

บทที่ 3 แผนงานและการดำเนินการวิจัย



3.1 แผนการทดลอง

การทดลองกระทำที่ห้องปฏิบัติการของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย การทดลองนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพและสภาวะที่เหมาะสม ในการกำจัดนิกเกิลออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้ตัวกลางเศษเหล็ก โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วนคือ การทดลองโดยใช้คอลัมน์แบบต่อเนื่อง และ การทดลองแบบแบตช์

ตัวแปรอิสระที่ทำการศึกษาโดยใช้คอลัมน์แบบต่อเนื่อง คือ

- ความสูงของชั้นตัวกลาง
- อัตราไหล

ตัวแปรอิสระที่ทำการศึกษาโดยใช้การทดลองแบบแบตช์ คือ

- ความเข้มข้นของเศษเหล็ก
- ลักษณะของเศษเหล็กก่อนและหลังการทำปฏิกิริยา
- พีเอช
- ผลของออกซิเจนที่ละลายในน้ำ
- ผลของอิออนประจุลบโดยใช้ซัลเฟตและคลอไรด์ในการศึกษา
- ผลของอิออนประจุบวกโดยใช้สังกะสีและทองแดงในการศึกษา

3.2 การเตรียมการทดลอง

3.2.1 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์

น้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลอง ได้จากการนำสารเคมีนิกเกิลซัลเฟต ($\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) ผสมกับน้ำที่ผ่านกระบวนการรีเวอร์สออสโมซิส (RO) สาเหตุที่ต้องใช้น้ำ RO เนื่องจากเป็นน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูง ทำให้สามารถขจัดปัญหาการปนเปื้อนของอิออนอื่นๆในน้ำ ที่อาจมีผลกระทบต่อ การทดลองได้

3.2.2 การเตรียมตัวกลางเพาะเชื้อ

เชื้อเพลิงที่ใช้เป็นตัวกลางนำมาจากโรงกลึงของภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย ดังแสดงในรูปที่ 3.1 นำเชื้อเพลิงที่ได้มาทำความสะอาดล้างคราบน้ำมันที่เคลือบผิวเชื้อเพลิงออก และนำมาตัดเป็นชิ้นเล็กๆ ให้มีขนาดใกล้เคียงกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.2 จากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้สัมผัสกับอากาศและน้ำเป็นเวลา 1 เดือน ก็จะได้ตัวกลางเพาะเชื้อในรูปแบบของเชื้อเพลิงออกไซด์ ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.1 เชื้อเพลิงที่ได้จากโรงกลึง



รูปที่ 3.2 เศษเมล็ดที่ถูกตัดเป็นชิ้นเล็กๆ



รูปที่ 3.3 เศษเมล็ดที่อยู่ในรูปของเมล็ดออกไซด์

3.3 วิธีการทดลอง

ได้ทำการแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วนคือการทดลองโดยใช้คอลัมน์แบบต่อเนื่อง และการทดลองแบบแบตช์

3.3.1 การทดลองโดยใช้คอลัมน์แบบต่อเนื่อง

แบ่งออกเป็น 2 ชุดการทดลองดังนี้

- การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของความสูงชั้นตัวกลางที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดนิกเกิล
- การทดลองที่ 2 ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดนิกเกิลที่อัตราไหลต่างๆ

3.3.1.1 ผลของความสูงชั้นตัวกลางที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดนิกเกิล

ตัวแปรอิสระ ได้แก่

1. ความสูงชั้นตัวกลาง คือ 20, 40, 60 และ 80 ซม.

