

บทที่ 4

ขั้นตอนและการดำเนินการวิจัย

การทดลองกระทำที่ห้องปฏิบัติการของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย การวิเคราะห์หาอาร์เซนิกใช้เครื่อง atomic absorption spectrophotometer

4.1 ขั้นตอนในการดำเนินการทดลอง

การวิจัยครั้งนี้ ได้แบ่งการดำเนินการทดลองเป็น 4 ขั้นตอน (ตามรูปที่ 4.1) คือ

ขั้นตอนที่ 1. การเตรียมคอลัมน์บรรจุตัวกลางทรายเคลือบออกไซด์ของเหล็ก และ
แมงกานีส

ขั้นตอนที่ 2. การศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดอาร์เซนิกที่อัตราการไหลต่างๆ

ขั้นตอนที่ 3. ศึกษาผลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดอาร์เซนิก

ขั้นตอนที่ 4. การศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดอาร์เซนิกในวัฏจักร 10 รอบการทำงาน

4.2 ตัวแปรในการทดลอง

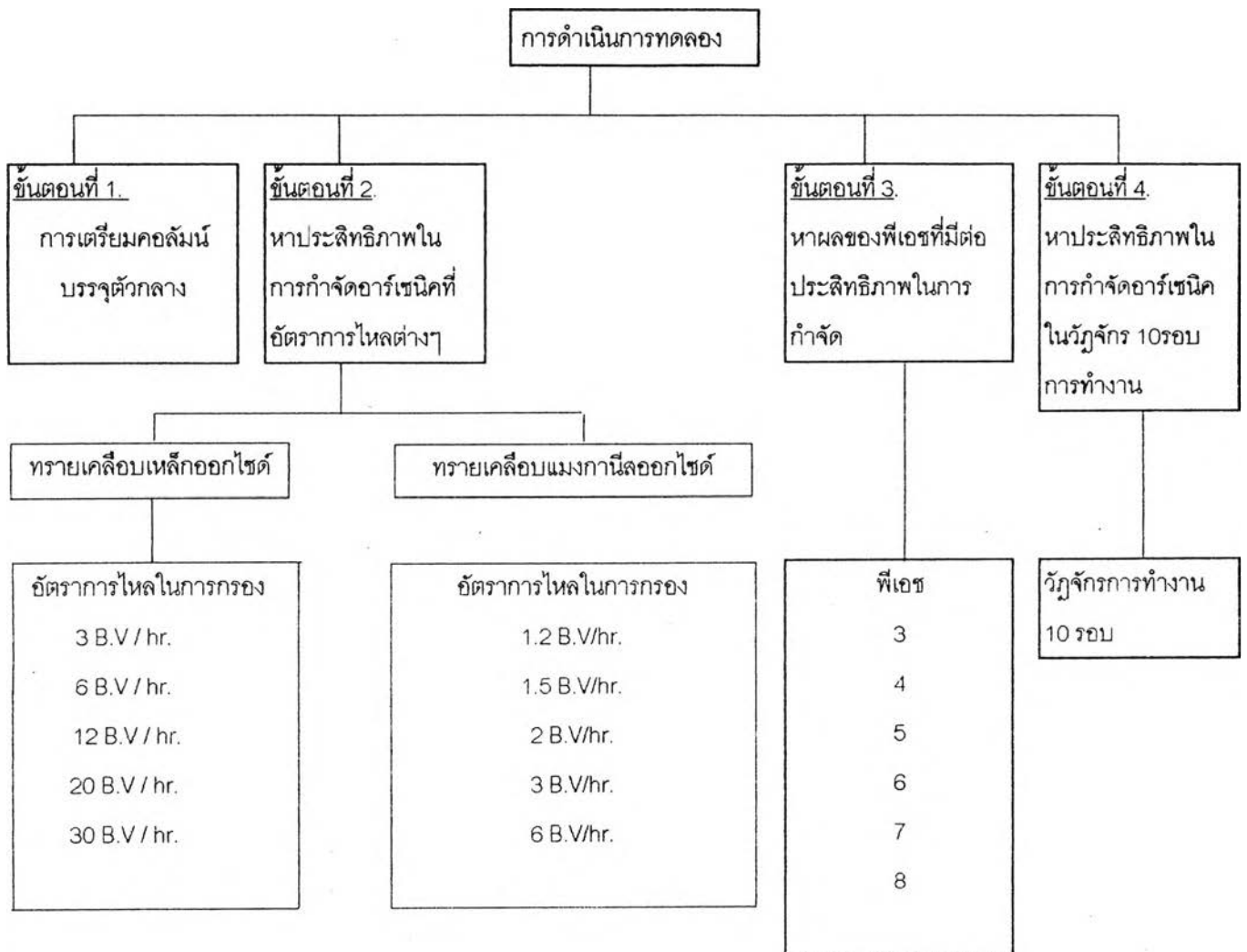
ค่าของตัวแปรต่างๆในแต่ละขั้นตอนตามตารางที่ 4.1, 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ

