

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การศึกษาการสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักซึ่งได้จากลานตากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียทางเคมีของโรงงานอุตสาหกรรมที่มีกระบวนการชุบโลหะนิกเกิล กากตะกอนโลหะหนักที่ใช้ในการทดลองมีนิกเกิล 48.81 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในรูปนิกเกิลไฮดรอกไซด์ มีพีเอชเริ่มต้นประมาณ 7.89

จากการทดลองพบว่า กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร สามารถสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนัก 1 กรัม ได้ 100 เปอร์เซ็นต์

เมื่อศึกษาการใช้ *T. ferrooxidans* และ *T. thiooxidans* สกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนัก พบว่า *T. ferrooxidans* และ *T. thiooxidans* สามารถสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักได้ โดยมีประสิทธิภาพแตกต่างกัน ซึ่ง *T. ferrooxidans* สามารถสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักได้ 82 เปอร์เซ็นต์ *T. thiooxidans* สามารถสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักได้ 99 เปอร์เซ็นต์ และเชื้อผสมระหว่าง *T. ferrooxidans* และ *T. thiooxidans* สามารถสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักได้ 86 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าชนิดของเชื้อแบคทีเรียมีผลต่อประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนัก

ช่วงเวลาเลี้ยงเชื้อ *T. ferrooxidans* มีผลต่อประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนัก เนื่องจากพบว่าการเติมกากตะกอนโลหะหนักลงไปภายหลังจากเชื้อเจริญได้ 18 ชั่วโมง จะทำให้สกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักได้มากกว่าการเติมกากตะกอนโลหะหนักลงไปในช่วงเวลาเริ่มต้นการเลี้ยงเชื้อ 19 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งในสภาวะที่เติมกากตะกอนโลหะหนักลงไปภายหลังจากเชื้อเจริญได้ 18 ชั่วโมง สกัดนิกเกิลได้ 99 เปอร์เซ็นต์ และในสภาวะที่เติมกากตะกอนโลหะหนักลงไปในช่วงเวลาเริ่มต้นการเลี้ยงเชื้อ สกัดนิกเกิลได้ 80 เปอร์เซ็นต์ ในเวลา 7 วัน เช่นเดียวกับช่วงเวลาเลี้ยงเชื้อ *T. thiooxidans* ที่มีผลต่อการสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนัก โดยพบว่าการเติมกากตะกอนโลหะหนักลงไปภายหลังจากเชื้อเจริญได้ 5 วัน จะทำให้สกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักได้มากกว่าการเติมกากตะกอนโลหะหนักลงไปในช่วงเวลาเริ่มต้นการเลี้ยงเชื้อ 5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งในสภาวะที่เติมกากตะกอนโลหะหนักลงไปภายหลังจากเชื้อเจริญได้ 5 วัน สกัดนิกเกิลได้ 99 เปอร์เซ็นต์ และในสภาวะที่เติมกากตะกอนโลหะหนักลงไปในช่วงเวลาเริ่มต้นการเลี้ยงเชื้อ สกัดนิกเกิลได้ 94 เปอร์เซ็นต์ ในเวลา 7 วัน

เฟอร์ริสอออนที่ความเข้มข้น 0.25, 0.50 และ 0.75 กรัมต่อลิตร ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักที่ปริมาณ 200 มิลลิกรัมต่อลิตรโดย *T. ferrooxidans* เนื่องจากมีปริมาณเฟอร์ริสอออนมากเกินไป และจากการคำนวณตามสมการทางเคมีของการสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักโดย *T. ferrooxidans* ที่คาดว่าจะเกิดขึ้น พบว่า กากตะกอนโลหะหนัก 1 กรัม จะต้องใช้เฟอร์ริสซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 3.08 กรัม จึงจะเกิดการละลายของนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักได้หมด

เมื่อทดลองใช้เชื้อ *T. ferrooxidans* ที่ผ่านการปรับสภาพให้สามารถทนต่อความเป็นพิษของกากตะกอนโลหะหนักได้มากขึ้น มาสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนัก พบว่า สามารถสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักได้มากกว่า เชื้อที่ไม่ได้รับการปรับสภาพ 17 เปอร์เซ็นต์ โดย *T. ferrooxidans* ที่ผ่านการปรับสภาพสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักได้ 99 เปอร์เซ็นต์ และเชื้อที่ไม่ได้รับการปรับสภาพสกัดนิกเกิลออกมาได้ 82 เปอร์เซ็นต์

การสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักโดย *T. ferrooxidans* ที่ปริมาณกากตะกอนโลหะหนัก 200, 400, 800 มิลลิกรัมต่อลิตร 1, 5 และ 8 กรัมต่อลิตร สามารถสกัดนิกเกิลออกมาได้ 97, 94, 99, 85, 80 และ 82 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แสดงว่าปริมาณกากตะกอนโลหะหนักที่แตกต่างกัน มีผลต่อการสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักโดย *T. ferrooxidans* เมื่อปริมาณกากตะกอนโลหะหนักเพิ่มขึ้นเป็น 1, 5 และ 8 กรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักจะลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องจากเชื้อได้รับความเป็นพิษจากปริมาณกากตะกอนโลหะหนักที่เพิ่มขึ้น และที่ปริมาณกากตะกอนโลหะหนัก 800 มิลลิกรัมต่อลิตร สกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักได้มากที่สุด คือ 99 เปอร์เซ็นต์

การทดลองสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักโดย *T. ferrooxidans* ในระดับถึงปฏิกรณ์แบบที่ละเท ที่ปริมาณกากตะกอนโลหะหนัก 800 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าสกัดนิกเกิลได้ 90 เปอร์เซ็นต์ ในเวลา 14 วัน

เมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนัก ระหว่างวิธีทางเคมี การสกัดด้วย *T. ferrooxidans* และการสกัดด้วย *T. thiooxidans* พบว่า การสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักด้วยวิธีทางเคมี มีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด คือ 0.10 บาทต่อการสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักปริมาณ 1 กรัม ส่วนการสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักโดย *T. thiooxidans* มีค่าใช้จ่าย 0.98 บาทต่อการสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักปริมาณ 1 กรัม และการสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักโดย *T. ferrooxidans* มีค่าใช้จ่ายสูงที่สุดคือ 2.25 บาทต่อการสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักปริมาณ 1 กรัม

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 เมื่อเพิ่มปริมาณกากตะกอนโลหะหนักมากกว่า 800 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าประสิทธิภาพการสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักจะลดลง แต่จากการศึกษาของ Kai, Nishi และ Takahashi (1995) พบว่าการปรับสภาพเชื้อ *T. ferrooxidans* ให้สามารถทนต่อนิกเกิลไอออน ความเข้มข้น 1 กรัมต่อลิตร *T. ferrooxidans* จะมีประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิลสูงขึ้น ดังนั้นจึงน่าจะใช้การปรับสภาพเชื้อ *T. ferrooxidans* ให้ทนต่อปริมาณกากตะกอนโลหะหนักได้มากขึ้น เพื่อที่จะสามารถสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักได้มากขึ้น

5.2.2 การเลี้ยงเชื้อให้เจริญเต็มที่แล้วจึงเติมกากตะกอนโลหะหนักลงไปเพื่อให้เกิดการสกัดนิกเกิลออกมา และเมื่อสกัดนิกเกิลออกมาหมด จึงเติมกากตะกอนโลหะหนักลงไปอีก จะสามารถลดปัญหาความเป็นพิษของกากตะกอนโลหะหนักที่มีต่อเชื้อได้ และช่วยให้สกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักได้มากขึ้น

5.2.3 ข้อมูลจากการทดลองในระดับขวดเขย่า ควรนำไปเป็นข้อมูลในการทดลองในระดับถังปฏิกรณ์ ซึ่งน่าจะขยายขนาดให้มากกว่า 7 ลิตร เนื่องจากวิธีการนี้ เป็นการสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักซึ่งเป็นของเสีย เป็นวิธีการที่ใช้กรดเพียงเล็กน้อย ส่วนใหญ่การสกัดเกิดจากกลไกทางอ้อม ซึ่งจะทำให้เกิดการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า

5.2.4 ควรจะมีการนำข้อมูลจากการทดลองในระบบขวดเขย่า ไปใช้ในการทดลองในระบบคอลัมน์

5.2.5 ควรจะทำการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักโดย *T. thiooxidans*

5.2.6 ควรมีการศึกษาการใช้กระบวนการไบโโอลิชซึ่งในการสกัดโลหะหนักชนิดอื่นออกจากกากตะกอนโลหะหนักชนิดอื่นๆ

5.2.7 วิธีการสกัดนิกเกิลออกจากกากตะกอนโลหะหนักที่น่าจะใช้ประโยชน์ได้จริง ควรจะใช้เชื้อ *T. thiooxidans* เพราะสามารถสร้างกรดซัลฟิวริกออกมาสกัดนิกเกิลได้ตลอดเวลา ถ้าในระบบมีผงซัลเฟอร์ และควรทำในระบบคอลัมน์ ซึ่งบรรจุกากตะกอนโลหะหนักไว้ภายใน ให้สารละลายของกรดซัลฟิวริกที่ *T. thiooxidans* สร้างขึ้นไหลผ่านกากตะกอนโลหะหนักในคอลัมน์ เพื่อให้เกิดการสกัดนิกเกิลออกมา และมีการป้องกันไม่ให้ *T. thiooxidans* ที่อยู่ในสารละลายไปสัมผัสกับกากตะกอนโลหะหนัก เพื่อป้องกันพิษของกากตะกอนโลหะหนักที่มีต่อ *T. thiooxidans*