ตัวแปรตาม ได้แก่

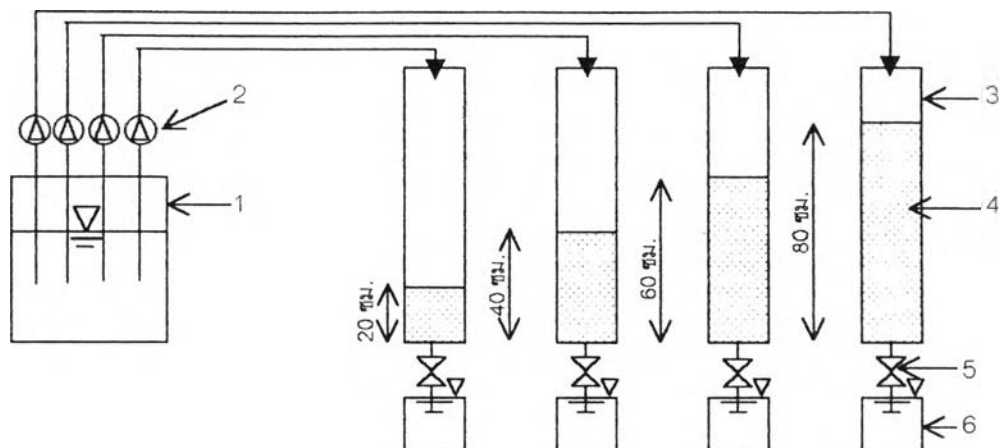
1. ลักษณะของน้ำออก
2. ปริมาณน้ำที่ผ่านการกำจัดนิกเกิล

ตัวแปรที่ควบคุมให้คงที่ ได้แก่

1. ขนาดของคอลัมน์
2. ความเข้มข้นของน้ำเสียสังเคราะห์
3. พีเอช
4. ชนิดและขนาดของตัวกลาง

วิธีทดลอง

1. บรรจุเหล็กออกไซด์ลงในคอลัมน์ให้ตัวกลางสูง 20, 40, 60, และ 80 ซม. ดังแสดงในรูปที่ 3.4
2. ปล่อน้ำกลั่นชะล้างตัวกลางเหล็กออกไซด์
3. ป้อนน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของนิกเกิล 10 มก./ล. เข้าคอลัมน์ทางด้านบนด้วยอัตราไหล 10 ลิตรต่อวัน
4. วิเคราะห์หานิกเกิลของน้ำที่ผ่านการบำบัดทุกวันจันทร์ พุธ และศุกร์
5. ทำการทดลองเป็นเวลา 3 เดือน
6. วัดปริมาณน้ำที่ใช้ตั้งแต่เริ่มต้นจนจบการทดลอง



รายการอุปกรณ์

1. ถังพลาสติกขนาด 500 ลิตร บรรจุน้ำเสียสังเคราะห์
2. เครื่องสูบน้ำแบบไดอะแฟรม
3. คอลัมน์พลาสติกใสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มม. หน้า 3 มม. สูง 1.0 ม.
4. ตัวกลางเศษเหล็ก
5. วาล์วประตูน้ำ
6. บีกเกอร์พลาสติกขนาด 250 ลบ.ซม.

รูปที่ 3.4 การติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์เพื่อศึกษาผลของความสูงชั้นตัวกลางที่มีต่อการกำจัดนิกเกิล