ขั้นตอนที่ 1. การเตรียมคอลัมน์บรรจุตัวกลางทรายเคลือบออกไซด์ของเหล็ก และ
แมงกานีส คอลัมน์บรรจุตัวกลางทำจากพลาสติกใสเส้นผ่าศูนย์กลาง
ภายใน 2.36 เซนติเมตร สูง 100 เซนติเมตร ตามรูปที่ 4.2, รูปที่ 4.3
ภาพถ่ายคอลัมน์ และอุปกรณ์ทดลอง

ขั้นตอนที่ 2. การศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดอาร์เซนิกที่อัตราการไหลต่างๆ

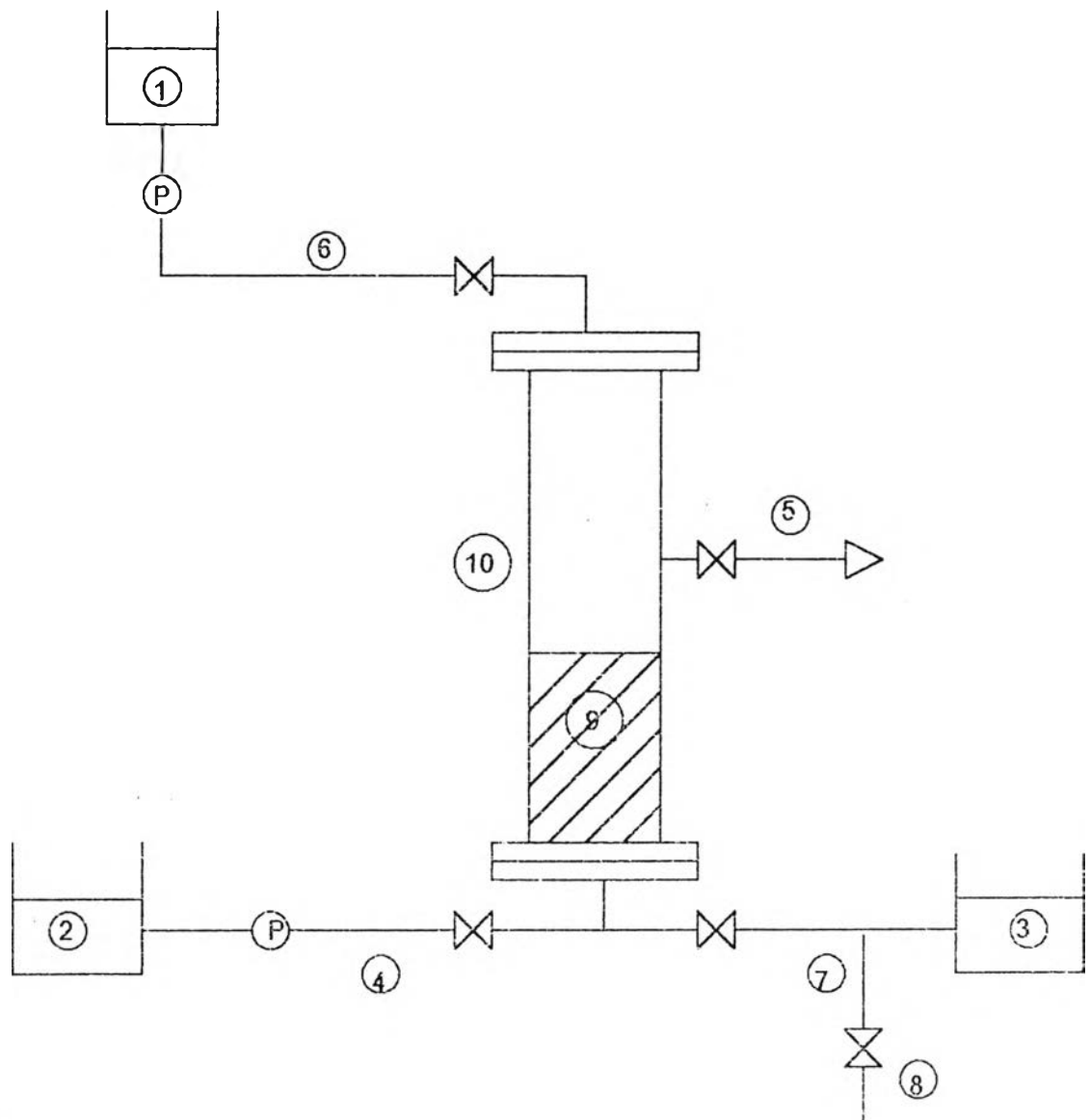
-ตัวแปรอิสระ ได้แก่

- 1) ชนิดของตัวกลาง
- 2) อัตราการไหลของน้ำเข้า



หมายเหตุ 1 BV = ปริมาตรน้ำ 153.2 มิลลิลิตร

รูปที่ 4.1 แผนภาพแสดงการดำเนินการทดลอง



1. ถังน้ำดิบ, ถังน้ำรีเจเนอเรนต์

2. ถังน้ำล้างย้อน

3. ถังน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออน

4. ทางเข้าน้ำล้างย้อนและรีเจเนอเรนต์

5. ทางออกน้ำล้างย้อนและรีเจเนอเรนต์

6. ทางเข้าน้ำดิบสังเคราะห์และน้ำล้างเร็ว

