

## บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ



### สรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาความสามารถในการกำจัดโลหะหนัก 3 ชนิดได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม และโครเมียมด้วยใช้ถ่านกระดูก โดยทำการทดลองแบบแบตช์และแบบคอลัมน์ สามารถสรุปผลการทดลองดังนี้

1) สำหรับสภาวะในการเตรียมถ่านกระดูกที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะหนัก อุณหภูมิในการเผามีผลกับประสิทธิภาพการกำจัดคือ ถ่านกระดูกที่เตรียมที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสจะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสูงกว่าถ่านกระดูกที่เตรียมที่อุณหภูมิ 800 และ 1000 องศาเซลเซียสตามลำดับ ส่วนระยะเวลาในการเผาจะมีผลน้อยมากกับประสิทธิภาพการกำจัดคือมีค่าประสิทธิภาพการกำจัดใกล้เคียงกันในระยะเวลาในการเผาทั้ง 8, 10 และ 12 ชั่วโมง โดยถ่านกระดูกที่เตรียมที่อุณหภูมิการเผา 600 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมงเป็นถ่านกระดูกที่ให้ประสิทธิภาพการกำจัดสูงที่สุดในช่วงสภาวะการเตรียมถ่านกระดูกที่ทำการศึกษา

2) ถ่านกระดูกสามารถกำจัดตะกั่วและแคดเมียมได้อย่างมีประสิทธิภาพสำหรับที่พีเอชของน้ำเสียเริ่มต้นเป็น 5 แต่ถ่านกระดูกไม่สามารถกำจัดโครเมียมได้ในค่าพีเอชเริ่มต้นเป็น 3 ซึ่งกลไกการกำจัดตะกั่วและแคดเมียมเป็นกลไกการดูดติดผิวทางเคมีหรือเกิดพันธะทางเคมีกับไฮดรอกซีอะพาไทต์ (calcium hydroxyapatite) ในถ่านกระดูก ดังสมการ



3) ค่าพีเอชในช่วงพีเอชที่ทำการศึกษามีผลกับการกำจัดตะกั่วและแคดเมียม โดยที่ในช่วงพีเอชน้อยกว่า 5 จะมีประสิทธิภาพการกำจัดสูงขึ้นเมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้น ส่วนในช่วงพีเอชสูงกว่า 6 เมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการกำจัดจะลดลง ประสิทธิภาพการกำจัดสูงสุดจะอยู่ในช่วงพีเอช 5 ถึง 6

4) ความเข้มข้นของน้ำเสียเริ่มต้นในช่วงที่ทำการศึกษามีผลกับค่าความสามารถในการกำจัดตะกั่วและแคดเมียมต่อปริมาณถ่านกระดุกคือ เมื่อความเข้มข้นของน้ำเสียเริ่มต้นเพิ่มขึ้น ถ่านกระดุกจะมีค่าความสามารถในการกำจัดสูงขึ้นด้วย

5) การกำจัดตะกั่วด้วยถ่านกระดุกสอดคล้องกับไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิช ส่วนการกำจัดแคดเมียมสอดคล้องกับไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์ โดยเวลาที่สภาวะสมดุลเป็น 8 และ 24 ชั่วโมงสำหรับการกำจัดตะกั่วและแคดเมียมตามลำดับ

6) สำหรับการทดลองแบบคอลัมน์ ความเข้มข้นของน้ำเสียก่อนผ่านคอลัมน์มีผลกับปริมาตรน้ำที่ผ่านการบำบัดจนมีค่าความเข้มข้นสูงกว่าที่กำหนดในมาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม โดยเมื่อความเข้มข้นน้ำเสียก่อนผ่านคอลัมน์มีค่าสูงขึ้น ก็จะสามารถบำบัดน้ำให้มีค่าต่ำกว่าในมาตรฐานน้ำทิ้งได้ปริมาณน้อยลง

### ความสำคัญทางด้านวิศวกรรมและการนำไปใช้ประโยชน์

จากผลการศึกษาการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม และโครเมียม โดยใช้ถ่านกระดุกเป็นสารดูดซับ สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ดังนี้