3.3.1.2 ประสิทธิภาพการกำจัดนิเกิลที่อัตราไหลต่าง ๆ

ตัวแปรอิสระ ได้แก่

1. อัตราไหลเข้าของน้ำ คือ 0.5, 1.0, 1.5, และ 2.0 B.V./hr

ตัวแปรตาม ได้แก่

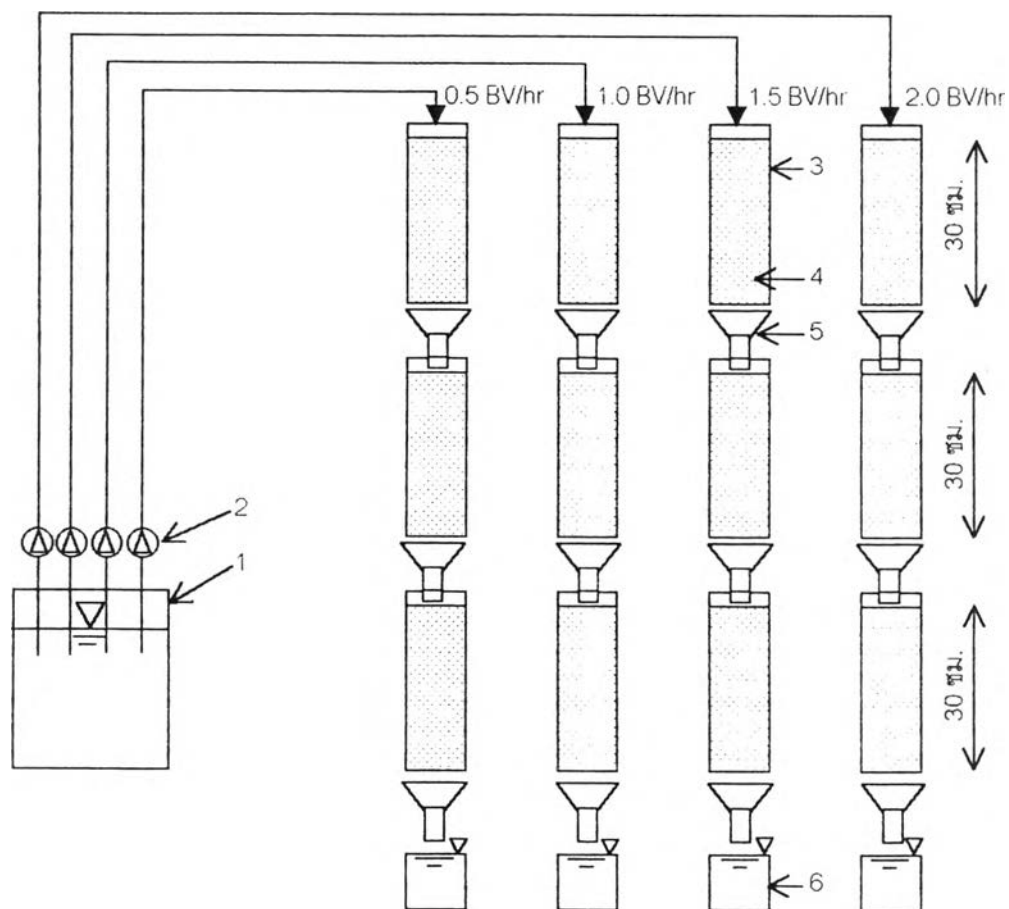
1. ลักษณะของน้ำออก
2. ปริมาณน้ำที่ผ่านการกำจัดนิเกิลจนถึงจุดยุติ

ตัวแปรที่ควบคุมให้คงที่ ได้แก่

1. ขนาดของคอลัมน์
2. ความเข้มข้นของน้ำเสียสังเคราะห์
3. พีเอช
4. ชนิดและขนาดของตัวกลาง

วิธีทดลอง

1. บรรจุเหล็กออกไซด์ลงในคอลัมน์ให้มีความสูงที่เหมาะสม (จากการทดลองที่ 3.3.1.1) ดังแสดงในรูปที่ 3.5
2. ปล่อน้ำกลั่นชะล้างตัวกลางเหล็กออกไซด์
3. ป้อนน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของนิเกิล 10 มก./ล. เข้าสู่คอลัมน์ทางด้านบน จำนวน 4 คอลัมน์ด้วยอัตราไหล 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 B.V. / hr. ตามลำดับ
4. วิเคราะห์หานิกิลของน้ำที่ผ่านการบำบัดทุกวันจันทร์ พุธ และศุกร์
5. วัดปริมาณน้ำที่ใช้ตั้งแต่เริ่มต้นจนจบการทดลอง



รายการอุปกรณ์

1. ถังพลาสติกขนาด 500 ลิตร บรรจุน้ำเสียสังเคราะห์
2. เครื่องสูบน้ำแบบไดอะแฟรม
3. คอลัมน์พลาสติกไซขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มม. สูง 35 ซม.
4. ตัวกลางเซซเหล็ก
5. กรวยพลาสติก
6. บีกเกอร์พลาสติกขนาด 250 ลบ.ซม.