7. ทางออกน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออน

8. ทางออกน้ำล้างเร็ว

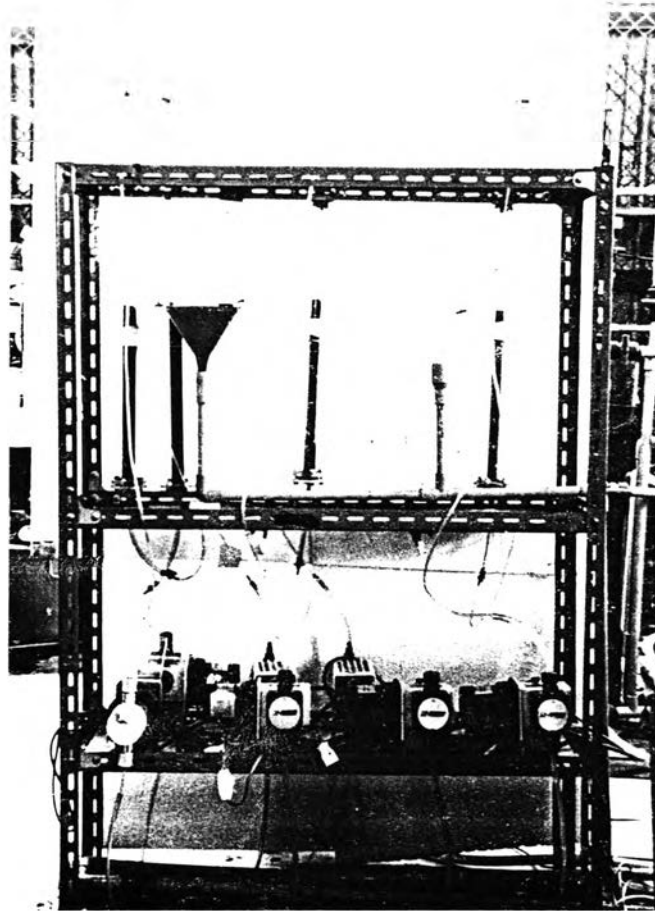
9. ตัวกลางทรายเคลือบเหล็กและแมงกานีสออกไซด์

10. คอลัมน์บรรจุตัวกลาง

P เครื่องสูบน้ำ

X ประตูน้ำ

รูปที่ 4.2 การติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.3 แสดงคอลัมน์ และอุปกรณ์ทดลองที่ใช้ในงานวิจัย

-ตัวแปรตาม ได้แก่

- 1). ลักษณะของน้ำออก
- 2). ปริมาณน้ำที่ผ่านการกำจัดอาร์เซนิกจนถึงจุดยุติ

-ตัวแปรที่ควบคุมให้คงที่ ได้แก่

- 1). ขนาดของคอลัมน์
- 2). ขนาดของตัวกลาง
- 3). ความสูงของชั้นตัวกลาง
- 4). ความเข้มข้นของน้ำดิบสังเคราะห์
- 5). จุดยุติ
- 6). พีเอช
- 7). ความเข้มข้นของสารรีเจนเนอเรนต์
- 8). อัตราการไหลในการทำรีเจนเนอเรชัน

ขั้นตอนที่ 3 ศึกษาผลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดอาร์เซนิก**-ตัวแปรอิสระ ได้แก่**