1) สามารถผลิตถ่านกระดุกซึ่งเป็นสารดูดซับชนิดหนึ่งมาใช้แทนถ่านกัมมันต์ในการกำจัดตะกั่วและแคดเมียมในน้ำเสีย โดยกรรมวิธีการผลิตถ่านกระดุกนั้นมีข้อแตกต่างจากการผลิตถ่านกัมมันต์คือไม่ต้องใช้สารเคมีเป็นตัวกระตุ้น ซึ่งทำให้ถ่านกระดุกมีต้นทุนในการผลิตที่ต่ำกว่าถ่านกัมมันต์

2) สามารถนำถ่านกระดุกมาใช้ในการกำจัดตะกั่วและแคดเมียมได้ทั้งแบบกะและแบบคอลัมน์ต่อเนื่องได้โดย

2.1) การกำจัดตะกั่วและแคดเมียมแบบกะ สามารถบำบัดได้ดีทั้งในช่วงพีเอชประมาณ 5 ถึง 6 เนื่องจากกลไกการดูดติดผิว และยังสามารถกำจัดได้ดีในช่วงพีเอชที่สูงกว่า เนื่องจากกลไกการดูดติดผิวร่วมกับการตกตะกอน

2.2) ส่วนการกำจัดตะกั่วและแคดเมียมแบบคอลัมน์ต่อเนื่อง มีข้อจำกัดคือสามารถกำจัดได้ดีในช่วงพีเอชที่ต่ำกว่าแบบกะ เนื่องจากต้องคำนึงถึงการเกิดตะกอนโลหะหนักบนผิวของถ่านกระดุกซึ่งทำให้เกิดการอุดตันของคอลัมน์ได้

3) สามารถทำนายความเหมาะสมในการกำจัดโลหะหนักชนิดอื่นที่มีประจุ +2 เช่นเดียวกับตะกั่วและแคดเมียมว่าเหมาะสมหรือไม่ในการกำจัดโลหะหนักเหล่านั้นจากน้ำเสียด้วยถ่านกระดูกโดยพิจารณาจาก

3.1) น้ำเสียที่มีพีเอชต่ำกว่า 3 หรือมีสภาพความเป็นกรดสูง ถ่านกระดูกจะกำจัดโลหะหนักได้ไม่ดี เนื่องจากน้ำเสียที่มีปริมาณไฮโดรเจนไอออนสูงจะรบกวนกระบวนการดูดติดผิวทางเคมีระหว่างโครงสร้างไฮดรอกซีอะพาไตต์ภายในถ่านกระดูกกับไอออนประจุ 2+ ของโลหะหนัก

3.2) การกำจัดโลหะหนักเนื่องจากการดูดติดผิวน้ำจะเกิดขึ้นได้ดีในช่วงพีเอชที่รูปแบบของโลหะหนักในน้ำเสียอยู่ในรูปประจุ 2+ แต่น้ำจะสามารถกำจัดโลหะหนักเนื่องจากการดูดติดผิวร่วมกับการตกตะกอนในช่วงพีเอชที่รูปแบบของโลหะหนักเป็นรูปของตะกอนของแข็งของโลหะหนักได้อีกด้วย

#### ข้อเสนอแนะ

1) ศึกษาการใช้ถ่านกระดูกในการกำจัดโลหะหนักชนิดอื่นๆ เช่นปรอท สังกะสี เป็นต้น

2) ศึกษาผลของสภาวะการเตรียมถ่านกระดูกอื่นๆ เช่น การเผาในสภาวะไร้อากาศ หรือเผาที่อุณหภูมิต่ำกว่า 600 องศาเซลเซียส (เนื่องจากผลการทดลองแสดงว่าที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสให้ประสิทธิภาพการกำจัดได้สูงกว่าที่ 800 และ 1000 องศาเซลเซียส)

3) ศึกษาผลของตัวแปรอื่นๆ เช่น อุณหภูมิ ความปั่นป่วน ความแรงไอออน ที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนัก รวมถึงศึกษาการคายผิวของถ่านกระดูกที่ผ่านการกำจัดแล้ว

4) ศึกษาการรีเจเนอเรตในการทดลองแบบคอลัมน์ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการใช้งานสูงสุด โดยอาจจะใช้กรดหรือเบสแก่เป็นตัวรีเจเนอเรต

5) ศึกษาการนำน้ำเสียจริงมาทำการทดลองการกำจัดโลหะหนักทั้งแบบแบตช์และแบบคอลัมน์