รูปที่ 3.5 การติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดนิกเกิลที่
อัตราไหลต่างๆ

3.3.2 การทดลองแบบแบดซ์

แบ่งออกเป็น 6 ชุดการทดลองดังนี้

- การทดลองที่ 1 ศึกษา adsorption isotherm ของปฏิกิริยาระหว่างนิกเกิลและเศษเหล็ก
- การทดลองที่ 2 ศึกษาลักษณะของเศษเหล็กก่อนและหลังการทำปฏิกิริยาด้วยเครื่อง x-ray diffraction
- การทดลองที่ 3 ศึกษาผลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดนิกเกิล
- การทดลองที่ 4 ศึกษาผลของออกซิเจนละลายที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดนิกเกิล
- การทดลองที่ 5 ศึกษาผลของประจุลบที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดนิกเกิล
- การทดลองที่ 6 ศึกษาผลของประจุบวกที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดนิกเกิล

3.3.2.1 Adsorption Isotherm ของปฏิกิริยาระหว่างนิกเกิลและเศษเหล็ก

ตัวแปรอิสระ ได้แก่

1. ปริมาณของเศษเหล็ก คือ 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 กรัม.ต่อน้ำเสีย 1 ลิตร
2. เวลาที่ทำปฏิกิริยาคือ 5, 10, 20, 30, 45, 60, 120, 300, 480, 720 และ 1440 นาที

ตัวแปรตาม ได้แก่

1. ลักษณะของน้ำหลังจากทำปฏิกิริยา

ตัวแปรที่ควบคุมให้คงที่ ได้แก่

1. พีเอช
2. ความเข้มข้นของน้ำเสียสังเคราะห์
3. ปริมาณของน้ำเสียสังเคราะห์

วิธีทดลอง

1. ทำการทดลองหาค่าความเข้มข้นของนิกเกิลหลังการทำปฏิกิริยาระหว่างนิกเกิลกับเศษเหล็กที่เวลา 5 นาที โดยทำการบรรจุเหล็กปริมาณ 2.0 กรัม (10 กรัม.ต่อน้ำเสีย 1 ลิตร) ลงในหลอดทดลอง และเติมน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของนิกเกิล 10 มก./ล.จนกระทั่งได้ปริมาตร 200 มล. ปรับพีเอชให้เท่ากับ 7.0 ด้วยบัฟเฟอร์ของ โฟสเฟตเชื่อม ไตไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) และ ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Na_2HPO_4) ปิดฝาหลอดทดลองและนำไปผ่านเครื่องเซย่า และเก็บตัวอย่างน้ำมาผ่านเครื่องแยกด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง นำน้ำใสที่ได้มาวิเคราะห์หาปริมาณนิกเกิล
2. ทำการทดลองเหมือนกับข้อ 1. แต่เปลี่ยนเวลาให้เท่ากับ 5, 10, 20, 30, 45, 60, 120, 300, 480, 720 และ 1440 นาที ตามลำดับ
3. ทำการทดลองเหมือนกับข้อ 1 ถึง 2 แต่เปลี่ยนปริมาณเศษเหล็กให้เท่ากับ 20, 30, 40, 50 และ 60 กรัม.ต่อน้ำเสีย 1 ลิตร
3. นำข้อมูลที่ได้มาพล็อตกราฟ adsorption Isotherm

3.3.2.2 ศึกษาลักษณะของเศษเหล็กก่อนและหลังการทำปฏิกิริยาด้วยเครื่อง x-ray diffraction

ตัวแปรอิสระ ได้แก่

1. ลักษณะของเศษเหล็กก่อนและหลังการทำปฏิกิริยากับนิกเกิล

ตัวแปรที่ควบคุมให้คงที่ ได้แก่

1. พีเอช
2. ชนิดและขนาดของตัวกลาง
3. ความเข้มข้นของน้ำเสียสังเคราะห์
4. ปริมาณของน้ำเสียสังเคราะห์

วิธีทดลอง

1. ทำการบรรจุเศษเหล็กปริมาณ 2.0 กรัม (10 กรัม.ต่อน้ำ 1 ลิตร) ลงในขวดพลาสติก และเติมน้ำกลั่นจนกระทั่งได้ปริมาตร 200 มล. วัดพีเอชและนำไปผ่านเครื่องเซย่า ด้วยเวลาที่เหมาะสมจากขั้นตอนที่ 3.3.2.1 และเก็บตัวอย่างเศษเหล็กอบให้แห้ง และนำไปตรวจสอบด้วยเครื่อง x-ray diffraction
2. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อที่ 1 แต่เปลี่ยนจากน้ำกลั่นเป็นน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของนิกเกิล 50 มก./ล. แทน
3. นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างลักษณะของเศษเหล็กก่อนและหลังการทำปฏิกิริยา