- 1). ชนิดของตัวกลาง คือ ทราเยเคลือบออกไซด์ของเหล็ก และแมงกานีส
- 2). พีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ คือ 3, 4, 5, 6, 7 และ 8

-ตัวแปรตาม ได้แก่

- 1). ลักษณะของน้ำออก
- 2). ปริมาณน้ำที่ผ่านการกำจัดอาร์เซนิกจนถึงจุดยุติ

-ตัวแปรที่ควบคุมให้คงที่ ได้แก่

- 1). ขนาดของคอลัมน์
- 2). ขนาดของตัวกลาง
- 3). ความสูงของชั้นตัวกลาง
- 4). ความเข้มข้นของน้ำดิบสังเคราะห์
- 5). จุดยุติ
- 6). อัตราการไหลของน้ำเข้า

- 7). ความเข้มข้นของสารรีเจนเนอเรนต์
- 8). อัตราการไหลในการทำรีเจนเนอเรชัน

ขั้นตอนที่ 4 การศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดอาร์เซนิกในวัฏจักร 10 รอบการทำงาน

-ตัวแปรอิสระ ได้แก่

- 1). ชนิดของตัวกลาง
- 2). จำนวนรอบวัฏจักร

-ตัวแปรตาม ได้แก่

- 1). ลักษณะของน้ำออก
- 2). ปริมาณน้ำที่ผ่านการกำจัดอาร์เซนิกจนถึงจุดยุติ

-ตัวแปรที่ควบคุมให้คงที่ ได้แก่

- 1). ขนาดของคอลัมน์
- 2). ขนาดของตัวกลาง
- 3). ความสูงของชั้นตัวกลาง
- 4). ความเข้มข้นของน้ำสังเคราะห์
- 5). จุดยุติ
- 6). พีเอช
- 7). ความเข้มข้นของสารรีเจนเนอเรนต์
- 8). อัตราการไหลในการทำรีเจนเนอเรชัน
- 9). อัตราการไหลของน้ำเข้าที่เหมาะสมจากขั้นตอนที่ 2

ขั้นตอนที่ 2. ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดอาร์เซนิกที่อัตราการไหลต่าง ๆ

ตารางที่ 4.1 ค่าตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการทดลอง

ตัวแปร	ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์	ทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์
<u>ตัวแปรอิสระ</u>		
1. อัตราการไหลของน้ำเข้า	3 BV/hr. (7.6 ml/min) 6 BV/hr. (15.2 ml/min) 12 BV/hr. (30.4 ml/min) 20 BV/hr. (50.6 ml/min) 30 BV/hr. (76 ml/min)	1.2 BV/hr. (3 ml/min) 1.5 BV/hr. (3.8 ml/min) 2 BV/hr. (5.1 ml/min) 3 BV/hr. (7.6 ml/min) 6 BV/hr. (15.2 ml/min)
<u>ตัวแปรคงที่</u>		
1. ขนาดของคอลัมน์ ความสูง	100 ซม.	100 ซม.
ขนาดของคอลัมน์ เส้นผ่าศูนย์กลาง	2.36 ซม.	2.36 ซม.
2. ขนาดของตัวกลาง	0.6-0.85 มม.	0.6-0.85 มม.
3. ความสูงของชั้นตัวกลาง	35 ซม.	35 ซม.
4. น้ำดิบสังเคราะห์	1 mg/l as As ⁵⁺	1 mg/l as As ⁵⁺
5. จุดยุติ	ความเข้มข้นของ As ⁵⁺ ในน้ำ ออกเกินกว่า 0.05 mg/l	ความเข้มข้นของ As ⁵⁺ ในน้ำ ออกเกินกว่า 0.05 mg/l
6. ความเข้มข้นของรีเจนเนอแรนต์	NaOH 0.2 N	NaOH 0.2N
7. อัตราการไหลในการทำรีเจนเนอ เรชั่น	1.5 BV/hr	1.5 BV/hr
<u>ตัวแปรตาม</u>		
ลักษณะสมบัติของน้ำที่วิเคราะห์	พีเอช อาร์เซนิก	พีเอช อาร์เซนิก

หมายเหตุ 1 BV = น้ำปริมาตร 153.2 มิลลิลิตร

ขั้นตอนที่ 3. ศึกษาผลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดอาร์เซนิก

