ยวกับความสามารถดูดซับของชีวมวลสาหร่ายผมนาง และสาหร่าย

ผักกาด ในสภาวะที่เหมาะสม เปรียบเทียบกับสารดูดซับสังเคราะห์คือ ถ่านกัมมันต์ เช่นเดียวกันกรณีของจุลินทรีย์ เนื่องจากเวลาจำกัด จึงยังไม่ได้มีการศึกษาการปรับปรุงสภาพของสาหร่ายให้มีประสิทธิภาพการดูดซับโลหะที่ดีขึ้นและใช้งานได้หลายครั้ง ดังนั้นควรมีการศึกษาวิธีการปรับเปลี่ยนสภาพพื้นผิวของวัสดุสาหร่ายผมนางให้มีความทนทานและเหมาะสมต่อการดูดซับโลหะก่อน เช่น การใช้ calcium chloride ตามด้วย heat treatment หรือการใช้ formaldehyde crosslinking รวมถึงการทดสอบความสามารถดูดซับโลหะของวัสดุดูดซับชนิดอื่น ๆ ที่มีมากในท้องถิ่นและยังไม่มีการใช้ประโยชน์ ซึ่งได้แก่ กาบมะพร้าว ขี้เลื่อย ผักตบชวา ซังข้าวโพด เปลือกถั่วลิสง และกระดองปู

Prince of Songkla University Pattani Campus