3.3.2.3 ผลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดนิกเกิล

ตัวแปรอิสระ ได้แก่

1. พีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ คือ 3, 5, 7, 8.5 และ 10

ตัวแปรตาม ได้แก่

1. ลักษณะของน้ำหลังจากทำปฏิกิริยา

ตัวแปรที่ควบคุมให้คงที่ ได้แก่

1. ชนิดและขนาดของตัวกลาง
2. น้ำหนักของตัวกลาง
3. ความเข้มข้นของน้ำเสียสังเคราะห์
4. ปริมาณของน้ำเสียสังเคราะห์
5. ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา

วิธีทดลอง

1. ทำการทดสอบหาเวลาที่เกิดสมดุลของปฏิกิริยาระหว่างอิออนนิกเกิลกับเหล็กออกไซด์ โดยทำการบรรจุเหล็กปริมาณ 2.0 กรัม (10 กรัม.ต่อน้ำเสีย 1 ลิตร) ลงในขวดพลาสติก และเติมน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของนิกเกิล 10 มก./ล.จนกระทั่งได้ปริมาตร 200 มล. ปรับพีเอชให้เท่ากับ 7.0 ด้วย 0.1 N HCl หรือ 0.1 N NaOH ปิดฝาหลอดทดลองและนำไปผ่านเครื่องเขย่า และเก็บตัวอย่างน้ำมาผ่านเครื่องแยกด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง นำน้ำใสที่ได้มาวิเคราะห์ หาปริมาณนิกเกิลทุก 2 ชั่วโมงมาวิเคราะห์ หาปริมาณนิกเกิล นำข้อมูลที่ได้มาพล็อตกราฟระหว่าง %การดูดติดผิวกับเวลา เพื่อหาเวลาที่เกิดสมดุลของปฏิกิริยา
2. เริ่มทำการทดลองโดยทำการบรรจุเหล็กปริมาณ 2.0 กรัม (10 กรัม.ต่อน้ำเสีย 1 ลิตร) ลงในหลอดทดลอง และเติม น้ำเสียที่มีความเข้มข้นของนิกเกิล 10 มก./ล. จนกระทั่งได้ปริมาตร 200 มล. ปรับพีเอชให้เท่ากับ 3.0 ด้วย 0.1 N HCl หรือ 0.1 N

NaOH นำไปผ่านเครื่องเซย่าด้วยเวลาที่ไม่น้อยกว่าเวลาที่ได้จากข้อ 1. และเก็บตัวอย่างน้ำมาผ่านเครื่องแยกด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง นำน้ำใสที่ได้ มาวิเคราะห์ หาปริมาณนิกเกิล

3. ทำการทดลองเหมือนกับข้อ 2. แต่เปลี่ยนพีเอชให้เท่ากับ 5, 7, 8.5, และ 10 ตามลำดับ
4. นำข้อมูลที่ได้มาพล็อตกราฟ ระหว่าง %การดูดติดผิวกับพีเอช

หมายเหตุ : กรณีที่ไม่สามารถปรับพีเอชด้วย 0.1 N HCl หรือ 0.1 N NaOH

ให้ใช้บัฟเฟอร์ของกรดอะซิติก(CH_3COOH)และเกลือโซเดียมอะซิเตท(CH_3COONa) หรือ บัฟเฟอร์อื่นๆที่เหมาะสมแทน

3.3.2.4 ผลของออกซิเจนละลายที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดนิกเกิล

ตัวแปรอิสระ ได้แก่

1. ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำเสียสังเคราะห์
2. ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา คือ 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 120, 180, 300, และ 720 นาที

ตัวแปรตาม ได้แก่

1. ลักษณะของน้ำหลังจากทำปฏิกิริยา

ตัวแปรที่ควบคุมให้คงที่ ได้แก่

1. ชนิดและขนาดของตัวกลาง
2. น้ำหนักของตัวกลาง
3. ความเข้มข้นของน้ำเสียสังเคราะห์
4. ปริมาณของน้ำเสียสังเคราะห์