ตารางที่ 4.2 ค่าตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการทดลอง

ตัวแปร	ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์	ทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์
ตัวแปรอิสระ		
พีเอชของน้ำสังเคราะห์	3 ถึง 8	3 ถึง 8
ตัวแปรคงที่		
1.ขนาดของคอลัมน์ความสูง	100 ซม.	100 ซม.
ขนาดของคอลัมน์เส้นผ่าศูนย์กลาง	2.36 ซม.	2.36 ซม.
2.ขนาดของตัวกลาง	0.6-0.85 มม.	0.6-0.85 มม.
3.ความสูงของชั้นตัวกลาง	35 ซม.	35 ซม.
4.ความเข้มข้นของรีเจนเนอแรนต์	NaOH 0.2 N	NaOH 0.2 N
5.น้ำสังเคราะห์	1 mg/l as As ⁵⁺	1 mg/l as As ⁵⁺
6.อัตราการไหลของน้ำเข้า	จากขั้นตอนที่ 2 (20BV/hr.)	จากขั้นตอนที่ 2 (3 BV/hr.)
7.อัตราการไหลในการทำรีเจนเนอเรชัน	1.5 BV/hr.	1.5 BV/hr.
8.จุดยุติ	ความเข้มข้นของ As ⁵⁺ ในน้ำออกเกินกว่า 0.05 mg/l	ความเข้มข้นของ As ⁵⁺ ในน้ำออกเกินกว่า 0.05 mg/l
ตัวแปรตาม		
ลักษณะสมบัติของน้ำที่วิเคราะห์	พีเอช อาร์เซนิก	พีเอช อาร์เซนิก

ขั้นตอนที่ 4. ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดอาร์เซนิกในวัฏจักร 10 รอบการทำงาน

ตารางที่ 4.3 ค่าตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการทดลอง

ตัวแปร	ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์	ทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์
<u>ตัวแปรอิสระ</u>		
1. วัฏจักรการทำงาน	10 รอบการทำงาน	10 รอบการทำงาน
<u>ตัวแปรคงที่</u>		
1. ขนาดของคอลัมน์ความสูง	100 ซม.	100 ซม.
ขนาดของคอลัมน์เส้นผ่าศูนย์กลาง	2.36 ซม.	2.36 ซม.
2. ขนาดของตัวกลาง	0.6-0.85 มม.	0.6-0.85 มม.
3. ความสูงของชั้นตัวกลาง	35 ซม.	35 ซม.
4. น้ำล้างเคราะห์	1 mg/l as As ⁵⁺	1 mg/l as As ⁵⁺
5. จุดยุติ	ความเข้มข้นของ As ⁵⁺ ในน้ำ ออกเกินกว่า 0.05 mg/l	ความเข้มข้นของ As ⁵⁺ ในน้ำ ออกเกินกว่า 0.05 mg/l
6. ความเข้มข้นของรีเจนเนอแรนต์	NaOH 0.2 N	NaOH 0.2 N
7. อัตราการไหลในการทำรีเจนเนอเรชัน	1.5 BV/hr.	1.5 BV/hr.
8. อัตราการไหลของน้ำเข้า	จากขั้นตอนที่ 2	จากขั้นตอนที่ 2
<u>ตัวแปรตาม</u>		
ลักษณะสมบัติของน้ำที่วิเคราะห์	พีเอช อาร์เซนิก	พีเอช อาร์เซนิก

4.3 ลำดับการดำเนินการวิจัย (แสดงดังรูปที่ 4.4)

- 1). การเตรียมตัวกลาง
- 2). การเตรียมอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง
- 3). การเตรียมน้ำสังเคราะห์
- 4). การดำเนินการทดลอง
- 5). การวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.4 การเตรียมตัวกลาง

4.4.1 ทราเยเคลือบแมงกานีส

ตัวกลางทราเยเคลือบแมงกานีสจะใช้แบบสำเร็จรูปที่มีขายตามท้องตลาดซึ่งมีคุณสมบัติตามตารางที่ 4.4 (แสดงดังรูปที่ 4.5)

