บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาลักษณะและคุณสมบัติของซิลิกาเจลที่ใช้แล้วเคลือบด้วยเหล็กออกไซด์และการนำไปใช้กำจัดแคดเมียมและนิกเกิลในน้ำเสีย สามารถสรุปได้ดังนี้

1. การเคลือบซิลิกาเจลด้วยเหล็กออกไซด์ทำให้พื้นที่ผิวลดลงจากเดิมก่อนเคลือบ โดยพื้นที่ผิวของซิลิกาเจลก่อนเคลือบคือ 353.54 m^2/g ปริมาตรรูพรุน 0.56 cm^3/g และปริมาณเหล็ก 0.2 mgFe/g แต่หลังจากเคลือบด้วยเหล็กออกไซด์ ทำให้พื้นที่ผิวลดลดลงเหลือ 236.98 m^2/g ปริมาตรรูพรุน 0.62 cm^3/g และปริมาณเหล็กเพิ่มขึ้นเป็น 8.91 mgFe/g

2. เมื่อศึกษาการเคลือบซิลิกาเจลที่มาจากต่างห้องปฏิบัติการจำนวน 6 ชุด พบว่าตัวดูดซับที่เตรียมได้สามารถกำจัดแคดเมียมและนิกเกิลได้อยู่ในช่วง 3.45 – 3.72 mgCd/g silica gel และ 3.01 – 3.32 mgNi/g silica gel ตามลำดับ

3. จากการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดแคดเมียมและนิกเกิลในน้ำเสียสังเคราะห์ พบว่า ระยะเวลาในการสัมผัส อุณหภูมิของสารละลายโลหะ และ pH ของสารละลาย รวมทั้งแคทไอออนและแอนไอออนในสารละลาย มีผลต่อความสามารถในการกำจัดโลหะหนักของซิลิกาเจลเคลือบเหล็กออกไซด์ ดังนี้

3.1 ภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดแคดเมียมคือ ระยะเวลาในการสัมผัสที่ 30 นาที เมื่อความเข้มข้นของสารละลายแคดเมียมเท่ากับ 45 mg/L โดยใช้อัตราส่วนของน้ำหนักตัวดูดซับ 0.25 g ต่อปริมาตรของสารละลายโลหะ 25 ml

3.2 ภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดนิกเกิลคือ ระยะเวลาในการสัมผัสที่ 30 นาที เมื่อความเข้มข้นของสารละลายนิกเกิลเท่ากับ 50 mg/L โดยใช้อัตราส่วนของน้ำหนักตัวดูดซับ 0.25 g ต่อปริมาตรของสารละลายโลหะ 25 ml

3.3 ภาวะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดแคดเมียมและนิกเกิลคือ pH ในช่วง 4.0 – 8.0 และเมื่อ pH ของสารละลายโลหะเท่ากับ 2 จะทำให้เหล็กออกไซด์ที่เคลือบอยู่บนผิวของซิลิกาเจล ถูกชะละลายออกมาในสารละลาย โดยสามารถตรวจวัดความเข้มข้นของเหล็กในสารละลายนิกเกิลได้เท่ากับ 12.29 mg/L และในสารละลายแคดเมียมได้เท่ากับ 11.79 mg/L

3.4 อุณหภูมิมีผลต่อการกำจัดโลหะดังนี้ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก $30^0 - 60^0$ C ความสามารถในการกำจัดแคดเมียมเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และความสามารถในการกำจัดนิกเกิลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆอย่างช้าๆ

3.5 ผลของแคทไอออนและแอนไอออนในน้ำเสียจากการเติมเกลือ NaCl, $NaNO_3$, KNO_3 ความเข้มข้นตั้งแต่ 0.01 M ขึ้นไป ส่งผลให้ซิลิกาเจลเคลือบเหล็กออกไซด์สามารถกำจัดแคดเมียมและนิกเกิลได้น้อยลง และจะกำจัดโลหะหนักได้น้อยลงเรื่อยๆ เมื่อความเข้มข้นของเกลือเพิ่มขึ้น และชนิดของแอนไอออนและแคทไอออนที่ต่างกันมีผลต่อความสามารถในการกำจัดแคดเมียมและนิกเกิล โดย Cl^- จะทำให้ความสามารถในการกำจัดแคดเมียมและนิกเกิลลดลงมากกว่า NO_3^- และ K^+ จะทำให้ความสามารถในการกำจัดแคดเมียมและนิกเกิลลดลงมากกว่า Na^+

4. ผลของโลหะหนักหลายชนิดที่มีในสารละลาย พบว่า เมื่อมีโลหะแคดเมียม นิกเกิล ตะกั่ว และทองแดงผสมกันในสารละลาย ซิลิกาเจลเคลือบเหล็กออกไซด์มีความสามารถในการกำจัดโลหะเรียงจากมากไปน้อยคือ ทองแดง ตะกั่ว นิกเกิล และแคดเมียม ตามลำดับ

5. ผลของการนำซิลิกาเจลเคลือบเหล็กออกไซด์มาใช้ซ้ำเมื่อทำการ Regeneration ด้วย HNO_3 0.001 M pH เท่ากับ 3.02 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมในรอบที่ 1, 2, 3 เป็น 98.34%, 43.98% และ 6.25% ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดนิกเกิลในรอบที่ 1, 2, 3 เป็น 75.28%, 17.47% และ 3.32% ตามลำดับ

6. ผลการศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับ พบว่าการดูดซับแคดเมียมและนิกเกิลของซิลิกาเจลเคลือบเหล็กออกไซด์มีความสัมพันธ์เป็นไปตามสมการไอโซเทอมของการดูดซับแบบฟรุนด์ลิช

7. เมื่อนำซิลิกาเจลเคลือบเหล็กออกไซด์มาใช้กับน้ำเสียจริง ผลที่ได้พบว่าสามารถกำจัดแคดเมียมได้ 2.98 mg/g silica gel และกำจัดนิกเกิลได้ 2.61 mg/g silica gel โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมและนิกเกิลได้เท่ากับ 84.52% และ 61.55% ตามลำดับ

8. ผลการชะออกของโลหะจากซิลิกาเจลเคลือบด้วยเหล็กออกไซด์ที่จับโลหะแล้ว พบว่าโลหะจะถูกชะออกมาเมื่อ pH เท่ากับ 3 และต่ำกว่า โดยที่ pH เท่ากับ 3 จะมีปริมาณแคดเมียมและนิกเกิลที่หลุดออกมาในสารละลายเท่ากับ 0.30 mg/L และ 0.24 mg/L ตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำซิลิกาเจลเคลือบเหล็กออกไซด์ในการนำไปใช้ประโยชน์ เช่น ใช้จับสารปนเปื้อนเพื่อผลิตน้ำบริสุทธ์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการต่างๆ

2. ศึกษาข้อจำกัดในการนำซิลิกาเจลเคลือบเหล็กออกไซด์ในการนำไปใช้กับน้ำเสียหลายๆ ประเภท