วิธีทดลอง

1. เติมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของนิกเกิล 10 มก./ล. ลงในขวดพลาสติก ปริมาณ 200 มล. ปรับพีเอชให้เท่ากับ 7.0 ด้วยบัฟเฟอร์ของ โฟสเฟตไฮโดรเจน ฟอสเฟต (KH_2PO_4) และ ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Na_2HPO_4) เติมห๊าซ ไนโตรเจนลงไปใต้น้ำเสียสังเคราะห์เป็นเวลา 20 นาที และทำการวัดปริมาณความเข้มข้นของออกซิเจนละลาย
2. เติมหาเหล็กลงในน้ำเสียสังเคราะห์ปริมาณ 2.0 กรัม (10 กรัมต่อน้ำเสีย 1 ลิตร) ปิดฝาขวดให้สนิท และนำไปผ่านเครื่องเขย่าเป็นเวลา 5 นาที และเก็บตัวอย่างน้ำมา ผ่านเครื่องแยกด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง นำน้ำใสมาวิเคราะห์หาปริมาณนิกเกิล
3. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1 ถึง 2 โดยเปลี่ยนระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาเป็น 10, 15, 20, 30, 45, 60, 120, 180, 300, และ 720 นาที ตามลำดับ

4. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1 ถึง 3 โดยใช้เติมอากาศแทนก๊าซไนโตรเจน
5. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1 ถึง 4 โดยไม่มีการเติมอากาศหรือก๊าซไนโตรเจน
6. นำข้อมูลที่ได้มาเขียนกราฟระหว่าง %การดูดติดผิวกับเวลา

3.3.2.5 ผลของประจุลบที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดนิกเกิล

ตัวแปรอิสระ ได้แก่

1. พีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ คือ 3, 5, 7, 8.5, และ 10
2. ความเข้มข้นของซัลเฟตไดออกไซด์ คือ 0.01, 0.05 และ 0.10 M
3. ความเข้มข้นของคลอไรด์ไดออกไซด์ คือ 0.01, 0.05 และ 0.10 M

ตัวแปรตาม ได้แก่

1. ลักษณะของน้ำหลังจากทำปฏิกิริยา

ตัวแปรที่ควบคุมให้คงที่ ได้แก่

1. ชนิดและขนาดของตัวกลาง
2. น้ำหนักของตัวกลาง
3. ความเข้มข้นของน้ำเสียสังเคราะห์
4. ปริมาณของน้ำเสียสังเคราะห์
5. ระยะเวลาการทำปฏิกิริยา

วิธีทดลอง

1. ทำการทดลองโดยทำการบรรจุเหล็กปริมาณ 2.0 กรัม (10 กรัม.ต่อน้ำเสีย 1 ลิตร) ลงในขวดพลาสติกเติมน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของนิกเกิล 10 มก./ล. และมีความเข้มข้นของ Na_2SO_4 0.01 M จนกระทั่งได้ปริมาตร 200 มล. ปรับพีเอชให้เท่ากับ 3.0 ด้วย 0.1 N HCl หรือ NaOH นำไปผ่านเครื่องเย้าด้วยเวลาที่ไม่น้อยกว่าเวลาที่ได้จากการทดลองที่ 3.3.2.3 และเก็บตัวอย่างน้ำมาน้ำมาผ่านเครื่องแยกด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง นำน้ำใสที่ได้วิเคราะห์หาปริมาณนิกเกิล
2. ทำการทดลองเหมือนกับข้อ 1. แต่เปลี่ยนความเข้มข้นของ Na_2SO_4 ให้เท่ากับ 0.05 และ 0.10 M ตามลำดับ

3. ทำการทดลองเหมือนกับข้อ 1 และ 2. แต่เปลี่ยนพีเอชให้เท่ากับ 5, 7, 8.5, และ 10 ตามลำดับ
4. ทำการทดลองเหมือนกับข้อ 1 ถึง 3. แต่เปลี่ยนจาก Na_2SO_4 เป็น NaCl แทน
5. นำข้อมูลที่ได้มาเขียนกราฟ ระหว่าง %การดูดติดผิวกับพีเอช