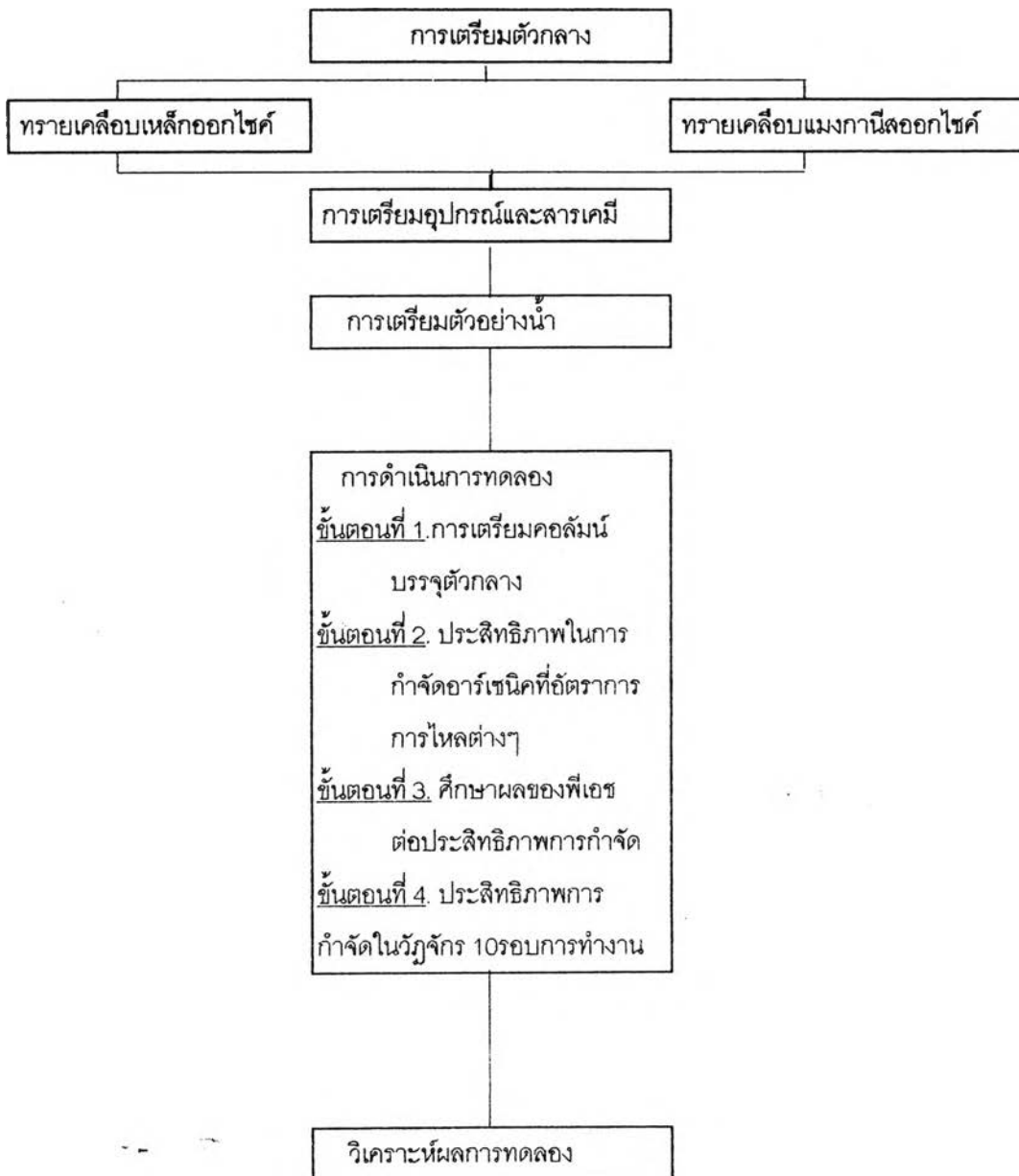
ตารางที่ 4.4 ลักษณะทางกายภาพที่สำคัญของทราเยเคลือบแมงกานีส

ลักษณะสมบัติ	ทราเยเคลือบแมงกานีส
รูปร่างและสีของเม็ด	เม็ดกลมสีน้ำตาลเข้ม
ขนาดสัมฤทธิ์	0.55-0.85 มิลลิเมตร
สัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ	1.3-1.6
ความหนาแน่นปรากฏ	1,280 g/L

4.4.2 ทราเยเคลือบเหล็ก

ตัวกลางทราเยเคลือบเหล็กจะเตรียมขึ้นเองตามวิธีการของ Edward และ Benjamin, 1989

- 1). คัดทราเยให้มีขนาดระหว่างตะแกรงเบอร์ 20 และ 30 (0.6-0.85 mm.)
- 2). แช่เม็ดทราเยด้วยกรด ซัลฟูริก 50% (PH 1.0) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- 3). ล้างออกด้วยน้ำกลั่น และนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 °C
- 4). ใช้ทราเยที่อบแห้งแล้ว 200 กรัม ผสมกับสารละลาย $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ โดยใช้ $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ 20 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 80 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน แล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 14 ชั่วโมง
- 5). นำทราเยเคลือบมาล้างออกด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่งน้ำล้างใส
- 6). นำไปอบแห้งอีกครั้งที่อุณหภูมิ 105 °C จึงนำไปใช้งานได้



รูปที่ 4.4 ลำดับการดำเนินการวิจัย



รูปที่ 4.5 ลักษณะทางกายภาพของทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์ และทรายเคลือบเหล็กออกไซด์

4.5 การเตรียมน้ำสังเคราะห์

สารละลายอาร์เซนิกมาตรฐานเตรียมจาก reagent grade sodium อาร์เซนเตต ($\text{Na}_2\text{HAsO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) ผสมในน้ำประปา โดยเตรียมที่ความเข้มข้น As (+5) 1 มก./ล.

4.6 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้

- 1) คอลัมน์บรรจุตัวกลาง ทำจากพลาสติกไลเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2.36 cm. สูง 100 cm.
ตามรูปที่ 4.2
- 2) เครื่องวัดพีเอช
- 3) เครื่องชั่งสารเคมี
- 4) เครื่องสูบน้ำแบบไดอะแฟรม
- 5) เครื่องคัดแยกขนาดและเครื่องเขย่า
- 6) ถังเก็บน้ำสังเคราะห์, ถังเก็บน้ำที่ผ่านการกำจัด, ถังเก็บรีเจนเนอเรนท์และถังน้ำล้างย้อน
- 7) เครื่อง Atomic Absorption Spectrometer

4.7 สารเคมี

- 1) สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมตัวกลางทราย (reagent grade)
 - $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$
- 2) สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมน้ำดิบสังเคราะห์ (reagent grade)
 - $\text{Na}_2\text{HAsO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
 - สารปรับ pH (NaOH และ HCl)
- 3) สารเคมีที่ใช้ในการทำรีเจนเนอเรชั่น
 - NaOH

4.8 การดำเนินการทดลอง

ในการวิจัยได้แบ่งงานทดลองออกเป็น 4 ขั้นตอน

ขั้นตอนที่ 1. การเตรียมคอลัมน์บรรจุตัวกลางทรายเคลือบออกไซด์ของเหล็ก และ แมงกานีส คอลัมน์บรรจุตัวกลางทำจากพลาสติกใสเส้นผ่าศูนย์กลาง ภายใน 2.36 เซนติเมตร สูง 100 เซนติเมตร ตามรูปที่ 4.2

ขั้นตอนที่ 2. ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดอาร์เซนิกที่อัตราการไหลต่างๆ

- 1). บรรจุทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ลงในคอลัมน์ให้ชั้นตัวกลางสูง 35 ซม.
- 2). ล้างย้อนด้วยน้ำกลั่นให้ชั้นตัวกลางขยายตัว 20% เป็นเวลา 20 นาที หรือจนน้ำใส
- 3). ปล่อยให้ตัวกลางจมตัวลงพร้อมระบายน้ำออก
- 4). ทำการรีเจนเนอเรชันด้วย NaOH ใช้ความเข้มข้น 0.2 N ด้วยอัตราการไหลในการทำรีเจนเนอเรชัน 1.5 BV/hr. (229 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง) เข้าทางด้านบนของคอลัมน์เป็นเวลา 45 นาที
- 5). ปล่อยน้ำชะล้างสารเคมีอย่างช้าทางด้านบนด้วยน้ำกลั่นใช้อัตราการไหล เท่ากับอัตราการไหลของการทำรีเจนเนอเรชันเป็นเวลา 45 นาที
- 6). ปล่อยน้ำชะล้างทางด้านบนด้วยน้ำกลั่นอีกครั้งด้วยอัตราการไหล 6 ลิตรต่อชั่วโมง จนกระทั่งพีเอชของน้ำออกอยู่ระหว่าง 8-8.5
- 7). ป้อนน้ำสังเคราะห์เข้าคอลัมน์ทางด้านบนใช้อัตราการไหล 3 BV / hr. (183 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง)
- 8). วิเคราะห์หาอาร์เซนิก พีเอช ของน้ำที่ผ่านการกำจัดทุกๆ 5 BV
- 9). วัดปริมาณน้ำทั้งหมดที่ใช้ตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงจุดยุติ
- 10). ทำการรีเจนเนอเรชันตามข้อ 2-6 อีกครั้ง โดยเก็บน้ำในแต่ละขั้นตอนของการทำรีเจนเนอเรชัน เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณสารหนู
- 11). เมื่อมีการแปรเปลี่ยนค่าอัตราการไหลของน้ำเข้าและชนิดของตัวกลาง ตามตารางที่ 4.1 ให้ทำการทดลองในลักษณะเดียวกันตั้งแต่ ข้อ 1-10