หมายเหตุ : กรณีที่ไม่สามารถปรับพีเอชด้วย 0.1 N HCl หรือ 0.1 N NaOH

ให้ใช้บัฟเฟอร์ของกรดอะซิติก (CH_3COOH) และเกลือโซเดียมอะซิเตท (CH_3COONa) หรือ บัฟเฟอร์อื่นๆที่เหมาะสมแทน

3.3.2.6 ผลของประจุบวกที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดนิกเกิล

ตัวแปรอิสระ ได้แก่

1. พีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ คือ 3, 5, 7, 8.5, และ 10
2. การที่มีนิกเกิลในน้ำเสียเพียงอย่างเดียว
3. การที่มีนิกเกิลและสังกะสีในน้ำเสีย
4. การที่มีนิกเกิลและทองแดงในน้ำเสีย
5. การที่มีนิกเกิล ทองแดง และ สังกะสีในน้ำเสีย



ตัวแปรตาม ได้แก่

1. ลักษณะของน้ำหลังจากทำปฏิกิริยา

ตัวแปรที่ควบคุมให้คงที่ ได้แก่

1. ชนิดและขนาดของตัวกลาง
2. น้ำหนักของตัวกลาง
3. ความเข้มข้นของนิกเกิล ทองแดง และ สังกะสีในน้ำเสียสังเคราะห์ คือ 0.1 mM
4. ความเข้มข้นของ NaNO_3 คือ 0.01 M
5. ปริมาณของน้ำเสียสังเคราะห์
6. ระยะเวลาการทำปฏิกิริยา

วิธีทดลอง

1. ทำการทดลองโดยทำการบรรจุเหล็กปริมาณ 2.0 กรัม (10 กรัม.ต่อน้ำเสีย 1 ลิตร) ลงในขวดพลาสติก เติมน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของนิกเกิล 0.1 mM และมีความเข้มข้นของ NaNO_3 0.01 M จนกระทั่งได้ปริมาตร 200 มล. ปรับพีเอชให้เท่ากับ 3.0 ด้วย 0.1 N HCl หรือ NaOH นำไปผ่านเครื่องเขย่าด้วยเวลาที่ไม่น้อยกว่าเวลาที่ได้จากการทดลองที่ 3.3.2.3 และเก็บตัวอย่างน้ำมาผ่านเครื่องแยกด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางในไซที่ไว้วิเคราะห์ หาปริมาณนิกเกิล

2. ทำการทดลองเหมือนกับข้อ 1. แต่ใช้น้ำเสียที่มีทั้งนิกเกิลและสังกะสี มีความเข้มข้นเท่ากัน คือ 0.1 mM
3. ทำการทดลองเหมือนกับข้อ 1. แต่ใช้น้ำเสียที่มีทั้งนิกเกิลและทองแดงมีความเข้มข้นเท่ากัน คือ 0.1 mM
4. ทำการทดลองเหมือนกับข้อ 1. แต่ใช้น้ำเสียที่มีทั้งนิกเกิล ทองแดง และ สังกะสี มีความเข้มข้นเท่ากัน คือ 0.1 mM
5. ทำการทดลองเหมือนกับข้อ 1 ถึง 4. แต่เปลี่ยนพีเอชให้เท่ากับ 5, 7, 8.5, และ 10 ตามลำดับ
6. นำข้อมูลที่ได้มาพล็อตกราฟ ระหว่าง %การดูดติดนิวกกับพีเอช

หมายเหตุ : กรณีที่ไม่สามารถปรับพีเอชด้วย 0.1 N HCl หรือ 0.1 N NaOH

ให้ใช้บัฟเฟอร์ของกรดอะซิติก (CH_3COOH) และเกลือโซเดียมอะซิเตท (CH_3COONa) หรือ บัฟเฟอร์อื่นๆที่เหมาะสมแทน

3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. คอลัมน์บรรจุตัวกลางทำด้วยพลาสติกไต
2. เครื่องวัดพีเอช
3. เครื่องชั่งสารเคมี
4. เครื่องสูบน้ำแบบไดอะแฟรม
5. เครื่องเขย่า
6. เครื่องแยกด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง
7. ถังน้ำเสียสังเคราะห์และถังเก็บน้ำที่ผ่านการบำบัด
8. เครื่อง Atomic Absorption Spectrometer
9. เครื่อง x-ray diffraction