ขั้นตอนที่ 3. ศึกษาผลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดอาร์เซนิก

- 1). บรรจุน้ำเคลือบเหล็กออกไซด์ลงในคอลัมน์ให้ชั้นตัวกลางสูง 35 ซม.
- 2). ล้างย้อนด้วยน้ำกลั่นให้ชั้นตัวกลางขยายตัว 20% เป็นเวลา 20 นาที หรือจนน้ำใส
- 3). ปล่อยให้ตัวกลางจมตัวลงพร้อมระบายน้ำออก
- 4). ทำการรีเจเนอเรชันด้วย NaOH 0.2 N ด้วยอัตราการไหล 1.5 BV/ hr. (229 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง) เข้าทางด้านบนของคอลัมน์เป็นเวลา 45 นาที
- 5). ปล่อยให้ชะล้างสารเคมีอย่างช้าทางด้านบนด้วยน้ำกลั่นใช้อัตราการไหล เท่ากับอัตราการไหลของการทำรีเจเนอเรชัน เป็นเวลา 45 นาที
- 6). ปล่อยให้ชะล้างทางด้านบนด้วยน้ำกลั่นอีกครั้งด้วยอัตราการไหล 6 ลิตรต่อชั่วโมง จนกระทั่งพีเอชของน้ำออกอยู่ระหว่าง 8-8.5
- 7). ปรับพีเอชของน้ำสังเคราะห์ให้เท่ากับ 3 ป้อนน้ำสังเคราะห์เข้าคอลัมน์ทางด้านบน ใช้อัตราการไหลจากขั้นตอนที่ 2
- 8). วิเคราะห์หาอาร์เซนิก พีเอช ของน้ำที่ผ่านการกำจัดทุกๆ 5 BV
- 9). วัดปริมาณน้ำทั้งหมดที่ใช้ตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงจุดยุติ
- 10). ทำการรีเจเนอเรชันตามข้อ 2-6 อีกครั้ง โดยเก็บน้ำในแต่ละขั้นตอนของการทำรีเจเนอเรชัน เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณสารหนู
- 11). เมื่อมีการแปรเปลี่ยนค่าพีเอชของน้ำสังเคราะห์ และชนิดของตัวกลางตามตารางที่ 4.2 ให้ทำการทดลองในลักษณะเดียวกันตั้งแต่ข้อ 1-8

ขั้นตอนที่ 4. ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดอาร์เซนิกในวัฏจักร 10 รอบการทำงาน

- 1). บรรจุน้ำเคลือบเหล็กออกไซด์ลงในคอลัมน์ให้ชั้นตัวกลางสูง 35 ซม.
- 2). ล้างย้อนด้วยน้ำกลั่นให้ชั้นตัวกลางขยายตัว 20% เป็นเวลา 20 นาที หรือจนน้ำใส
- 3). ปล่อยให้ตัวกลางจมตัวลงพร้อมระบายน้ำออก
- 4). ทำการรีเจเนอเรชันด้วย NaOH 0.2 N ด้วยอัตราการไหล 1.5 BV/hr.
- 5). ปล่อยให้ชะล้างสารเคมีทางด้านบนด้วยน้ำกลั่นใช้อัตราการไหล เท่ากับอัตราการไหลของการทำรีเจเนอเรชันเป็นเวลา 45 นาที
- 6). ปล่อยให้ชะล้างทางด้านบนด้วยน้ำกลั่นอีกครั้งด้วยอัตราการไหล 6 ลิตรต่อชั่วโมง จนกระทั่งพีเอชของน้ำออกอยู่ระหว่าง 8-8.5
- 7). ป้อนน้ำสังเคราะห์เข้าคอลัมน์ทางด้านบน ใช้อัตราการไหลที่เหมาะสม (จากขั้นตอนที่ 2)
- 8). วิเคราะห์หา อาร์เซนิก พีเอชของน้ำที่ผ่านการกำจัดทุกๆ 5 BV

- 9) วัดปริมาณน้ำทั้งหมดที่ใช้ตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงจุดยุติ
- 10) ทำการรีเจนเนอเรชันตามข้อ 2-6 อีกครั้ง โดยเก็บน้ำในแต่ละขั้นตอนของการทำรีเจนเนอเรชัน เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณสารหนู
- 11) ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ ข้อ 2-10 จนครบ 10 รอบวัฏจักรการทำงาน
- 12) เมื่อมีการแปรเปลี่ยนชนิดของตัวกลางตามตารางที่ 4.3 ให้ทำการทดลองในลักษณะเดียวกันตั้งแต่ข้อ 1-11